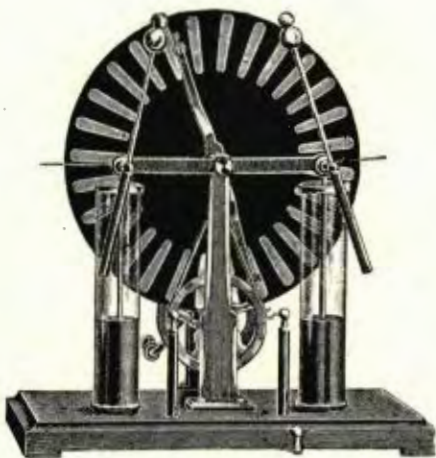


Fysiikka

Kirjoittanut

P. A. Heinricius



Sisältää 301 kuvaa tekstissä ja 4 värillistä taulua

Teos kokonaisuudessaan sekä kuvaliitteet painetut
Helsingissä Raittiuskansan Kirjapainossa 1911—12.

Sisällys:

	Sivu
1 LUKU	1
Aine 1. Fysikaliset ilmiöt 1. Jatkuvaisuus 2. Luonnonvoimat 3. Voiman suuruus 3. Voiman paikka 3. Voiman suunta 4. Energia 4. Työ 4. Työkyky 5. Ikiliikkuja 6. Toimiva ja piilevä energia 6. Energian häviämättömyys 8. Voiman vastavaikutuksen laki 10. Voimien yhdistäminen ja hajoittaminen 12. Voimien tasapaino 16.	
2 LUKU	17
Aineen kokoomus 17. Aineen jaollisuus 17. Atomit ja molekyylit 17. Molekyylivoimat 20. Olomuodot 20. Kokoonpuristuvaisuus ja kestäväisyys 21. Kimmoisuus 23. Huokoisuus 23. Adhesionivoima 24. Liukeneminen 25. Sekoittuminen 25.	
3 LUKU	28
Kappaleen liike 28. Erilaiset liikkeet 29. Tasainen liike 30. Muuttuva liike 31. Kieppumisliike 32. Liikepaljous 33. Kappaleen massa 34. Elävä voima 35. Liikkeiden yhdistäminen 36.	
4 LUKU	37
Vetovoima 37. Painovoima 39. Putousliike 43. Heiluri 46. Heilurikello 47. Maan pyörimisen todistaminen 49. Absolutinen mittajärjestelmä 50. Maapallon paino 51. Kepplerin lait 53. Heittoliike 54. Sentraliliike 55. Luode ja vuoksi 57. Sentrifugalivoima 58.	
5 LUKU	62
Kappaleiden tasapaino 62. Painopiste 62. Eri tasapainoasemat 63. Yksinkertaiset koneet 68. Väkipyörät 68. Telaaratas 70. Vipuvarsi 71. Vaaka 72. Kalteva pinta 76. Ruuvi 77. Telkin 78. Kitka 79.	

	Sivu
6 LUKU	81
Nesteiden tasapaino 81. Nesteen vapaa pinta 82. Paineen leviäminen nesteissä 82. Vesipuristin 83. Pohjapaine 84. Yhtyvät putket 86. Astian seinää vastaan kohdistuva paine 88. Turbinit 90. Paine ylöspäin 90. Arkimedeen laki 91. Kappaleiden ominaispaino 93. Areometrit 95. Nesteen pinnan muoto lähellä astian seinää 97. Kohesionipaine 98. Hiusputket 99.	
7 LUKU	101
Kaasut 101. Kaasujen paino 101. Ilmapallo 102. Kaasujen ominaispaino 103. Ilmakehä 103. Ilmakehän paine 104. Barometri 105. Mariotten laki 109. Kaasujen kinetinen teoria 110. Manometrit 111. Ilmapumppu 112. Vesipumput 114. Imujuoksutin 115. Nostopilli 116.	
8 LUKU	117
Aaltoliike 117. Pitkittäinen aalto 120. Poikittainen aalto 122. Nesteaallot 122. Aaltojen yhtyminen 123. Poikittaisen aallon heijastuminen kiinteästä pisteestä 125. Kumu 127. Seisova aalto 129. Heijastuminen vapaasta pisteestä 130. Pitkittäisen aallon heijastuminen 131.	
9 LUKU	133
Äänen synty 133. Äänen voimakkuus 134. Äänen nopeus 135. Sävelet 136. Sävelen korkeus 137. Sävelen kovuus 137. Aallon taipuminen, heijastuminen ja taituminen 139. Dopplerin peruste 145. Sointuisat ja epäsointuisat sävelet 146. Sävelen sointi 147. Soittokoneet 149. Ilmisääni 153. Kuuloelin 155.	
10 LUKU	157
Lämpö 157. Lämmön mittaaminen 158. Lämpömittarit 158. Aineiden laajeneminen 160. Kaasujen laajeneminen 162. Absolutinen nollapiste 163. Lämmön luonne 166. Mekaaninen lämpöoppi 168. Nesteiden laajeneminen 169. Kiinteiden aineiden laajeneminen 172.	
11 LUKU	174
Kappaleiden lämpövarautumiskyky 174. Ominaislämpö 175. Atomilämpö 178. Molekyylilämpö 178. Sulaminen 179. Jähmettyminen 182. Höyrystyminen 184. Höyryn jäntevyys 185. Kyllästetty ja kyllästämätön höyry 185. Kiehuminen 188. Tiivistyminen 193. Rajalämpötila 194. Rajapaine 194. Kaasujen tiivistäminen 195. Höyrykone 198. Lämmön työarvo 202.	

- 12 LUKU 203
 Lämmön johtuminen 203. Johtokyky 204. Hyvät ja huonot johtajat 205. Lämmön säteily 207. Pimeät ja loistavat säteet 207. Lämmön heijastuminen 208. Lämmön imeytyminen 209. Lämmön kulku kappaleiden läpi 210. Lämmön taittuminen 211. Lämpölähteet 211.
- 13 LUKU 214
 Ilmatieteelliset havainnot 214. Maan asema aurinkoon nähden 215. Ilman lämpötila 216. Tuulet 219. Tuulen suunta 219. Tuulen voimakkuus 220. Syklonit 222. Isobarit 222. Säännölliset tuulet 224. Vaihtelevat tuulet 225. Ilman kosteus 226. Sade, rakeet, lumi, kuura ja kaste 229. Sääkartat 231.
- 14 LUKU 232
 Valon suoraviivainen eteneminen 232. Varjot 234. Valon voimakkuus 234. Valon mittaajat 235. Normaaliliekit 237. Valon nopeus 238. Valon heijastuminen 241. Valon taittuminen 242. Valon luonne 244. Valon taipuminen 249. Ohuiden levyjen värit 252. Valon kulku hilojen läpi 253. Valon polarisationi 256.
- 15 LUKU 264
 Valon heijastuminen 264. Peilit 265. Tasainen pelli 266. Kulmapeili 267. Kaleidoskopi 268. Pallopeilit 268. Valon taittuminen 272. Taite-eksponentti 273. Täydellinen heijastuminen 275. Valon kahtaistaittuminen 277. Nicolin prisma 278. Tasainen levy 279. Prisma 280. Linssit 281. Pallopoikkeaminen 283. Camera obscura 286. Valokuvauskone 286. Taikalyhty 287. Kinematografi 288. Mikroskopi 288. Kaukoputket 291. Silmä 297. Sovittamiskyky 301. Stereoskopi 303. Näköhairahdukset 305.
- 16 LUKU 307
 Valon hajottaminen eri väreiksi 307. Värien yhdistäminen 308. Kolmeväripaino 309. Värien vaikutus silmään 311. Värisokeus 311. Kappaleiden värit 311. Komplementtivärit 313. Yhtenäinen spektri 313. Fraunhoferin viivat spektrissä 314. Spektrianalyysi 315. Viivaspektri 316. Imeytymisspektri 318. Dopplerin sääntö 319. Saman aineen erilaiset spektrit 321. Aineen spektrin riippuvaisuus aineen fysikaalisista ja kemiallisista ominaisuuksista 321. Spektriviivojen säännöllisyys 322. Vyöspektri 323.

- 17 LUKU 324
 Ultrapunainen ja ultrasinipunerva spektri 324. Spektroskopi 326. Suoraan hajoittava prisma 327. Hila-spektrit 328. Valoaallon pituuden määrittäminen 329. Aineen taittamis- ja hajoittamiskyky 330. Akromatinen prisma ja linssi 331. Valon kemiallinen vaikutus 332. Valokuvaus 332. Värien valokuvaus 335. Fluoresenssi ja fosforesenssi 335. Valoilmiöt ilmakehässä 335. Kangastus 337. Taivaan väri 338. Aamu- ja iltarusko 338. Sateenkaari 338.
- 18 LUKU 341
 Hankaussähkö 341. Sähköheiluri 343. Eri sähkölajit 343. Hyvät ja huonot johtajat 344. Elektroskopi 345. Sähkövaraus 346. Coulombin laki 346. Sähkövarauksen yksikkö 348. Eristäjävakio 349. Sähkön luonne 350. Sähkön jätteys 351. Varautumiskyky 352. Jätteyden yksikkö 352. Varautumiskyvyn yksikkö 353. Sähkön tiheys johtajan pinnalla 353. Sähköturbini 354.
- 19 LUKU 355
 Influenssisähkö 355. Sähkövarauskyvyn lisääminen lähelle asetetun johtajan avulla 357. Leydenin pullo 359. Kärkien vaikutus 360. Sähkökoneet 361. Kokeita sähkökoneella 364.
- 20 LUKU 366
 Galvanin ja Voltan kokeet 366. Sähkövirta 367. Sähköpari 368. Elektromotorinen voima 368. Ensimmäisen ja toisen luokan johtajat 370. Muutamia sähköelementtejä 370. Virran voimakkuus ja sen yksikkö 372. Ohmin laki 373. Johdon vastustus 374. Vastustusyksikkö 374. Ominaisvastustus 374. Joulen laki 377. Peltierin ilmiö 378. Lämpösähkövirrat 379. Lämpöparistot 379.
- 21 LUKU 381
 Elektrolyysi 381. Ionit 382. Elektrolyttinen jakautumisteoria 383. Elektrolyysin kautta eronneiden aineiden painot 384. Volttametri 385. Ionien sähkömäärä 386. Virran vaikutus elementin nesteisiin 387. Muutoslämpö 388. Osmotinen paine 388. Liukenemispaine 389. Sähkövirran synty elementissä 389. Polarisationivirta 390. Akkumulatorit 391.
- 22 LUKU 392
 Luonnolliset ja keinotekoiset magnetit 392. Magnetin voimaviivat 393. Magnetinen kenttä 393. Magnetin

vaikutus toiseen magnetiin 394. Magnetinen influenssi 394. Pysyvät ja tilapäiset magnetit 395. Sähkömagnetit 396. Magnetinen vastus 397. Hysteresis 398. Solenoidi 399. Galvanometrit 403. Amperemetrit 404. Voltmetrit 404. Vapasuuntainen neulapari 405. Elektrodinamika 405. Magnetin molekylivirrat 406. Magnetismin luonne 406.

- 23 LUKU 408
 Induktionivirrat 409. Magnetoinduktio 411. Dynamokoneet 416. Siemensin dynamoprinsipi 419. Pyörrevirrat 422. Itseinduktio ja seuravirrat 422. Transformatorit 423. Virrankatkaisijat 425.
- 24 LUKU 428
 Sähkövärähdykset 428. Impedanssi 432. Teslan virrat 433. Sähköaallot 436. Kohereri 437. Righin värähdin 437. Langaton sähköttäminen 439. Maxwellin elektromagnetinen valoteoria 446. Zeemanin ilmiö 447. Valosähköilmiöt 448.
- 25 LUKU 449
 Sähkön kulku kaasujen läpi 449. Katodisäteet 450. Kanavasäteet 453. Röntgenin säteet 454.
- 26 LUKU 459
 Becquerelsäteet 459. Radioaktiivisuus 460. Radium 460. Radiumin säteet 462. Emanationi 462. Alkuaineiden muuttuminen 463.
- 27 LUKU 467
 Sähkövalo 467. Kaarivalo 468. Hehkuvalo 469. Edisonin hiililamput 470. Nernstin hehkulamppu 471. Metallihehkulamput 471. Sähkön käyttö lämpölähteenä 472.
- 28 LUKU 474
 Sähkökemia 474. Metallien elektrolyttinen valmistaminen 474. Aluminiumin valmistaminen 475. Calciumkarbidi 475. Typpiyhdistysten valmistaminen ilman tyypestä 475. Galvanostegia 476. Galvanoplastika 476. Sähkö liikevoimana 477. Sähkömotorit 478. Raitio- ja rautatiet 478. Sähköenergian mittarit 480.
- 29 LUKU 481
 Sähköttäminen langalla 481. Gaussin ja Weberin sähkölennätin 481. Steinheilin sähkölennätin 482. Morsen

kone 482. Hughesin kirjasinlennätin 484. Useampien sähkösanomien lähettäminen samalla langalla 485. Pikalennätin 486. Casellin yleislennätin 486. Sähkölennätinjohdot 487. Telefoni 488. Mikrofoni 490. Keskusasemat 492. Telegrafoni 493. Puhuva kaarilamppu 494.

30 LUKU 495

Kompassi 495. Kompassin poikkeama 496. Isogonit 496. Inklinationi 497. Isokliniit 497. Maan magnetinen voima 498. Magnetiset myrskyt 499. Maan magnetisen tilan syyt 499. Ukkonen 500. Salama 500. Salaman muoto, väri ja pituus 501. Ukkosen jyrinä 502. Salaman vaikutukset 502. Ukkosen johtaja 504. Revontulet 506.

AINE- JA NIMILUETTELO 509

Kuvien luettelo.

1. Liikkeiden suunnikas.
2. Voimien suunnikas.
3. Useampien voimien yhdistäminen.
4. Gyroskopi.
5. Isak Newtonin muotokuva.
6. Luotiviiva.
7. Ilmaton putousputki.
8. Yksinkertainen pendeli.
9. Galileo Galilein muotokuva.
10. Heilurikello.
11. Foucaultin koe.
12. Cawendishin kääntövaaka.
13. Nicolaus Copernicuksen muotokuva.
14. Johannes Keplerin muotokuva.
15. Sentraliliike.
16. Luode ja vuoksi.
17. Maapallon litistyminen.
18. Öljypisara veden ja alkoholin sekoituksessa.
19. Kappaleen painopiste.
20. Suunnikkaan ja kolmion painopisteet.
21. Kappaleen painopisteen määrittäminen.
22. Vakaa tasapaino.
23. Epävakaa tasapaino.
24. Kolmessa pisteessä tuettu kappale.
25. Ruumiin tasapaino.
26. Kiinteä ja liikkuva väkipyörä.
27. Talja.
28. Telaratas.
29. Kaksivartinen vipu.
30. Yksivartinen vipu.
31. Vaaka.
32. Tarkka vaaka.
33. Roomalainen vaaka.
34. Kymmenysvaaka.
35. Kalteva pinta.
36. Ruuvi.
37. Telkin.
38. Vesivaaka.
39. Vesipuristin.
40. Sama.
41. Nesteiden pohjapaino.
42. Yhtyviä putkia.
43. Vesijohto.
44. Yhtyviä putkia, joissa on eri nesteitä.
45. Nesteen paine astian seinää vastaan.
46. Sivupaine ylöspäin laajenevassa astiassa.
47. Sivupaine ylöspäin suipenevassa astiassa.
48. Turbiini.
49. Nesteen paine ylöspäin.
50. Arkimedeen laki.
51. Prosenttiareometri.
52. Vettä ja elohopeaa lasessa.
53. Nesteen pinta nesteen kottuuttaessa astiaa.
54. Nesteen pinta, kun neste ei kostuta astiaa.

55. Kohesionipaine.
 56. Kohesionipaine erilaisissa pinoissa.
 57. Nesteen nouseminen ja painuminen ohuissa putkissa.
 58. Lämpimällä ilmalla täytetty ilmapallo.
 59. Kaasulla täytetty ilmapallo.
 60. Torricellin koe.
 61. Alassuin käännetty vesilasi.
 62. Elohopeabarometreja.
 63. Aneroidibarometri.
 64. Mariotten laki.
 65. Suljettu manometriputki.
 66. Metallimanometri.
 67. Ilmapumppu.
 68. Magdeburgin puolipallot.
 69. Imupumppu.
 70. Painopumppu.
 71. Imujuoksutin.
 72. Nostopilli.
 73. Pitkittäinen aaltoliike.
 74. Poikittäinen aaltoliike.
 75. Seisova aaltoliike.
 76. Seisova aaltoliike.
 77. Väräjävä jousi.
 78. Väräjävä lasimalja.
 79. Sävelen vahvistaminen kumulla.
 80. Aallon heijastuminen.
 81. Äänen heijastuminen heitoviivan muotoisesta seinästä.
 82. Äänen heijastuminen.
 83. Äänen taittuminen.
 84. Aallon taittuminen.
 85. Kokonaisheijastus.
 86. Virsikannel.
 87. Ensimmäinen yläääni.
 88. Toinen yläääni.
 89. Huulitorvi.
 90. Kielitorvi.
 91. Sointikuvio.
 92. Fonografi.
 93. Korva.
 94. Reaumurin, Celsiuksen ja Fahrenheitin lämpömittarit.
95. Lämmitetty pallo ei mahdu renkaan läpi.
 96. Lämpöä syntyy hakaantumisesta.
 97. Kompensationihelluri.
 98. Metallilämpömittari.
 99. Uudestaan jäätyminen.
 100. Jäätyvän veden halkaisemista pommeja.
 101. Eri nesteiden kylästetyn höyryn jäntevyys.
 102. Geiseri.
 103. Leidenfrostin ilmiö.
 104. Linden ilmantiivistyskone.
 105. Juoksevan ilman täyttäminen astiaan.
 106. James Wattin muotokuva.
 107. Höyrykone.
 108. Lämmön johtuminen eri aineissa.
 109. Kiertokulku pohjalta lämmitetyssä nesteessä.
 110. Lämmön heijastuminen.
 111. Maksimi- ja minimilämpömittari.
 112. Tuuliviiri.
 113. Anemometri.
 114. Barometrimaksimi ja barometriminimi.
 115. Saussuren kosteudenmittaaja.
 116. Augustin kosteudenmittaaja.
 117. Sadepilviä.
 118. Höyhenpilviä.
 119. Sateenmittaaja.
 120. Lumihiekkasia.
 121. Sääkartta.
 122. Valon suoraviivainen levläminen.
 123. Sydänvarjo ja puolivarjo.
 124. Bunsenin valonmittaaja.
 125. Bunsenin valonmittaaja.
 126. Rutherfordin valonmittaaja.
 127. Aberrationi.
 128. Fizeaun koe valon nopeuden määräämistä varten.
 129. Valon taittuminen.
 130. Valon taittuminen.

131. Thomas Youngin muoto-
kuva.
132. Valon heijastuminen ohuen
levyn molemmista pin-
noista.
133. Valon taipuminen.
134. Valon taipuminen.
135. Valon kulku hilan läpi.
136. Augustin Fresnelin muoto-
kuva.
137. Fresnelin peilikoe.
138. Peilistä heijastuneen valon
kulku turmalinin läpi.
139. Valon polarisationi.
140. Valon polarisationi.
141. Valon säännötön heijastu-
minen.
142. Tasainen peili.
143. Heliostati.
144. Kulmapeili.
145. Koveropeili.
146. Sama.
147. Sama.
148. Todellinen koveropeilin an-
tama kuva.
149. Koveropeilin antama vale-
kuva.
150. Kuperä peili.
151. Valon taittuminen.
152. Täydellinen valon heijastu-
minen.
153. Prisma valon kokonaishei-
jastusta varten.
154. Valon kahtaistaittuminen.
155. Varsinainen ja sivuaalto
kahtaistaittavassa kitees-
sä.
156. Nicolin prisma.
157. Tasapintainen levy.
157. Prisma.
159. Koveroja linsejä.
160. Kuperia linsejä.
161. Prismoista kokoonpantu
kuperä linssi.
162. Yhdensuuntaisten säteiden
taittuminen linssissä.
163. Kuperan linssin antama ku-
va.
164. Sama.
165. Koverolinssi.
166. Kuperan linssin antama
kuva.
167. Valokuvauskone.
168. Taikalyhty.
169. Valon kulkua taikalyhdyssä.
170. Yhdistetty mikroskopi.
171. Sama.
172. Galilein kaukoputki.
173. Triederikaukoputki.
174. Tähtitieteellinen kauko-
putki.
175. Maakaukoputki.
176. Gregoryn kaukoputki.
177. Newtonin kaukoputki.
178. Herschelin kaukoputki.
179. Herschelin suuri kauko-
putki.
180. Silmä.
181. Stereokopi.
182. Stereoskopikuva.
183. Näköhairahdus.
184. Valon hajautuminen.
185. Värien yhdistäminen val-
keaksi valoksi.
186. Värilevy.
187. Robert Kirchhoffin muoto-
kuva.
188. Osa raudan ja kiintotähden
spektriä.
189. Valon voimakkuus näky-
vässä spektrissä.
190. Suoraan hajoittava prisma-
yhdistys.
191. Spektroskopi.
192. Valon hajautuminen valon
kulkiessa linssin läpi.
193. Akromatinen prisma.
194. Akromatinen linssi.
195. Kangastus hieta-aavikolla.
196. Kangastus merellä.
197. Sateenkaari.
198. Sähköheiluri.
199. Elektroskopi.
200. Coulombin kääntövaaka.
201. Sähkö leviää vain johtajan
pinnalle.
202. Sähköinen influenssi johta-
jassa.

203. Influenssin aikaansaava kappale on johtaja.
204. Sähköiset kellot.
205. Sähköiset rakeet.
206. Leydenin pullo.
207. Ramsdenin sähkökone.
208. Elektrofori.
209. Wimshurstin sähkökone.
210. Sama.
211. Sama.
212. Daniellin elementti.
213. Leclanchén elementti.
214. Kuivia elementtejä.
215. Jousigalvanometri.
216. Johdon lämpiäminen.
217. Peltierin ilmiö.
218. Lämpösähköparisto.
219. Kaasulla lämmitettävä lämpösähköparisto.
220. Veden hajoittaminen sähkövirralla.
221. Elektrolyysi Daniellin elementissä.
222. Akkumulatori.
223. Magnetineula.
224. Hevosenkengän muotoinen magneti.
225. Magnetiset voimaviivat.
226. Magnetoimiskäämi.
227. Hevosenkengän muotoinen sähkömagneti.
228. Puoliympyränmuotoinen sähkömagneti.
229. Ympyränmuotoisen sähköjohdon voimaviivat.
230. Hans Christian Ørstedin muotokuva.
231. André Maria Amperen muotokuva.
232. Solenoidin vaikutus liikkuvaan magnetiin.
233. Amperen teline.
234. Liikkuva solenoidi.
235. Peiligalvanometri.
236. Magnetin molekylivirrat.
237. Molekylivirtojen suunta magnetin polien ympärillä.
238. Michael Faradayn muotokuva.
239. Induktioni sähkövirralla.
240. Wagnerin vasara.
241. Magnetoinduktioni rautamagnetilla.
242. Liikkuva johtokierre ja magneti voimaviivoineen.
243. Ritchien magnetosähkökone.
244. Dynamokoneen renkaanmuotoinen ankkuri.
245. Dynamoprinsipi.
246. Nykyaikainen dynamokone.
247. Transformatori.
248. Ruhmkorffin induktio-kone.
249. Elektrolytinen virran katkaisija.
250. Induktionikoneen kipinä.
251. Sähkökipinän kuva pyörivässä peilissä.
252. Johto sähkövärähdyksen aikaansaamiseksi varten.
253. Johtokäämien päästä sin-koilevia kipinöitä.
254. Impedanssi.
255. Teslan transformatori.
256. Sama.
257. Teslavirusien purkauksia.
258. Heinrich Hertzin muotokuva.
259. Nopeita sähkövärähdyksiä synnyttävä purkautuminen.
260. Koherereja.
261. Righin värähdin.
262. Guglielmo Marconin muotokuva.
263. Langaton sähköttäminen.
264. Langaton sähköttäminen pitemmällä matkoilla.
265. Lennätinaseman sisustus.
266. Lennätinasema ulkopuolelta.
267. Geisslerin putkia.
268. Katodisäteet.
269. Katodisäteiden poikkeaminen.

- | | |
|--|---|
| 270. Kanavasäteet. | 284. Sähköveturi. |
| 271. Konrad Wilhelm Röntgenin muotokuva. | 285. Morsen kone. |
| 272. Röntgenin putki. | 286. Sähkölennätin kahden aseman välillä. |
| 273. Röntgenin säteillä valokuvattu rintakehä. | 287. Hughesin kirjasinlennätin. |
| 274. Röntgenin säteillä valokuvattu käsi. | 288. Yleislennättimellä lähetetty kuva. |
| 275. Käsivarren valokuvaaminen Röntgenin säteillä. | 289. Telefoni. |
| 276. Radiumin eri sädelajit. | 290. Mikrofoni. |
| 277. Radiumin säteillä otettu valokuva. | 291. Telefonijohto. |
| 278. Kaarilamppu. | 292. Hiilijyvämikrofoni. |
| 279. Hehkulamppu. | 293. Telegrafoni. |
| 280. Thomas Alva Edisonin muotokuva. | 296. Puhuva kaarilamppu. |
| 281. Sähköinen sulatusuuni. | 295. Sama. |
| 282. Galvanostegia. | 296. Kompassi. |
| 283. Sähkötömotori. | 297. Isogonit. |
| | 298. Isoklinit. |
| | 299. Inklinatationineula. |
| | 300. Viivasalama. |
| | 301. Ukkosenjohtaja. |

Värikköisiä kuvatauluja:

Saippuakupla.
 Valon interferenssistä syntyneitä valoilmioita.
 Kolmiväripaino.
 Spekitritaulu.

I.

Aine. Fysikaliset ilmiöt. Jatkuvaisuus. Luonnonvoimat. Voiman suuruus. Voiman paikka. Voiman suunta. Energia. Työ. Työkyky. Ikliikkuja. Toimiva ja pülevä energia. Energian häviämättömyys. Voiman vastavaikutuksen laki. Voimien yhdistäminen ja hajoittaminen. Voimien tasapaino.

Kaikki luonnossa tapahtuvat ilmiöt ovat sidotut aisteilamme havaittaviin esineihin. Nämä esineet taas ovat kokoonpannut siitä, mitä me nimitämme *aineeksi* eli *materiaksi*. Voimme siis sanoa, että luonnon ilmiöt ovat sidotut *materiaan*. Mitä materia on, se kysymys on ollut vanhoista ajoista luonnontutkijain ja *filosofien* mietinnön esineenä eikä se vieläkään ole ratkaistu. Voimme jättää tämän kysymyksen sikseen, sillä tämä seikka on *fysiikassa* vähemmän arvoinen. *Fysiikan* tutkimus kohdistuu nimittäin sellaisiin luonnon ilmiöihin, jotka eivät muuta kappaleen sisäistä rakennetta. Tiedämme, että jokainen kappale putoaa maata kohti. Olkoonpa kappale mitä ainetta tahansa, puupala, rautapala, vesipisara, niin putoaa se vallan samalla tavalla. Tällainen ilmiö on *fysikaalinen* ilmiö. Kun vesi jäätyy, jää sulaa, tapahtuu kyllä kappaleessa, vedessä, ulkonainen muutos, sen ulkonaiset ominaisuudet ovat näissä kahdessa muodossa vallan erilaiset, mutta sisällinen kokoomus on molemmissa muodoissa sama. Jos vilvaatteella hankaamme lakkatankoa, tulee se, kuten sanomme, sähköiseksi, vetää puoleensa kevyitä aineita ja antaa pieniä kipinöitä sormeen. Kuitenkaan ei lakassa itsessään ole vähintäkään muutosta tapahtunut. Kaikki nämä ilmiöt ovat fysikaalisia ilmiöitä. On kyllä fysiikassa ilmiöitä, jotka eivät ole sidotut aineeseen sellaisena kuin aineen jokapäiväisestä elämästä tunnemme. Sellaisia ilmiöitä ovat valo, lämpö ja sähkö. Kuitenkin oletamme näissäkin tapauksissa ainetta, vaikka

tällä aineella on erilaiset ominaisuudet kuin aisteilla huomattavalla aineella.

Materian sisäisen rakenteen ja sisäisten ominaisuuksien tutkiminen kuuluu fysiikan sisätielle, *kemialle*. Tältä tieteilä lainaa fysiikka aineen sisällistä rakennusta koskevan katsantokannan ja käyttää muutoinkin hyväkseen sen tieteen tuloksia, samoin kuin kemia usein turvautuu fysiikan tutkimusten tuloksiin.

Kaikilla kappaleilla luonnossa on taipumus pysymään siinä tilassa, missä ne kulloinkin ovat. Materia on niin sanoaksenne *h i d a s*. Tällä tarkoitetaan sitä, että kappaleessa itsessään tai sen suhteessa ympäristöönsä ei voi tapahtua muutosta itsestään, ilman erityistä aihetta. Kun näemme kappaleen levosta lähtevän liikkeeseen tai liikkeestä pysähtyvän, kun kuulemme kellon soivan, tunnemme sahan sahatessa lämpiävän, näemme jään sulavan, veden jäätyvän, niin tiedämme, että nämä muutokset eivät tapahdu itsestään, vaan on niihin etsittävä aihe kappaleen ulkopuolelta tai myös kappaleen sisäistä kokoomusta koskevien olosuhteitten muutoksesta. Voimme määritellä tämän aineen ominaisuuden niinkin, että aine pyrkii pitkittämään sitä tilaa, missä se on. Tästä syystä saa mainittu tosiasia nimen *j a t k u v a i s u d e n e l i n e r t s i a n l a k i*.

Kuta suurempi tuo muutos on, joka aineessa, kappaleessa, tapahtuu, sitä suurempi täytyy myös syyn siihen olla. Pienillä syillä ei luonnossa voi olla suuria seurauksia. Usein kylä on asian laita näännäisesti päinvastainen. Jos kuitenkin asiaa tarkemmin tutkimme, huomaamme, että seuraukset eivät olekkaan tuon pienen syyn seurauksia, vaan että tuo pieni aihe on saanut mahtavimmat syyt, jotka ovat ikäänkuin vireillä valmiina vaikuttamaan, tekemään tehtävänsä. Pieni kipinä, joka singahtaa ruutitynnyriin, on kyllä syynä rakennuksen kukistumiseen, mutta ei tämä kipinä ole rakennusta raunioiksi sortanut, vaan kipinän sytyttämästä ruudista kehittyneet voimat. Pienikin syy saa kyllä aikaan suuriakin seurauksia, jos se vaikuttaa pitkän ajan kuluessa tai usein uudistuen. Voihan »pisarakin uurtaa kiveä, kun se sille usein putoaa.» Vaikutus kullakin kerralla on pieni, mutta näistä kertyy vähitellen suuri seuraus.

Kaikkien luonnossa tapahtuvien muutosten syitä sanomme luonnonvoimiksi. Luonnonvoimat vaikuttavat kappaleihin joko suorastaan, välittömästi, kuten lyönti, sysäys, puristus tai matkan päästä, niinkuin vetovoima, magnetiset ja sähkövoimat. Edellisten voimien vaikutustapa on meidän helpompi käsittää, kuin jälkimäisten. Jälkimäiset voimat vaikuttavat kappaleisiin välillä olevista aineista riippumatta, vieläpä aisteilla huomattavasta aineesta tyhjänkin tilan läpi.

Tarkastaessamme luonnossa vaikuttavia voimia, tulee meidän ottaa huomioon muutamia yleisiä kaikille voimille yhteisiä seikkoja, joista käsityksemme voimasta ja sen vaikutuksesta riippuvat. Ensiksikin tulee meidän saada käsitys voiman suuruudesta. Mitatessamme jonkun voiman suuruutta käytämme samaa menettelytapaa kuin minkä hyvänsä muun suureen mittaamisessa s. o. me mittaamme voiman toisella voimalla, joka siis otaksutaan tunnetuksi. Kun esim. sanomme, että vesihöyry hörykattilassa painaa kattilan seinää 4 kgn paineella neliösentimetriä kohti, niin vertaamme voimaa, jota fysiikassa sanotaan höyryn jäntevyydeksi, siihen voimaan, jota sanotaan painovoimaksi. Samoin voimme verrata kahden magnetin tai kahden sähköisen kappaleen välillä vaikuttavaa voimaa painovoimaan, mitata edellisen jälkimäisellä.

Ylipäänsä voimme täten verrata suuruutensa puolesta toisiinsa voimia, joilla on samanlaiset vaikutukset. Voimia, joilla on erilaiset vaikutukset, emme voi suorastaan toisiinsa verrata. Niitä voimme ainoastaan välillisesti verrata siten, että voimien suoranaisten vaikutusten seuraukset ovat samanlaatuiset ja siten toisiinsa verrattavissa. Vasaran lyönnillä alasinta vastaan ja hapen ja vedyn yhtymisellä vedeksi ei näennäisesti ole mitään yhtäläisyyttä. Voimmeko siis olenkaan verrata sitä voimaa, joka panee vasaran liikkeelle ja sitä, joka saa hapen ja vedyn vedeksi yhtymään? Voimme kyllä. Molemmat ilmiöt synnyttävät näet lämpöä ja vertaamalla ilmiöistä syntyneitä lämpömääriä voimme myös verrata toisiinsa näitä ilmiöitä aikaansaavia voimia.

Edelleen tulee meidän ottaa huomioon paikka, missä voima vaikuttaa. Saman voiman suuruus on usein eri suuri eri paikoin. Niinpä saamme nähdä, että painovoima ei

ole yhtäsuuri kaikissa paikoin maan pinnalla. Aurinko vetää auringon pinnalla olevaa kappaletta noin 45 tuh. kertaa niin suurella voimalla kuin jotakin kappaletta maan pinnalla. Ilma painaa esineitä mejen pinnan tasalla suuremmalla voimalla kuin korkealla vuorella. Maan vaikutus magnetineulaan on eri suuri eri paikoin maan pinnalla j. n. e.

Myös voiman *s u u n t a* on voiman vaikutusta tarkastettaessa otettava huomioon. Suora tai käyrä viiva, joka on niin vedetty, ettei voiman vaikutussuunta yhdessäkään pisteessä poikkea viivan suunnasta, ilmoittaa kysymyksessä olevan voiman suuntaa. Sellainen viiva saa fysiikassa *voimaviivan* nimen. Voimaviivan yksi pääpiste on piste, josta käsin voima vaikuttaa. Kaikki muut pisteet viivalla ovat pisteitä, joihin voima vaikuttaa.

Mainitsimme jo, että kuta suurempi joku luonnossa tapahtunut muutos on, sitä suurempi täytyy myös olla syyn siihen, ilmiöitä aikaansaavan voiman. Aivan niinkuin jonkun henkilön tarmon voimme arvostella hänen suorittamiensa töitten nojalla voimme myös voimaa arvostella sen vaikutusten nojalla; kuta suuremmat vaikutukset, sitä tehoisampi on voima. Jokaisella voimalla on joku määrä n. s. *energiaa*. Tällä sanalla tarkoitamme siis voiman kykyä toimittaa jotakin ja tätä »jotakin», jonka voima toimittaa, sanomme fysiikassa, kuten joka-päiväisessä puheessakin ihmisen ruumiillisen tai henkisen toiminnan tulosta, *työksi*. Energia on siis voiman kyky toimittaa työtä ja on toimitetun työn suuruus voiman energian mitta.

Kysymys voimien ja niiden energian mittaamisesta kohdistuu siis työn mittaamiseen ja, koska kaikki voimat voivat toimittaa työtä, on meillä siis tässä keino, jonka avulla voimme verrata toisiinsa voimia mitä hyvänsä. Työyksikkö, millä työn suuruutta käytännössä mitataan, on johdettu tavallisesta ruumiillisesta työstä. Käyttämällä lihastemme voimaa, voimme nostaa kappaleita, siirtää niitä painovoiman vastaiseen suuntaan. Kun nostamme kilogramman painoisen kappaleen metrin pituisen matkan maasta ylös, toimitamme työn, jota osoittaa nimi *kilogrammametri* (kgm). Tämä työ otetaan työyksiköksi. Jos siis joku voima voi nostaa 2 kg:aa 1 m:n korkeuteen, on sen toimittama työ 2 kgm:iä; jos se nostaa 3 kg:aa 2 m:in korkeuteen, on työ 6 kgm:iä j. n. e. Saman matkan, jonka

nostettu paino siirtyy, siirtyy myös sitä nostava voimakin. Nostamaan kappaletta painovoiman vastaiseen suuntaan tarvitaan yhtä suuri voima kuin kappaleen painokin on. Voimme siis lausua jonkun voiman toimittaman työn suuruutta seuraavalla tavalla: työn suuruus saadaan, kun voima kerrotaan voiman omaan suuntaansa siirtymällä matkalla.

Kuta lyhemmässä ajassa työ tulee toimitetuksi, sitä enemmän työtä voi voima tiettyssä ajassa toimittaa. Se työmäärä lausuttuna kilogramm metreinä, minkä voima toimittaa yhdessä sekunnissa, on voiman *työkyky (effekti)*. Sen yksikkönä käytetään usein *hevosvoimaa*, joka vastaa 75 kgm:iä työtä sekunnissa.

Mainitsemallamme työyksiköllä mitataan myös työtä, joka ilmestyy muussa muodossaa kuin jonkun esineen nostamisessa. Kun taivutamme rautalankaa, toimitamme työn, jonka suuruuden voisimme mitata ripustamalla langan päähän painoja siksi kunnes lanka taipuu ja mittaamalla sen matkan, minkä painot ovat laskeutuneet alaspäin langan taipuessa. Kun kierrämme poraa puuhun, toimitamme myös työtä. Sen suuruuden taas voisimme mitata kiertämällä rihman poran varren ympärille, ripustamalla siihen niin suuren painon, että pora tunkeutuu puuhun ja mittaamalla painon laskeutuman matkan. Umpinaiseen putkeen suljettua ilmaa voimme puristaa kokoon painamalla putkeen mäntää. Toimitetun työn suuruutta ilmoittaa mäntää painavan voiman ja männän alaspäin painuman matkan tulo. Höyrykattilassa kehittyvä vesihöyry panee koneen liikkeelle, kone nostaa painoja, kuljettaa itsensä ja muita esineitä, panee muita koneita käymään j. n. e. Vesihöyryn avulla toimittaa tässä lämpö työtä jonka suuruuden voimme mitata, kun tarkoin otamme huomioon kaikki eri osat, joiksi lämmön toimittama työ tässä jakautuu. Sähkövirralla voimme panna koneita käymään, toimittaa työtä. Kaikki luonnon voimat voivat toimittaa työtä.

Sitä myöten kuin voima toimittaa työtä kuluu sen energia, muuttuu työksi, ja vihdoin on voiman energia kaikki työksi muuttunut. Tietyllä voimalla, toisin sanoen, tietyllä energiamäärällä voimme toimittaa tietyn määrän työtä. Jos vaaditaan lisää työtä, täytyy uutta voimaakin tulla lisää, joka taas voi muuttua työksi. Tästä ymmärrämme myös

kuinka turhaa on koettaa rakentaa konetta, joka liikkuisi itsestänsä ikuisesti n. s. *ikiliikkuja* (perpetuum mobile). Liikkeelle panemaan ja liikkeellä pitämään konetta, toimittamaan tähän tarvittavaa työtä, tarvitaan joku määrä energiaa. Kun kaikki energia on työksi muuttunut, pysähtyy kone. Koneen edelleen liikkeellä pitämiseen vaaditaan joko uutta koneen ulkopuolelta tulevaa energiaa tai on voiman toimittama työ taas muutettava takaisin energiaksi, mikä ei voi tapahtua muulla tavalla kuin käyttämällä uutta, muualta kuin koneesta itsestään saatua työtä. Jollei koneella olisi mitään työtä toimitettavana, jollei esim. hankautumista akseleissa olisi, jollei ilma vastustaisi koneen liikettä j. n. e., niin liikkuisi se kerran liikkeelle pantuna jatkuvaisuuden lain mukaan ikuisesti, sillä yhtä mahdotonta kuin kappaleella on itsestään liikkeeseen joutuminen, on myös sille kerran liikkeeseen pantuna pysähtyminen, ellei sillä ole mitään vastustusta voitettavana, työtä toimitettavana.

Tähän saakka olemme puhuneet energian muuttumisesta työksi, joka työ ilmenee jonkun vastustuksen voittamisessa ja siis valmiissa aisteillamme käsitettävässä muodossa. Mutta voima toimittaa työtä silloinkin, kun tämä ei ilmene sellaisena työnä, joka on meille jokapäiväisestä elämästä tunnettu. Kun kivi maan vetovoiman vaikutuksesta putoaa, olkoonpa vaikka ilmattomassa tilassa, toimittaa maan vetovoima työn. Miten ilmenee siis voiman toimittama työ ja mihin kuluu voiman energia? Työ ilmenee juuri siinä, että putoavan kiven nopeus yhä lisääntyy kuta pitemmän ajan se on pudonnut. Työtä tarvitaan siis antamaan putoavalle kappaleelle yhä suurempaa nopeutta. Tarvittava työ kasvaa niinkuin nopeus itsellään kerrottuna. Jos siis nopeus tulee kaksin-, kolmin-, nelinkertaiseksi, on sen saavuttamiseksi käytetty työ nelin-, yhdeksän-, kuusitoistakertainen j. n. e. Vasta sitten kun kappale on koskettanut maan pintaa, on maan vetovoima niin sanoaksemme tyhjentänyt energiansa. Niinkauan kuin kappale putoaa, on vain osa vetovoiman energiasta muuttunut työksi, osa vielä työksi muuttumatta.

Tällaista työksi muuttuvaa energiaa sanomme fysiikassa *toimivaksi* eli *aktuelliseksi* energiaksi. Jos pysähdyttämme kappaleen, ennenkuin se on saapunut maanpintaan, säilytäm-

me osan maan vetovoiman energiasta, joka, jos annamme kappaleen edelleen pudota, voi muuttua työksi. Energiaa, joka ei vielä ole työksi muuttunut, sanomme *piileväksi* eli *latenttiseksi* energiaksi. Tässä esimerkissä on kappale pysähdyttyään sellaisessa asemassa maahan, että maan vetovoima voi sen panna liikkeelle ja siten vetovoiman energia muuttua työksi. Samoin voi viritetty jousi oietessaan toimittaa työtä, kun sen voiman energia, millä jousi pyrkii oikenemaan, muuttuu työksi. Kokoonpuristettu kaasu pyrkii laajenemaan ja voi laajetessaan toimittaa työtä. Ruudin yhdyssosat pyrkivät kemiallisesti yhtymään ja, jos ruuti sytytetään, toimittaa se voima, millä osat yhtyvät, työtä. Piilevä energia muuttuu toimivaksi.

Olemme puhuneet energian muuttumisesta työksi. Kaikki nuo äärettömän moninaiset työmuodot, jotka luonnossa tapaamme, vaativat mahdottomia määriä energiaa. Luonnollisesti astuu tässä eteemme kysymys: eikö vihdoin kaikki luonnossa löytyvä energia ole loppuun kulutettu ja kaikki työ mahdotonta? Kun kivi on pudonnut maahan, kun viritetty jousi on oiennut, kun kokoonpuristettu kaasu on laajentunut, kun ruuti on palanut ja lennättänyt luodin, niin onhan voiman energia hävinnyt, muuttunut työksi. Täytyy käyttää taas uutta työtä, joka vuorostaan vaatii energiaa, nostamaan kiveä ylös maasta, virittämään jouta, puristamaan kaasua kokoon ja saattamaan ruudin yhdyssosat sellaiseen keskinäiseen yhdistykseen, että niistä syntyy ruutia.

Näin ei asian laita kumminkaan ole. Energia ei häviä työksi muuttuessaan, sillä työ muuttuu taas takaisin energiaksi, joka voi ilmestyä monessa muodossa. Pudonnut kappale musertaa pysähtyessään jonkun esteen, halkeaa itse palasiksi tai muuttaa muotoansa ja ennen kaikkea lämpiää se pysähtyessään. Vastuksen murtaminen, kappaleen pirstaleiksi hajoaminen, muodon muuttuminen ovat kaikki työtä, joka vaatii energiaa. Koska ulkoapäin ei ole tullut mitään energiaa lisää, on siis maan vetovoiman kappaleen pudotessa toimittama työ muuttunut energiaksi ja tämä energia sitten toimittanut tuon työn. Lämpö taas on puhdasta energiaa, joksi suurin osa työstä muuttuu. Oikeneva jousi, laajeneva kaasu sysäivät kappaleen liikkeelle, joka työ taas kappaleen pysähtyessä

muuttuu jossakin muodossa olevaksi energiaksi. Ne voisivat nostaa kappaleen ylös maanpinnasta, jolloin työ muuttuu piileväksi energiaksi, ne voivat käyttää sähkökonetta, jolloin työ muuttuu sähköksi, se taas vuorostaan lämmöksi ja valoksi, jotka ovat puhdasta energiaa. Täten jatkuu luonnossa ikuisen kiertokulku: energia muuttuu työksi ja työ taas energiaksi. Energia ilmaantuu siis yhä uudelleen energiana, usein kyllä vallan toisessa muodossa ja ehkä monen välimuodon kautta, vaan aina vähentymättömänä tai lisääntymättömänä. Emme voi luontoon luoda rahtuistakaan energiaa lisää, yhtä mahdollonta on myös sitä rahtuistakaan hävittää. Tämä energian häviämättömyyden laki on se punainen lanka, joka yhdistää kaikki luonnon ilmiöt toisiinsa. Tätä lakia vastaa eräs toinen yhtä tärkeä laki, joka ei kumminkaan niin suorastaan kohdistu fysiikkaan kuin äsken mainittu. Se on materian häviämättömyyden laki. Materia on monenmoisten muutosten alaisena luonnossa, mutta tapahtukoonpa siinä mikä muutos tahansa, aina ilmaantuu se taas uudelleen materiaana. Emme voi luoda rahtuistakaan materiaa lisää, emme rahtuistakaan sitä hävittää. Materian häviämättömyyden laki on kemian kulmakivi, energian häviämättömyyden laki fysiikan.

Tältä kannalta ei ole asiaa aina katsottu. Joskin tämä fysiikan peruslaki on ennen ollut aavistettu, niin astuu se selvästi lausuttuna esiin vasta 1842, jolloin Heilbronnissa asuva lääkäri *Julius Robert Mayer* sen ensimmäisenä lausui. Hänen mainittuna vuonna julkaisemansa teos koski lämmön ja työn yhteyttä ja lausui hän siinä väitteen, että jokaiseen työhön kuluu tietty määrä lämpöä ja että päinvastoin tietyllä määrällä työtä voi synnyttää tietyn määrän lämpöä. Toisessa 1845 julkaisemassaan teoksessa ulottaa hän tämän väitteensä kaikkiin luonnon voimiin, väittäen, että kaikissa luonnonilmiöissä voima pysyy muuttumattomana ilmaantukoonpa se sitten muodossa missä hyvänsä.

Mayerin teokset eivät kumminkaan saavuttaneet sitä huomiota ja tunnustusta, jonka ne olisivat ansainneet. Samaa lopputulokseen tuli Mayerin teoksia tuntematta kolme muuta tutkijaa: kööpenhaminalainen insinööri *Colding*, salfordilainen oluenpanija *Joule* ja sotilaslääkäri, sittemmin pro-

fessori *von Helmholtz*. Colding tuli tähän tulokseen mietelmien kautta. Koska, arveli hän, luonnonvoimat ovat aineesta riippumattomia henkisiä olentoja, täytyy niillä olla yhteisen voiman kanssa, joka luontoa hallitsee ja siten keskenänsä. Voimat ovat, kuten henkiset olennot ainakin, häviämättömät. Joule teki huolellisia kokeita asiaa todistaakseen ja *von Helmholtz* kävi asiaan käsiksi matematiselta kannalta.

Toisistaan riippumatta ja eri kannalta asiaa tarkastaen tulivat nämä kolme tutkijaa samaan tulokseen kuin Mayer ennen heitä. Energian häviämättömyyden lain keksimisen etu-oikeus kuuluu kumminkin kieltämättä Mayerille.

Energian häviämättömyyden laki lausuu siis ainoastaan sen tosiseikan, että energia muuttuessaan yhdestä muodosta toiseen ei lisäännä eikä vähene. Millä tavalla tämä muuttuminen tapahtuu, sitä ei laki ilmaise. Kun tunnemme voiman vaikutuksen jonakin hetkenä, voimme tämän lain avulla edeltäkäsän määrätä sen vaikutuksen jonakin toisena hetkenä, ellei ole tullut lisää energiaa muualta eikä myös jätetty jotakin osaa voiman energiasta huomioon ottamatta, ja kaiken tämän voimme tehdä laisinkaan välittämättä niistä ilmausmuodon muutoksista, joiden alaisena energia on noiden kahden hetken väliaikana ollut. Tämän ajatuksen juoksun voimme sovitaa ei ainoastaan yhden ainoan voiman energiaan, vaan kaikkien luomakunnassa vaikuttavien voimien yhteiseen energiaan, niiden energiasummaan. Kaiken luomakunnassa löytyvän energian, ilmaantukoonpa se sitten muodossa missä hyvänsä, summa on siis joka hetki sama. Luonnossa löytyvä energiamäärä ei suinkaan ole tasaisesti jaettu eikä voikaan niin olla niinkauan kuin muutoksia luonnossa tapahtuu, sillä luonnossa tapahtuvat muutokset ovat niin sanoaksemme energian tasaantumisen seurauksia. Niinkauan kuin energiaa luonnossa on eri ilmausmuodoissa, niinkauan tapahtuu myös energian muuttumista yhdestä muodosta toiseen, niinkauan ovat myös tästä muuttumisesta seuraavat ilmiöt olemassa; niinkauan kuin energia, olkoonpa sitten yhdessä ainoassa ilmausmuodossa, on epätasaisesti jaettu, niinkauan on vielä muutoksia luonnossa olemassa.

Tässä olisi meidän vastattava kysymykseen: voiko kaikki energia vihdoinkin muuttua samanlaiseksi ja voiko tämä energia

tulla tasaisesti jaetuksi koko maailman avaruuteen? Vastauksen antaminen tähän kysymykseen ei kuulu enää fysiikalle, kysymys on nimittäin kokemukseen ja ja havaintoon perustuvan tutkimuksen rajojen ulkopuolella. Sen vastaaminen kuuluu filosofialle, ei fysiikalle. Voimme kumminkin tässä mainita, että sellainen tila on tuskin otaksuttava, sillä jos sellainen tila on tulevaisuudessa mahdollinen, niin on sen myös täytynyt joskus menneisyydessä tapahtua, koska tällainen energian muuttuminen ja tasoittuminen on ollut olemassa mittaamattomia aikoja. Silloin jää taas meiltä selittämättä, miten luomakunta on päässyt tuon tasoittumistilan, tuon »kuolleen pisteen» ohitse kehittymään nykyiseen tilaansa.

Puhuessamme voimien vaikutuksesta emme voi olla mainitsematta erästä ilmiötä, joka fysiikassa on saanut nimen voiman *vastavaikutus*. Missä vaan voima on vaikuttamassa esiintyy myös tämän vastavaikutus. Kun vasaralla lyömme alasiimeen, ei lyönti kohtaa ainoastaan alasinta, vaan myös vasaraa. Kun ammutaan tykillä, niin ruudin palamisesta syntynyt voima vaikuttaa niin hyvin luotiin kuin myös tykkiin j.n.e. Vastavaikutus on aina yhtä suuri kuin vaikutuskin. Tosin monessa ilmiössä tämä voiman vastavaikutus ei ole niin silmään pistävä kuin vaikutus itse. Niinpä tykin luoti lentää paljon pitemmän matkan ja aikaansaa paljonkin huomattavampia vaikutuksia kuin tykki itse ponnahtaessaan takaisin vastavaikutuksen vuoksi. Sen voiman vaikutus, millä maa vetää kiveä puoleensa, on kyllä näkyvä mitä kiveen tulee, jota vastoin vastavaikutus s. o. voima, millä kivi vetää maata, ei ole ollenkaan huomattava. Kuitenkin ovat ne molemmat yhtä suuret. Syyn tähän ymmärrämme kyllä, kun vertaamme toisiinsa luodin ja tykin, kiven ja maan painoa. Sama voima ei tietysti voi molemmissa aikaansaada samaa vaikutusta mitä esim. molempien kulkemaan matkaan tulee. Sitä vastoin ovat työt, mitkä voiman vaikutus ja vastavaikutus toimittavat, yhtä suuret.

Tästä vaikutuksen ja vastavaikutuksen laista seuraa eräs ilmiö, joka tässä mainittakoon ja joka ensi silmäyksellä näyttää omituiselta. Ajatelkaamme kappaleryhmää, jossa kappaleet ovat toisiinsa sidotut niiden välillä vaikuttavien voimien kautta. Tässä ryhmässä ovat voimien ja vastavaikutusten summat yh-

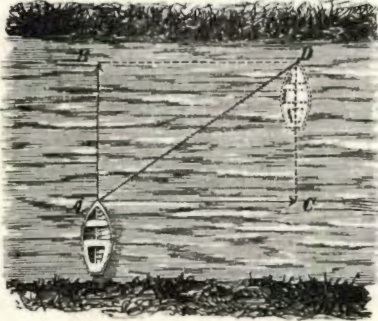
tä suuret. Kappaleryhmässä voi siis olla olemassa liikettä, mutta ryhmä kokonaisuudessaan ei voi kappaleiden välillä vaikuttavien voimien nojalla joutua liikkeeseen. Niinpä meidän aurinkokuntaamme kuuluvien kappaleiden välillä vaikuttavat näiden kappaleiden keskinäiset vetovoimat. Nämä vetovoimat saavat kyllä aurinkokuntaan kuuluvat kappaleet liikkeelle toisiinsa nähden, vaan koko aurinkokunta ei voi voimien vaikutuksesta liikkua paikaltaan. Liikkeelle saa sen ainoastaan aurinkokunnan ulkopuolella löytyvä voima.

Kuuluisa englantilainen fysikko *Isak Newton* on lausunut yllämainitun voiman vaikutusta ja vastavaikutusta koskevan lain. Eräs toinen kuuluisa fysikko, italialainen *Galileo Galilei* on lausunut toisen voimain vaikutusta koskevan lain, jolla on erittäin tärkeät seuraukset. Tämä laki käy nimellä voimain riippumattoman vaikutuksen laki. Laki kuuluu: jokainen voima vaikuttaa toisista yht'aikaa vaikuttavista voimista riippumatta. Jos siis samaan kappaleeseen on yhtä haavaa vaikuttamassa useampia voimia, niin kunkin voiman vaikutus kappaleeseen on vallan riippumaton muiden voimien vaikutuksesta. Olemme ehkä taipuisat väittämään, ettei niin ole asian laita. Jos esim. annamme kiven pudota, s. o. maan vetovoiman kiveen vaikuttaa, ja sitten pysähdytämme kiven panemalla vaikkapa kätemme sen alle, joten annamme toisen voiman, käden vastuksen, myös vaikuttaa kiveen, niin pysähtyy kivi. Siis maan vetovoiman vaikutus kiveen on näennäisesti muuttunut tuon toisen voiman kautta. Niin ei kuitenkaan ole laita. Tuo toinen voima on kumonnut ensimmäisen voiman vaikutuksen, ei muuttanut sitä. Kyllä maa vetää kädessä lepäävääkin kiveä yhä edelleen yhtä suurella voimalla ja samaan suuntaan kuin putoavaa kiveä, vaikka tämä vaikutus nyt ilmestyy toisessa muodossa, nimittäin painona kättä vastaan.

Meidän tulee siis käsittää yllämainittu laki siten, että useampien yhtä haavaa samaan kappaleeseen vaikuttavien voimien yhteisvaikutuksen tulos kyllä on toisenlainen kuin yksityisten voimien vaikutuksen tulos, vaan tähän yhteisvaikutuksen tulokseen sisältyy kunkin voiman vaikutus suuruutensa ja suuntansa puolesta vallan sellaisena kuin se olisi, jos voima vaikuttaisi yksinänsä.

Useampien voimien yhteisvaikutuksen lopputulos on, koska kunkin voiman vaikutus kappaleeseen on muista voimista riippumaton, sama, vaikuttakoot voimat kaikki yhtäaavaa tai p e r ä k k ä i n, yksi ensin, toinen sitten j. n. e.

Ajatelkaamme esim. laivaa, johon vaikuttaa tuulen voima ja virran voima. Vieköön tuuli laivaa pohjoiseen suuntaan ja virta itäiseen. Laiva ei kulje pohjoiseen eikä itään, vaan suuntaan, joka on pohjoisen ja idän välillä. Vallan samaan



Kuva 1. AB tuulen suunta, AC virran suunta. AD laivan kulkusuunta.

pisteeseen, johon laiva tulee molempien voimien vaikutuksesta, tulisi se, jos se ensin kulkisi yksinomaan tuulen vaikutuksesta pohjoisen ja sitten yksinomaan virran vaikutuksesta itään, kumpaankin suuntaan saman ajan minkä se molempien vaikutuksesta kulkee pohjoisen ja idän väliseen suuntaan. Voimme siis ajatella tuulen voiman ja virran voiman asemasta

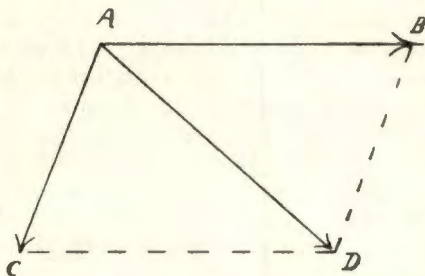
yhd en ainoan voiman, jolla on se suunta, mihin laiva molempien mainittujen voimien vaikutuksesta kulkee ja sellainen suuruus, että laiva sen vaikutuksesta kulkee saman matkan kuin molempien voimien yhteisvaikutuksesta.

Päinvastoin voimme ajatella voiman, joka vie laivaa pohjoisen ja idän väliseen suuntaan, jaetuksi k a h d e k s i voimaksi, yksi suunnattuna pohjoiseen ja toinen itään.

Minkä tässä olemme sanoneet kahdesta voimasta, voimme sanoa kuinka monesta voimasta hyvänsä. Siis voimme ajatella mielivaltaisen luvun samassa pisteessä vaikuttavia voimia yhdistetyksi yhdeksi ainoaksi voimaksi (voimien yhdistäminen) ja päinvastoin yhden ainoan voiman jaetuksi mielivaltaiseksi luvuksi samassa pisteessä vaikuttavia voimia (voiman hajoittaminen). Näin voimme ajatella tehdyksi; todellisuudessa ei voimaa voi jakaa useammaksi voimaksi, eikä useampia voimia yhdeksi yhdistää. Mainitut lait ovat

kokonaan kokemukseen perustetut, vaan sellaisinakin on niillä käytännössä erittäin suuri merkitys. Kun käytännössä voimia on yhdistettävä tai hajoitettava, ajatellaan kukin voima esitetyksi suoralla viivalla, jonka suunta ilmaisee voiman suuntaa ja pituus voiman suuruutta, jolloin kaikki voimat ovat samalla mitalla mitatut ja voimayksikköä esittää mielivaltainen pituusyksikkö, esim. 1 cm. Otaksukaamme, että kymmenen yhtä voimakasta miestä vetää samaa köyttä samaan suuntaan. Köysi pingoittuu silloin voimalla, joka on yhtä suuri kuin noiden kymmenen miehen voimat yhteenlaskettuina, yhtä suuri kuin niiden summa, ja on sillä se suunta, mihin miehet vetävät. Oletetaan edelleen, että samaan pisteeseen, mihin tuo kymmenen miehen vetämä köysi on kiinnitetty, kiinnitetään toinen köysi, johon tarttuu kuusi miestä vetäen köyttä päinvastaiseen suuntaan kuin nuo kymmenen miestä. Jos nuo kuusi miestä ovat kukin yhtä voimakkaita kuin kukin edellinen mies, niin on selvää, että noiden kuuden miehen vetovoima vastaa kuuden edellisen miehen vetovoimaa ja että noiden kuudentoista miehen vetämisen lopputulos vastaa neljän miehen vetovoimaa siihen suuntaan mihin nuo kymmenen miestä vetävät.

Saamme siis seuraavat säännöt samaan pisteeseen vaikuttavien voimien yhdistämiselle: Jos voimat vaikuttavat kaikki samaan suuntaan, on se voima, jonka vaikutus on sama kuin kaikkien voimien yhteensä, n.s. *resultantti* (tulosvoima), yhtä suuri kuin kaikkien voimien *komponenttien* (osa-voimain) summa ja saman suuntainen kuin nekin. Jos voimat vaikuttavat vastakkaisiin suuntiin, yhdistetään ensin kaikki samaan suuntaan vaikuttavat voimat, joten saadaan kaksi vastakkaisiin suuntiin vaikuttavaa tulosvoimaa ja nämä yhdistetään lopulliseksi tulosvoimaksi, joka on suuruudeltaan äskeisten tulosvoimien ero ja samansuuntainen kuin suurempi niistä. Vielä on kokemus osoittanut, että, jos kaksi voimaa, joiden suunnat muodostavat kulman keskenänsä, on yhdistettävä, lävistäjä siinä suunnikkaassa, jossa yhdistettävät voimat, kukin viivallaan esitettynä, ovat yhtyvinä sivuina, on näiden resultanttivoima sekä suuntaan että suuruuten nähden (voimien suunnikas).



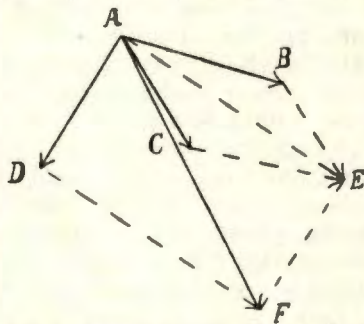
Kuva 2. Voimien suunnikas. AB ja AC osavoimat. AD tulosvoima.

Tämän nojalla voimme yhdistää useampiakin samassa pisteessä vaikuttavia voimia. Yhdistetään ensin kaksi, sitten niiden resultantti ja kolmas voima j. n. e., kunnes kaikki voimat ovat yhdistetyt.

Mitä voiman hajottamiseen tulee, voi tietysti voiman hajottaa kahdeksi tai useammaksi osavoimaksi äärettömän monella tavalla, ellei mitään erityisiä ehtoja, niinkuin osavoimien suunta tai suuruus, ole edeltäkäsin olemassa. On vaan piirrettävä suunnikas, jossa tiettyä voimaa esittävä viiva on lävistäjänä, niin yhtyvät sivut ovat etsityt kaksi osavoimaa.

Voimien yhdistäminen siinä tapauksessa, että voimat vaikuttavat erillään olevissa pisteissä, ei ole niinkään yksinkertainen kuin nyt suorittamamme tehtävä, emmekä voikaan tässä ottaa sitä esitettäväksi kaikessa laajuudessaan. On selvää, että voimien yhdistäminen tässä tapauksessa ei voi tulla laisinkaan kysymykseen, jos voimien sovituspisteiden välillä ei ole olemassa mitään yhteyttä. Ainoastaan silloin, kun sovituspisteiden välillä on olemassa sellainen yhteys, että yhteen pisteeseen sovitetun voiman vaikutus tuntuu myös muissa pisteissä, voi voimien yhdistäminen tulla kysymykseen. Sellainen yhteys on olemassa saman kappaleen pisteiden välillä.

Otamme tässä puheeksi vain yhdensuuntaisten



Kuva 3. Useampien samassa pisteessä vaikuttavien voimien yhdistäminen. Yhdistettävät voimat AB AC ja AD. Lopullinen tulosvoima AF.

voimien yhdistämisen, kun mainitut voimat vaikuttavat erillään olevissa, mutta keskenänsä yhdistetyissä pisteissä.

Joka kohdalta yhtä paksun tangon molemmissa päissä riippuu yhtä suuret painot. Henkilö tahtoo kantaa noita painoja asettamalla tangon olkapäälleen. Kokemus näyttää, että tulee asettaa tangon keskipiste olkapäätä vastaan ja että paino olkapäätä vastaan on yhtä suuri kuin molemmat tangon päissä riippuvat painot yhteensä. Siis noiden kahden yhdensuuntaisen voiman, tangon päissä riippuvien painojen, resultantti on sovitettu molempien komponenttien sovituspisteiden keskilinjalle ja on suuruudeltaan yhtä suuri kuin niiden summa. Olkoot tangon päissä riippuvat painot eri suuruiset, toinen 2 kg, toinen 3 kg. Kun tanko sovitetaan olkapäälle, on paino olkapäätä vastaan nytkin painojen summa, 5 kg, mutta tangon keskipiste ei nyt voi tulla olkapään kohdalle. Voimien tulosvoima ei ole sovitettu osavoimien sovituspisteiden keskilinjalle, sillä kokemus osoittaa, että tanko kallistuu suuremman voiman puolelle, jos tangon keskipiste tuetaan olkapäätä vasten. Tulosvoiman sovituspiste on lähempänä suuremman voiman sovituspistettä ja löydämme sen siten, että jaamme koko tangon viiteen ($2 + 3$) yhtäsuureen osaan ja sovitamme tulosvoiman 2:n tällaisen osan päähän suuremman ja siis 3:n osan päähän pienemmän voiman sovituspisteestä, kuitenkin sillä edellytyksellä, että tangon oma paino jätetään huomioonottamatta.

Jos kerromme voimien suuruutta osoittavat luvut 2 ja 3 resultantin ja voimien sovituspisteiden välisillä tangon osilla 3 ja 2, saamme tulot 2×3 ja 3×2 , siis 6 molemmissa tapauksissa. Tässä onkin kahden yhdensuuntaisen voiman yhdistämisen sääntö. Tulosvoiman sovituspiste on osavoimien sovituspisteitä yhdistävällä suoralla sellaisella kohdalla, että etäisyydet tästä pisteestä osavoimien sovituspisteisiin, kumpikin kerrottuna vastaavalla osavoimalla, antavat saman tulon. Tulosvoiman suuruus on yhdistettävien voimien summa, jos voimat vaikuttavat samaan suuntaan, ero, jos voimat vaikuttavat vastakkaisiin suuntiin. Sen suunta on edellisessä tapauksessa komponenttien suunta, jälkimmäisessä suuremman komponentin suunta.

Voimme tällä tavalla yhdistää useampiakin yhdensuuntaisia voimia, vaikuttakootpa ne sitten kaikki samaan suuntaan tai olkoonpa niiden joukossa vastakkaiseenkin suuntaan vaikuttavia voimia. Menetellään samoin kuin yhdistettäessä useampia samaan pisteeseen vaikuttavia voimia siinä suhteessa, että ensin haetaan kahden tulos, sitten sen ja kolmannen voiman tulos, j. n. e. Siten saadaan vihdoin kaikkien voimien tulos, joka on sovittu johonkin pisteeseen. Sitä pistettä sanotaan voimien *painopisteeksi*.

Ainoastaan yhdessä tapauksessa yllämainittu menettely ei sovellu, nim. kun on yhdistettävä kaksi yhdensuuntaista, vastakkaisiin suuntiin vaikuttavaa ja yhtä suurta voimaa. Sellaisilla voimilla ei ole mitään resultanttia. Voimat muodostavat silloin n. s. *voimamarin*. Voimamarin vaikutus ilmenee siten, että voimien sovituspisteitä yhdistävä viiva kiertyy keskuspiteensä ympäri, kunnes sillä on sama suunta kuin voimillakin.

Voimme siis löytää tietyille voimille resultantin, joka on sovittettu tiettyyn pisteeseen. Jos tähän pisteeseen sovitamme vielä uuden voiman, joka on yhtä suuri kuin tiettyjen voimien resultantti ja vaikuttaa päinvastaiseen suuntaan, niin kumoamme täten kaikkien tiettyjen voimien vaikutuksen, jollei voimien joukossa ole voimaparia, jonka senkin voimme kumota päinvastaiseen suuntaan vaikuttavalla voimaparilla. Tiettyjen voimien sekä tuon lisää asetetun voiman lopullinen resultantti on siis nolla. Voimien sanotaan tässä tapauksessa, kun kaikkien lopullinen resultantti on nolla, olevan *tasapainossa*. Kappaleen, johon voimat vaikuttavat, sanotaan silloin myös olevan tasapainossa.

II.

Aineen kokoomus. Aineen jaollisuus. Atomit ja molekyylit. Molekyylivoimat. Olomuodot. Kokoonpuristuvaisuus ja kestäväisyys. Kimmoisuus. Huokoisuus. Adhesionivoima. Liukeneminen. Sekoittuminen.

Jo edellisessä olemme maininneet, että kaikki luonnossa löytyvät kappaleet ovat kokoonpannut aineesta eli materias-
ta ja että aineen sisällisen kokoomuksen laatu jo vanhoista
ajoista on ollut tutkimuksen esineenä. Pintapuolisinkin
tarkastus osoittaa, etteivät kaikki kappaleet ole samanlaatuista
ainetta. Meidän täytyy siis olettaa, että ainetta on ole-
massa useampaa eri laatua ja että kappaleet ovat kokoonpan-
nut joko yhdestä ainoasta tai useammasta ainelaadusta. Tällä
ajatuksella on kauas muinaisuuteen ulottuvat juuret. Jo
vuonna 460 e. Kr. lausui agrigentilainen *Empedokles* sen aja-
tuksen, että n. s. alkuaineita eli elementtiä, joista kaikki luoma-
kunnassa on kokoonpantu, on neijä: maa, ilma, vesi ja tuli.
Paljon lähemmäksi nykyisen tieteen katsantotapaa tulivat
kumminkin samaan aikaan *Demokritos* Abderasta ja *Anaksa-
goras* Klatsomenestä. He ajattelivat aineen kokoonpannuk-
si äärettömän pienistä osista, joita he nimittivät *atomeiksi*
(atomi = mahdoton jakaa). Nämä atomit ovat painonsa, suu-
ruutensa, kovuutensa j. n. e. suhteen erilaisia ja siten synty-
vät niistä eri aineet, joista kappaleet ovat kokoonpannut.
Tämä katsantokanta vastaa melkein täydelleen meidän nykyis-
tä käsitystämme. Otaksumme nimittäin, että aine on
jaollinen äärettömän pieniin osiin ja että nämä osat ovat aina-
kin ulkonaisilla voimilla jakamattomia. Ei tule kumminkaan
luulla, että ainetta todellakin voi jakaa niin pitkälle, että
vihdoin saisimme käteemme yhden ainoan atomin. Joka-
päiväinen kokemus osoittaa kyllä, että aine on jaollinen ää-

rettömän pieniin osiin, mutta jokainen tällainen osa voi olla vielä kokoonpantu miljonista atomista. Muutamia esimerkkejä aineen jaollisuudesta. Platinasta voi valmistaa langan, jonka läpimitta on 0,0008 mm. Kultaa voi takoa niin ohuiksi levyiksi, että tarvitaan kymmenentuhatta sellaista levyä päällekkäin ennenkuin saadaan 1 mm paksuinen levy. Kultakerros, jolla hopealangat »Lyonin pitseissä» ovat päällystetyt, on tuskin 4 milj. osaa mm paksu. 0,00001 cm³ fuksin nimistä väriainetta antaa litralle väkiviinaa hyvin huomattavan punaisen värin. Väkiinlampun liekki saa keltaisen värin, jos liekkiin pannaan yksi kolmas miljonas osa milligr. keittosuolaa. Muutama sadasosa grammaa myskiä antaa vuosikausia huoneessa olevalle ilmalle tuntuva myskin hajun.

Vaikka tosin tietomme atomien ominaisuuksista ovat sitten Demokritoon ja Anaksagoraan aikojen suuresti karttuneet, olemme kumminkin samalla kannalla kuin hekin siinä suhteessa, että meidän on pakko otaksua erilaisia atomeja löytyvän. Nykyjään tunnemme noin 80 n. s. alkuainetta eli elementtiä. Näiden alkuaineiden erilaisuudet otaksutaan riippuvan juuri niiden atomien erilaisuudesta. Samoin kuin fysiikan tutkijat nykyaikana ovat yhä enemmän kääntäneet huomionsa luonnonvoimien keskinäisen yhteyden tutkimiseen, ovat kemiantutkijat koettaneet puolestaan saada selville mahdollista yhteyttä alkuaineiden välillä. Täytyy tunnustaa, että tämä ei ole vielä onnistunut. Monet seikat kyllä viittaavat siihen suuntaan, että sellainen yhteys on olemassa, mutta luonto on tässä suhteessa erittäin huolellisesti kätkenyt salaisuutensa ja ne niukat vastaukset, joita uusimman ajan tutkimukset tällä alalla ovat voineet luonnolta houkutella, eivät ole saattaneet kysymystä arveluja kauemmaksi. Empedokleen neljä alkuainetta ovat kyllä menettäneet asemansa alkuaineina, mutta niiden sijaan on astunut kaksikymmentä kertaa niin monta alkuainetta.

Kemia on oppi näiden alkuaineiden atomien yhdistyksistä ja yhdistysten hajoamisesta takaisin alkuaineiksi. Fysiikan, jonka tarkastuksen esineinä ovat sellaiset ilmiöt, jotka eivät ylipäänsä aikaansaa muutosta aineen sisäisessä kokoomuksessa, ei tarvitse aineen jaollisuuteen nähden pyrkiä niin kauas kuin kemian, se voi tyytyä aineosiin, jotka ovat kokoonpan-

nut useammista atomeista. Sellaista aineosaa nimitämme *molekyliksi*. Kemia opettaa meille, että vesi on yhdistys ha-
pesta ja vedystä. Vielä opettaa se meille, että pienin määrä
vettä, minkä voimme ajatella, yksi vesimolekyli, on yhdistys
yhdestä happi- ja kahdesta vetyatomista. Kemialle ei suin-
kaan ole yhdentekevää, mitkä atomit ja kuinka monta kuta-
kin laatua muodostavat yhden vesimolekylin; fysiikalle on
se yhdentekevää, koska fysikaalisissa ilmiöissä vesimolekyli
pysyy konaisuutena, hajoamattomana yksilönä, ja koska veden
fysikaaliset ominaisuudet ovat riippumattomia molekyliissä
löytyvien atomien ominaisuuksista ja riippuvat ainoastaan
molekylin ominaisuuksista.

Voisimme kysyä: kuinka suuri on tuollainen molekyli
ja mitä sellainen mahtaa painaa? Epäilemätöntä on, että
eri aineiden molekyliit voivat suuruutensa puolesta hyvinkin
paljon erota toisistaan ja varmaa on, että niillä on eri suuri
paino. Mitä suuruuteen tulee, ei meillä ole siitä mitään var-
maa tietoa, vaan voimme otaksua, että 10 milj. suurimpiakin
molekyylejä asetettuna perätysten tuskin vaativat millimet-
rin pituisen matkan. Molekylin painosta tiedämme ehkä vä-
hän enemmän, ainakin mitä kaasujen molekyyleihin tulee.
Italialainen professori *Avogadro di Quaregna* (†1856) on lausu-
nut sen väitteen, että yhtä suuret kaustumäärät, olkootpa mitä
alkuainetta hyvänsä, sisältävät samoissa olosuhteissa saman
lukumäärän molekyylejä. Siis yksi litra happea, vetyä, typ-
peä j. n. e. sisältää saman lukumäärän molekyylejä. Koska
yksi litra näitä aineita ei paina samaa vertaa, täytyy siis kul-
lakin molekyylillä olla eri suuri paino. Mitä painaa siis esim.
yksi vetymolekyli? Erityisistä ilmiöistä on tultu siihen mah-
dolliseen otaksumiseen, että yksi litra vetykaasua sisältää noin
20 tuh. triljonaa molekyliä. Siis luku, joka kirjoitetaan 23
numerolla. Nyt painaa yksi litra vetykaasua 0,09 gr. Siis
saadaan yhden vetymolekylin paino, jos 0,09 gr. jaetaan yllä-
mainitulla molekylien lukumäärällä. Tulos on: 250 tuh. tril-
jonaa vetymolekyylejä painaa 1 gr. Tästä saamme jonkun-
laisen käsityksen aineen jaollisuudesta!

Miten alkuaineiden atomit yhtyvät molekyleiksi ja mole-
kyliit kappaleiksi, siitä voimme lausua ainoastaan arveluita,
ja moni tätä yhtymistä koskeva seikka on vielä vallan hämä-

rä. Muutamien alkuaineiden atomit yhtyvät erittäin kiivaasti, toisten taas hyvinkin työläästi. Lämpö, valo ja sähkö vaikuttavat välistä atomien yhtymiseen, välistä edistäen sitä, välistä taas hidastuttaen ja estäen, vieläpä voivat ne taas uudestaan erottaa molekyileiksi yhtyneet atomit. Voima, joka yhdistää atomit toisiinsa, saa nimen *kemiallinen sukulaisuus*. Otaksutaan tämän voiman olevan atomien välillä vaikuttavan vetovoiman. Emme kumminkaan tässä tarvitse enemmän syventyä atomien yhtymistä molekyileiksi koskeviin seikkoihin, koska fysikaalisissa ilmiöissä molekyylien sisällinen rakenne pysyy muuttumattomana.

Sitä vastoin on molekyylien yhtyminen kappaleiksi tärkeä ilmiö fysiikassa. Totta kyllä on, kuten jo manitsimme, että tästäkin yhtymisestä voimme lausua ainoastaan otaksutuksia, mutta koska olettamus, että molekyylejä on olemassa ja että niiden välillä vaikuttaa voimia n. s. *molekyylivoimia*, antaa luonnollisen selityksen monelle ilmiölle, niin on tämä olettamus täysin oikeutettu kunnes joku parempi selitys näille ilmiöille voidaan antaa.

Otaksutaan molekyylien välillä olevan vaikuttamassa kaksi voimaa, molekyylien välinen vetovoima, jota nimitetään *kiinne-* eli *kohesionivoimaksi*, ja *poisto-* eli *repulsionivoima*. Kohesionivoima pyrkii lähestyttämään molekyylejä toisiinsa, repulsionivoima poistaa niitä toisistaan. Oletamme siis, että kappaleen molekyylit eivät välittömästi kosketa toisiinsa. Niiden välille jää aukkoja. Nämä molekyylien väliset aukot eivät suinkaan ole niitä aukkoja ja reikiä, joita monessa aineessa jo paljain silmin voimme huomata, kuten pesusienessä, imupaperissa, tiilikivessä j. n. e. Kohesionivoima on ilmausmuoto yleisestä kaikkien painollisten aineosien välillä vaikuttavasta vetovoimasta. Mitä taas repulsionivoimaan tulee, niin syynä siihen otaksutaan olevan erityisen molekyylien liikkeen, josta saamme tilaisuuden myöhemmin puhua.

Näiden kahden voiman keskinäisestä suuruudesta on se muoto, missä aine esiintyy, riippuva. Aine esiintyy luonnossa kolmessa o l o m u o d o s s a. Näiden kolmen olomuodon otaksutaan aiheutuvan seuraavista seikoista. Kiinteissä kappaleissa on molekyylien välinen kiinnevoima paljoa suurempi kuin niiden välinen poistovoima, nesteissä ainoastaan hiu-

kan suurempi, ja kaasuisa on poistovoima voitolla. Sekä kiinne- että poistovoima vaikuttavat äärettömän lyhyen matkan ja molemmat heikkenevät, jos molekyylit loittonevat toisistaan, lisääntyvät, jos molekyylit lähestyvät toisiansa. Jos murramme kappaleen palasiksi, eivät palaset enää yhdy yhteen, sovitettakoot ne toisiinsa kuinka tarkoin tahansa. Molekyylit ovat liian kaukana toisistaan, niiden välinen vetovoima ei vaikuta niin pitkää matkaa. Se tila, johon kunkin molekyylin vetovoima ulottuu, on tietysti pallo, jonka keskipisteessä molekyyli on, n. s. *vaikutuspallo*. Sellaisen vaikutuspallo säde lienee non 6 tai 8 sadastuhannesosaa millimetriä. Koska molekyylit eivät välittömästi kosketa toisiinsa, voi ulkonainen voima puristaa kappaleen molekylejä lähemmäksi toisiansa ja samoin loitontaa niitä toisistansa. Se tila, minkä kappaleen aine täyttää, kappaleen tilavuus eli volymi, vaihtelee siis ulkonaisten voimien vaikutuksesta; kaikilla kappaleilla on se ominaisuus, että ne voivat puristua kokoon ja laajeta.

Kiinteillä aineilla ja nesteillä on tämä kokoonpuristuvaisuus aivan vähäpätöinen. Niinpä, mainitaksemme muutamia esimerkkejä, elohopean tila pienenee 3, veden 50 ja väkiviinan 94 milj. osaa alkuperäisestä koostaan, jos niitä puristetaan 1 kg painolla neliösentimetriä kohti. Näin vähäinen kokoonpuristuvaisuus on tietysti vaikea huomatakaan. Senpä vuoksi pidettiin nesteitä ennen aikaan kokoonpuristumattomina. Jo v. 1661 tekivät Firenzen akatemikot kokeita tutkiakseen veden kokoonpuristuvaisuutta. He täyttivät hopeapallon vedellä, juottivat sen kiinni ja takoivat sitä vasaralla. Silloin huomattiin kuinka vesi pieninä pisaroina tunkeutui hopean läpi, josta seikasta he päättivät veden olevan kokoonpuristumattoman. Vasta sata vuotta myöhemmin huomattiin nesteidenkin olevan kokoonpuristuvia.

Mitä kaasuihin tulee, ovat ne suuressa määrin kokoonpuristuvia ja laajenevia. Jos suljemme ilmaa umpinaiseen putkeen ja puristamme sitä kokoon painamalla mäntää putkeen, niin ilma puristuu kokoon puoleksi alkuperäisestä tilavuudestaan, kun paino on 1 kg neliösentimetriä kohti. Aikaansaamaan kaasujen laajenemista ei ole mikään ulkonainen voima tarpeellinen, ne laajenevat molekyylien välisen

poistovoiman vaikutuksesta niinpian kuin kaasulle tarjoutuu suurempi tila.

Kuten jo sanoimme on kiinteiden kappaleiden tilavuuden supistuminen ja laajeneminen aivan vähäinen. Jos käytetään yhä suurempaa voimaa niitä puristamaan tai laajentamaan, musertuu kappale pirstaleiksi tai venytettäessä katkeaa. Eri kappaleiden murtamiseen tarvitaan kumminkin, kuten tietty, hyvinkin eri suuri voima. Kappaleilla on, kuten sanotaan, eri suuri kestävyys. Sen tavan mukaan, jolla voima pyrkii kappaletta murtamaan, puhutaan erilaisesta kestävyydestä: veto-, taivutus-, kierto-, puristuskestävyys j. n. e. Muutamia esimerkkejä. Ajatellaan aineista tehdyksi tanko, jonka läpileikkaus on 1 mm². Sitä poikki vetämään tarvitaan, jos aine on lyijyä 2 kg, puuta (syiden suuntaan) 15—5 kg, sinkkiä 13 kg, hopeaa 29 kg, terästä 70 kg. Jos aineesta tehdään laatta, niin tarvitaan sitä puristamaan rikki, kun laatta on tiilikivistä 0,6 kg, graniitista 6 kg, puusta 5 kg, valuraudasta 70 kg, laskettuna 1 mm².

Muutamit kappaleet murtuvat vasta melkoisen muodonmuutoksen jälkeen, toiset taas ilman huomattavaa muodon muutosta. Edellisiä nimitetään notkeiksi, taipuviksi, sitkeiksi t. m. s., jälkimäisiä taas hauriksi. Esimerkkinä edelliseen ryhmään kuuluvista aineista mainittakoot: kummi, kupari, hopea, kulta, jälkimäiseen ryhmään kuuluvista: lasi, karaistu teräs, vismuti, antimoni. Nämä nyt mainitut kappaleiden ominaisuudet ovat moninaisten muutosten alaisina aina sen mukaan, miten ainetta käsitellään. Kappaleen lämmittäminen ja jäädyttäminen, takominen y. m. vaikuttavat usein hyvinkin tuntuvasti.

Mitä nesteisiin ja kaasuihin tulee, niin aivan vähäinen voima riittää erottamaan niiden osat toisistaan. Sen löyhän yhteyden vuoksi, mikä on olemassa nesteiden ja vielä suuremmassa määrässä kaasujen molekyylien välillä, väistyvät ne puristavan voiman tieltä sivuille päin. Siten voi toinen kappale suuremmatta vastuksetta tunkeutua nesteen tai kaasun läpi. Sitä myöten kuin läpätunkeva kappale kulkee eteenpäin, yhtyvät nesteen tai kaasun osat uudestaan ja aine on yhtä eheätä kuin ennenkin. Myös osia erilleen vetävä voima saa nesteen helposti repeämään. Kuitenkin voi esim. vesi-

pylväs kestää yli 1 kg neliösentimetrille, ennenkuin pylväs vetämällä katkeaa.

Jos kiinteätä kappaletta kokoonpuristava tai laajentava voima ei kasva määrätyn rajan yli, niin sen aikaansaama kappaleen muodon muutos voiman lakattua vaikuttamasta taaskin katoaa ja kappaleen molekyylit palajavat entisiin aseemiinsa. Tätä kappaleiden ominaisuutta sanotaan *kimmoisuudeksi* (*elastisiteiksi*). Kimmoisuudestakin puhuessa käytetään sille aina sen tavan mukaan, millä ulkonainen voima kappaleeseen vaikuttaa, samoja nimityksiä kuin edellä kestävyyydestä puhuessa olemme maininneet. Jos eri aineista tehdään lanka, jonka läpileikkaus on esim. 1 mm², ja lankaan ripustetaan paino, niin lanka pitenee jonkun verran riippuen siitä, kuinka pitkä lanka alkujaan oli ja suuriko paino siihen ripustettiin. Olkoon lanka 1 m pitkä ja paino 1 kg. Lanka pitenee silloin seuraavat määrät: lyijy 0,56 mm, lasi 0,15, hopea 0,14, kulta 0,12, kupari 0,08, rauta 0,05 mm. Jos paino on 2 kg, ovat pitenemiset kaksi kertaa mainitut luvut j. n. e. Jos näin painoa yhä lisätään, pitenee lanka yhä enemmän, mutta vihdoin tapahtuu, että lanka, jos paino otetaan pois, ei enää saakaan entistä pituuttaan takaisin, vaan jääpi venyminen pysyväksi. Silloin on jo kuormitettu lankaa aineen *kimmoisuusrajan* yli. Niinpä voi edellämaintitun lyijylangan kuormittaa korkeintaan 1,8 kg, lasin 6,8, kuparin 12,4, raudan 21 kg, jos langan kuormituksen poistamiseen jälkeen tulee saada takaisin alkuperäinen pituutensa.

Nesteet ja kaasut ovat täydellisesti kimmoavaisia s. o. niillä ei ole mitään kimmoisuusrajaa. Puristettakoon niitä kokoon kuinka kovasti hyvänsä, niin saavat ne puristuksen lakattua entisen kokonsa takaisin täydellisesti. Kappaleiden kimmoisuutta käytetään moneen tarkoitukseen. Kimmoisia jousia käytetään esim. kelloja käyttämään, lukoissa y. m. Ruuvinmuotoisia jousia käytetään esim. ovensulkijoissa, huonekalujen istuimissa y. m. Jos määrätään kokeellisesti, paljonko tällainen jousi puristuu kokoon tai venyy 1, 2, 3 j. n. e. kg kuormituksesta, niin voi sitä käyttää kappaleiden punnitsemiseen (jousivaaka).

Kappaleiden yleisten ominaisuuksien joukkoon luetaan myös *huokoisuus*. Tavallisestihan käsitetään huokosilla noita

näkyviä aukkoja ja reikiä, joita monessa aineessa jo paljain silmin huomaamme. Jos sanan tältä kannalta käsitämme, ei huokoisuus ole yleinen kappaleiden ominaisuus. Että nekin aineet, joissa huokosia emme näe, ovat huokoisia, huomaamme siitä, että nesteet ja kaasut voivat tunkeutua kappaleiden läpi. Olemme jo maininneet veden tunkeutumisen hopean läpi. Tässä merkityksessä ovat kaikki kappaleet huokoisia muutamia poikkeuksia lukuunottamatta, esim. lasia, joka näyttää olevan vallan vailla huokosia, joiden läpi joku toinen painollinen aine voisi tunkeutua.

Molekylien välillä vaikuttavien voimien joukkoon on vielä luettava se voima, joka vaikuttaa kahden eri kappaleen molekylien välillä, kun kappaleet koskettavat toisiinsa. Kun kirjoitamme musteella, tarttuu muste paperiin, samoin kullatessa, maalatessa kulta tai maali esineeseen, kun pistämme sormen veteen, tarttuu vesi sormeen y. m. s. Tätä voimaa sanotaan *pintakiinne-* eli *adhesionivoimaksi*. Kiinteiden, vallan kovien kappaleiden välillä ei tätä voimaa huomata. Ainoastaan jos toinen aine on ensin sulassa muodossa ja sitten jähmettyy, vaikuttaa voima. Esimerkkinä mainittakoon liimaaminen ja juottaminen. Etupäässä tulevat fysiikassa ne ilmiöt kysymykseen, jotka ovat seurauksena pintakiinnevoiman vaikutuksesta kiinteän kappaleen ja nesteen välillä, jonkun verran kiinteän aineen ja kaasun välillä, kahden nesteen, nesteen ja kaasun sekä kahden kaasun välillä.

Jos kaadamme vettä lasiin ja sitten kaadamme veden taas pois, niin emme saa kaikkea vettä lasista poistumaan, osa siitä jää lasin seiniin ohuena kerroksena ja pisaroinakin. Syynä tähän on veden ja lasin välinen pintakiinnevoima. Pintakiinnevoima on siis tässä tapauksessa niin suuri, että se voittaa veden kohesionivoiman, joten vedestä, kun se kaadetaan lasista pois, osa ikäänkuin repeää irti, vaikkakin veden kohesionivoima sitoo veden molekyylit toisiinsa. Veden sanotaan *kostuttavan* lasia. Vesi on aine, joka kostuttaa useimpia kiinteitä kappaleita, sen adhesioni kappaleisiin on ylipäänsä suurempi kuin veden kohesioni. Rasva-aineita ei vesi kumminkaan kostuta. Jos voitelemme lasin jollakin rasva-aineella, ei vesi tartu lasiin. Samoin elohopea juoksee lasiastiasta kaa-

dettaessa viimeiseen pisaraan. Elohopea ei kostuta lasia s. o. elohopean kohesioni on suurempi kuin elohopean ja lasin välinen adhesioni. Jos taas pistämme metallilangan elohopeaan, tarttuu elohopea siihen kuten vesi lasiin, elohopea kostuttaa metallia. Voipipa nesteen ja kiinteän kappaleen adhesioni olla suurempikin kuin kiinteän kappaleen kohesioni. Silloin irtautuvat kiinteän kappaleen molekyylit toisistaan ja yhdistyvät nesteen molekyylien kanssa. Siten muodostuu uusi kappale, joka on kokoonpantu kiinteän aineen ja nesteen molekyleistä. Kiinteän aineen sanotaan liukenevan nesteeseen. Aina kiinteän aineen laadun mukaan käytetään liuottimena eri nesteitä. Veteen liukenee esim. sokeri, suola, alkoholiin hartsiaineet, benziniin rasva-aineet, vuoriöljyyn kummi j. n. e.

Myös kaasut tarttuvat kiinteiden aineiden pinnalle. Kaikkien ilmassa olevien kappaleiden pinnalla on kerros ilmaa kiinni tarttuneena ja irtautuu se niistä vasta erityisen käsittelyn jälkeen, kuumentamalla kappaletta, hankaamalla sitä hiilijauhoilla, pesemällä alkoholilla j. n. e. Etenkin huokoiset kappaleet, jotka tarjoovat kaasulle suuren pinnan huokosissaan, voivat adhesionin vuoksi *imeä* eli *absorberata* suuria kaasumääriä. Niinpä hiilipala, jonka huokosista ilma hiiltä kuumentamalla on karkoitettu, voi imeä 35 kertaa kokonsa hiilihappoa ja 90 kertaa kokonsa amoniakkikaasua. Metallipalladium voi imeä 900 kertaa kokonsa vetykaasua.

Kun kahta nestettä kaadetaan samaan astiaan, niin ne sekoittuvat joko täydellisesti keskenänsä tai vain osaksi tai ei ollenkaan. Jos kaadamme esim. vettä ja alkoholia, niin sekoittuvat ne täydellisesti kaadettakoonpa enemmän tai vähemmän kumpaa tahansa. Syynä tähän on se, että adhesioni veden ja alkoholin välillä on suurempi kuin veden ja alkoholin kohesioni yhteensä. Jos taas adhesioni nesteiden välillä on suurempi kuin kummankin nesteen kohesioni erikseen, niin nesteet sekoittuvat vain osaksi. Niinpä veteen ei voi sekoittaa kuinka suurta määrää hyvänsä etetteriä eikä päinvastoin. Mitään sekoittumista ei tapahdu nesteiden kesken, jos adhesioni niiden välillä on pienempi kuin kummankin nesteen kohesioni erikseen. Vettä ja ruokaöljyä ei saa sekoittumaan, vaan uipi öljykerros veden pinnalla.

Kaasu, joka on yhteydessä nesteen kanssa, imeytyy myös nesteeseen. Luonnossa löytyvä vesi sisältää aina ilmaa. Tätä veteen liunnutta ilmaa hengittävät vedessä elävät eläimet kitasillaan. Virvoitusjuomat sisältävät hiilihappoa, joka pullon avattua kuohuen poistuu vedestä. Se kaasumäärä, minkä neste voi liuottaa, on riippuva kussakin tapauksessa niinhyvin nesteen kuin kaasunkin laadusta, kuitenkin niin, että kukin neste aina liuottaa tietyn määrän kutakin kaasua ellei nesteen lämpö muutu. Niinpä 1 l vettä liuottaa aina 4 l hiilihappoa, 450 l kloorivetyä, 727 l ammoniakkaa j. n. e., jos vesi on 15° lämmintä, riippumatta siitä kuinka kokoonpuristettua kaasu on. On kuitenkin huomattava, että kuta enemmän kokoonpuristettua kaasu on, sitä enemmän painaa 1 l tätä kaasua, joten nesteen liuottaman kaasumäärän paino on sitä suurempi kuta enemmän kokoonpuristettua kaasu on. Senpä vuoksi virvoitusjuomatehtaissa hiilihappo liuotetaankin veteen kovasti kokoonpuristettuna, joten veteen saadaan suurempi painomäärä kaasua.

Kaasut sekoittuvat vieläkin helpommin kuin nesteet. Ilma on sekoitus pääasiallisesti kahdesta kaasusta: hapesta ja typestä.

Sekä nesteitten että kaasujen sekoittuminen tapahtuu ei ainoastaan aineiden välittömästi toisiansa koskettaissa, vaan myös huokoisten väliseinien läpi. Lasikellon kaula suljetaan korkilla, jonka läpi lasiputki on pistetty, ja kellon pohjaksi sidotaan rakkoo. Kello täytetään esim. värjätyllä alkoholilla ja upotetaan osaksi veteen. Kohta huomataan nesteen nousevan lasiputkessa. Rakon läpi on siis tunkeutunut vettä kelloon. Samalla huomataan myös veden astiassa värittyvän. Alkoholilla tunkeutuu vastaiseen suuntaan rakon läpi. Samalla näyttää koe, että vesi tunkeutuu nopeammin rakon läpi, koska neste kellossa lisääntyy.

Jokapäiväisessä elämässä tavataan useita esimerkkejä tällaisesta nesteiden sekoittumisesta. Pavut ja herneet paisuvat vedessä, koska solujen seinien läpi tunkeutuu enemmän vettä sisään kuin nestettä ulos. Liha ja kala kutistuvat suolavedessä, koska solujen sisältö tunkeutuu helpommin ulos kuin suolavesi sisään. Samalla lailla sekoittuvat kaasutkin, jolloin kevyempi kaasu tunkeutuu nopeammin seinän läpi

kuin raskaampi. Kivimuurien läpi tunkeutuu ulkoilma sisään ja sisällä oleva ulos, joten hyvinkin tuntuva ilmanvaihto syntyy.

Kohesioni- ja adhesionivoiman aikaansaamista ilmiöistä saamme tilaisuuden vielä myöhemminkin puhua.

III.

Kappaleen liike. Erilaiset liikkeet. Tasainen liike. Muuttuva liike. Kieppumisliike. Liikepaljous. Kappaleen massa. Elävä voima. Liikkeiden yhdistäminen.

Olemme jo ennen huomauttaneet, että kaikkien kappaleissa kokonaisuudessaan tai kappaleen osissa tapahtuvien muutosten syynä on joku voima, sitä suurempi kuin suurempi tuo muutos on. Olemme edellisessä luvussa puhuneet sellaisista voimista, jotka vaikuttavat etupäässä kappaleen osiin. Ryhdymme nyt tarkastamaan ilmiöitä, joita aikaansaa kappaleeseen kokonaisuudessaan vaikuttava voima. Sellaisen voiman vaikutus on vallan riippumaton kappaleen aineen laadusta. Kun esim. kädellämme heitämme kappaleen, on vallan yhdentekevä, onko kappale puuta, rautaa, kiveä, t. m. s. Se ilmiö, joka heittäjän voiman vaikutuksesta syntyy, on joka tapauksessa samanlainen. Joskin voiman vaikutus on riippumaton aineen laadusta, niin se ei suinkaan ole riippumaton aineen paljoudesta. Pienen kiven voimme heittää kauemmaksi kuin suuren. Voimme siis lausua sen yleisen säännön, että voiman vaikutus on sitä suurempi, kuin pienempään ainemäärään vaikutus kohdistuu, vaikutus kasvaa tai pienenee samassa suhteessa kuin ainemäärä pienenee tai suurenee. Tämä sääntö ei suinkaan koske voiman toimittamaa työtä. Kuten jo aikaisemmin olemme huomauttaneet, on tietyn voiman toimittama työ aina yhtä suuri, vaikuttakoonpa voima suureen tai pieneen ainemäärään.

Kappaleeseen kokonaisuudessaan vaikuttava voima aikaansaa joko kappaleen muodon muutoksen, josta jo edellisessä luvussa olemme osaksi puhuneet, tai myös panee voima kappaleen liikkeeseen. Puhumme tässä luvussa kappaleiden liikkeestä.

Kappale on liikkeessä, kun se muuttaa paikkaa avaruudessa. Tämä määrittäminen ei kuitenkaan anna meille käsitystä liikkeestä. Voidaksemme täysin määrätä liikettä tulisi meillä olla avaruudessa vähintään kaksi liikkumatonta pistettä, n. s. nollapiste, josta liike alkaa sekä toinen piste, jonka avulla määräämme liikkeen suunnan siten, että lausumme sen kulman suuruuden, jonka liikkeen suunta muodostaa näitä kahta kiinteitä pistettä yhdistävän viivan kanssa. Sellaisia kiinteitä pisteitä ei kumminkaan ole olemassa. Kaikki luonnossa on liikkeessä. Voimme siis puhua kappaleen liikkeestä ainoastaan toisiin kappaleisiin verrattuna, joiden liikkeellä olevaan kappaleeseen nähden otaksumme olevan levossa. Kulkeva juna on liikkeellä radan varrella oleviin esineisiin nähden. Nämä esineet ovat kumminkin itsekkin liikkeessä. Ne ottavat osaa maan liikkeeseen akselinsa ympäri, ne kulkevat maan mukana auringon ympäri, ne seuraavat koko aurinkokuntaa sen liikkeessä avaruudessa j. n. e.; emme edes voi tietääkään, kuinka moninainen liike niillä on. Kaikki liike on siis verrannollista liikettä.

Kappaleen liike voi tietysti mitä kappaleen kulkeman radan muotoon tulee ja mitä itse liikkeen laatuun tulee olla hyvinkin erilainen. Rata on joko suora tai käyrä viiva, liike on tämän nojalla joko suoraviivainen tai käyräviivainen.

Jos kappale kokonaisuudessaan on liikkeessä siten, että kappaleen eri osat kulkevat yhdensuuntaisia ja yhtä pitkiä ratoja, on kappaleella *eteenpäin kulkeva* liike. Sellainen liike on kävelevällä henkilöllä, junalla j. n. e. Vaikkapa kappale kokonaisuudessaan onkin levossa, voivat kappaleen osat olla liikkeessä, kiertää kappaleen läpi kulkevan kiinteän suoran viivan, akselin, ympäri. Sellainen liike, *kieppumisliike*, on maan kierto akselinsa ympäri, pyörivän hyrrän liike, rattaan pyöräminen akselinsa ympäri y. m. Kappaleen, joka heiluu edes takaisin kahden äärimäisen aseman välillä, sanotaan olevan *heiluvassa* liikkeessä. Sellaisessa liikkeessä on esim. kellon heiluri. Jos heiluminen on nopea, saa liike nimen *värähdysliike*. Sellaiseen liikkeeseen joutuvat kimmoava jousi ja jännitetty kieli, jos ne poistetaan lepoasemastaan ja päästetään irti. Useinkin on kappaleella useamman laatuinen liike samalla kertaa. Niinpä maalla on sekä kieppumisliike että

eteenpäin kulkeva liike, samoin kärryn pyörällä. Tanssivalla henkilöllä on eteenpäin kulkeva, kieppumis- ja vieläpä heiluvakin liike. Kaikki muut liikkeet voi ajatella kokoonpanuiksi yllämainituista liikkeistä.

Nyt mainitsemamme eri liikelajit voimme erityisiä mittauksia toimittamattakin toisistaan erottaa. Jos kumminkin haluamme liikettä lähemmin tutkia, täytyy meidän turvautua mittauksiin. Ne yksiköt, jotka liikkeitä mitatessa tulevat käytäntöön, ovat pituusyksikkö ja aikayksikkö. Pituusyksikkönä käytetään fysiikassa metriä tai sen osia (ja monikertoja), aikayksikkönä sekuntia keskiaurinkoaikaa, jota tavalliset kellomme näyttävät.

Oletetaan, että kappaleella on eteenpäin kulkeva liike. Jos toimitettu mittaus antaa sen tuloksen, että kappale yhtä pitkinä aikoina kulkee yhtä pitkät matkat, saa liike nimen *tasainen liike*. Se matka, minkä kappale joka aikayksikössä kulkee, on kappaleen nopeus ja merkitään se tavallisesti näin $10 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$ s. o. nopeus on 10 m sekunnissa. On selvää, että se matka, jonka tasaisella liikkeellä liikkuva kappale jonkun ajan kuluessa kulkee, saadaan, jos nopeus kerrotaan tällä ajalla, aika lausuttuna sinä aikayksikkönä, jota nopeuden lausumiseenkin on käytetty. Tasaisen liikkeen ja suoraviivaisen radan saa kappale, kun voima vaikuttaa siihen silmänräpäyksen sysäyksen tavoin (äkillinen voima). Jatkuvaisuutensa vuoksi jatkaa kappale edelleen liikettään samalla nopeudella. Maan pinnalla ei tällainen liike kumminkaan voi jatkua. Syynä siihen on se, ettei mikään kappale voi liikkua ilman esteitä. Hankautuminen sitä pintaa vastaan, jota pitkin kappale liikkuu, ja sen väliaineen vastus (ilman, veden), jossa liikkuminen tapahtuu, pysäyttävät kappaleen. Tasainen liike voi maan pinnalla jatkua ainoastaan siten, että liikkeelle pantuun kappaleeseen yhä edelleen vaikuttaa niin suuri voima, että se juuri riittää voittamaan ne vastukset, mitkä kappaleella liikkueessaan on. Vaakasuuralla radalla liikkuvan junan liike ei voi pysyä tasaisena, ellei kone käy juuri niin paljon, että hankautuminen kiskoja vastaan ja ilman vastus tulevat voitetuiksi.

Tasaisen liikkeen perusehto on siis se, että kappaleeseen, kun se kerran on tullut liikkeelle, ei vaikuta enää mikään voima. Ellei tämä ehto ole täytetty, muuttuu liikkeen joko suunta tai nopeus tai molemmat aina sen mukaan, mihin suuntaan kappaletta liikkeelle panevaan voimaan nähden nuo uudet voimat vaikuttavat. Syntyy *muuttuva* liike. Liikkeen suunnan muutos voi tapahtua joko äkkiä, jolloin rata saa polven muodon, tai yhtämittaa, jolloin rata on käyrä viiva. Sen voiman, joka pakottaa kappaleen kulkemaan käyrää rataa, äkkiä lakatessa vaikuttamasta, jatkaa kappale liikettään pitkän suoraa viivaa, joka on käyrän viivan jatko siinä pisteessä, missä voima lakkasi vaikuttamasta. Sillä suoralla on vain mainittu piste yhteinen käyrän viivan kanssa ja kutsutaan sitä käyrän viivan sivuujaksi eli tangentiksi.

Mitä kappaleen nopeuden muuttumiseen tulee, niin on selvää, että nopeus joko kasvaa, liike on *kiihtyvää*, tai vähenee, liike on *hidastuva*. Jos nopeus kasvaa tai vähenee joka aikayksikössä saman verran, on liike *tasaisesti* kiihtyvää tai hidastuva. Nopeuden lisäys aikayksikössä saa nimen *kiihtyväisyys* (*akseleratsioni*). Muuttuvan liikkeen nopeus muuttuu siis joka hetki, joka pisteessä radalla on kappaleen nopeus eri suuri. Nopeus jossakin pisteessä on se matka, minkä kappale kulkisi seuraavan aikayksikön kuluessa, jos se voima, joka antaa kappaleelle muuttuvan liikkeen, kysymyksessä olevassa pisteessä lakkaisi vaikuttamasta ja kappale siis jatkaisi liikettään jatkuvaisuutensa vuoksi tasaisella liikkeellä. Jos esim. kappale on liikkunut 5 sek. muuttuvalla liikkeellä ja voima viidennen sekunnin lopussa lakkaisi vaikuttamasta sekä kappale kuudennen sekunnin kuluessa kulkisi jatkuvaisuuden vuoksi 10 m, niin on $10 \frac{\text{m}}{\text{sek.}}$ nopeus viidennen sekunnin lopussa.

Sitä matkaa, minkä kappale muuttuvalla liikkeellä tiettyssä ajassa kulkee, emme voi laskea kertomalla nopeutta ajalla, koska nopeus on muuttuva. Otamme puheeksi tasaisesti kiihtyvän liikkeen. Olkoon kiihtyväisyys esim. 10 m sek. ja aika 20 sek. Koska nopeus kasvaa 10 m sek., on nopeus, kun puolet ajasta on kulunut, $100 \frac{\text{m}}{\text{sek.}}$, jos kappale lähti levosta liikkeelle. Koko ajan kuluttua on nopeus $200 \frac{\text{m}}{\text{sek.}}$

Nopeus kasvaa siis edellisellä ajanpuoliskolla saman verran kuin jälkimäiselläkin puoliskolla. Jos siis laskemme kymmenennen sekunnin lopusta taaksepäin jonkun ajanjakson, esim. 3 sek. ja saman ajan eteenpäinkin, niin on nopeus seitsemännten sekunnin lopussa yhtä paljon alle $100 \frac{\text{m}}{\text{sek.}}$ kuin se kolmannentoista sekunnin lopussa on yli saman luvun. Sama on asian laita kahtena hetkenä minä hyvänsä, joista toinen on ennen kymmenennen sekunnin loppua ja toinen yhtä paljon jälkeen sitä hetkeä. On siis selvää, että kappale tasaisesti kiihtyvällä liikkeellä kulkee noiden 20 sek. kuluessa vallan saman matkan, minkä se kulkisi tasaisella liikkeellä, jos nopeus koko ajan olisi se, mikä se on ajan keskellä s. o. $100 \frac{\text{m}}{\text{sek.}}$. Kuljettu matka on siis 20 sek. $\times 100 \frac{\text{m}}{\text{sek.}} = 2,000$ m. Koska nopeus ajan puolivälissä on kiihtyväisyys kerrottuna puolella ajalla, niin saamme äskeisen tuloksen myös niin, että aika kerrotaan itsellään, tulos kiihtyväisyydellä ja tulo jaetaan kahdella: $\frac{20 \times 20 \times 10}{2} = 2,000$.

Mitä kieppumisliikkeeseen tulee, niin on sekin niin hyvin tasainen kuin muuttuva aina sen mukaan vaikuttaako kappaleen kieppumisen äkillinen vaiko jatkuva voima. Kieppumisnopeutta voi ilmaista eri tavoilla. Voimme ilmaista sitä lausumalla pitkäkö aika kuluu yhteen kierrokseen akselin ympäri. Niinpä maan kierto akselinsa ympäri on yksi tähtivuorokausi, joka on 3 min. 55,9 sek. lyhempi kuin joka-päiväisessä elämässä käytetty keskiaurinkovuorokausi. Kiertoaika on tietysti kaikilla kappaleen pisteillä sama. Edelleen voimme ilmaista kiertonopeutta lausumalla kuinka pitkän matkan joku kappaleen piste kulkee ympyrän muotoisessa radassaan tietyssä ajassa. Tämä matka on eri pisteillä eri pitkä, riippuen siitä kaukanako piste on kieppumisakselistä. Maan pyöriessä kulkee piste päiväntasaajalla noin $464 \frac{\text{m}}{\text{sek.}}$. Nopeus vähenee napoihin päin, joissa se on 0.

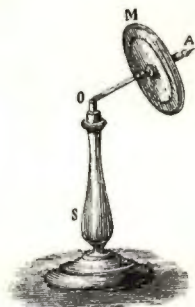
Kieppumisliikkeessä oleva kappale, johon ei mikään ulkonainen voima vaikuta, säilyttää nopeutensa muuttumattomana. Mutta ei ainoastaan nopeus, vaan kieppumisakseli-kin pysyy muuttumattomana sekä siten, että kappale pyörii saman viivan ympäri, että myös niin, että tämä viiva pyö-

syy samassa asemassa avaruudessa. Tämäkin seikka on seuraus jatkuvaisuudesta. Maapallon akseli pysyy, pienempiä ulkonaisten voimien aikaansaamia häiriöitä huomioon ottamatta, samassa asemassa avaruudessa maan kiertäessä auringon ympäri. Pyörivän hyrrän akseli ei muuta asemaansa niinkauan kuin pyöriminen kestää. Se pysyy vinossakin asemassa huolimatta siitä, että painovoima siihen vaikuttaa (Gyroskopi). Polkupyörä, pyörivä raha y. m. pysyvät pystyssä, mutta kaatuvat pysähdyttyään.

Heilahdusliikkeen aikaansaa jatkuva voima, joka vaikuttaa vuorotellen vastakkaisiin suuntiin. Heiluvassa liikkeessä olevan kappaleen heilahdussuunta pysyy myös, jollei mikään toinen voima kappaleeseen vaikuta, muuttumattomana.

Mainitsimme jo tämän luvun alussa, että voiman vaikutus kappaleeseen on sitä suurempi kuin pienempi kappaleen ainemäärä on ja päinvastoin. Sovitettuna kappaleiden liikkeeseen sanomme siis: tietty voima antaa kappaleelle sitä suuremman nopeuden tai kiihtyväisyyden kuin pienempi kappaleen ainemäärä on. Olkoonpa voima äkillinen voima. Ajattelempa kaksi kappaletta, toisen ainemäärä kaksi kertaa niin suuri kuin toisen. Antamaan tuolle kaksi kertaa suuremmalle ainemäärälle saman nopeuden, jonka joku tietty voima antaa toiselle kappaleelle, tarvitaan kaksi kertaa suurempi voima. Jos tuon kaksi kertaa suuremman ainemäärän tulee saada myös kaksi kertaa suuremman nopeuden, tulee voiman olla neljä kertaa suuremman j. n. e. Ainemäärän ja nopeuden tulo lausuu siis äkillisen voiman vaikutuksen suuruutta. Tämän tulon, *liikepaljouden*, avulla voimme siis verrata toisiinsa äkillisiä voimia. Se työ, jonka äkillinen voima toimittaa pannaessaan kappaleen liikkeelle, säilyy kappaleessa niinkauan kuin kappale esteettömästi jatkuvaisuutensa vuoksi jatkaa liikettään. Jos kappaleen liikettä joku voima vastustaa, kuluu kappaleessa löytyvä energia tämän esteen voittamiseen. Kuten suurempi kappaleen ainemäärä on ja kuten suurempi

Fysiikka



Kuva 4. Gyroskopi. Pyörivä hyrrä M ei putoa pylvään päältä niinkauan kuin se pyörii.

sen nopeus, sitä suuremman esteen voi kappale voittaa. Pysynluoti, jonka ainepaljous ei ole kovinkaan suuri, voi, syystä että sen nopeus on 600 tai 700 $\frac{m}{sek.}$ murtaa vahvojakin esteitä. Ne kauheat vaikutukset, mitkä huomataan junien ja laivojen yhteentörmäyksissä, ovat seurauksia niiden suuresta ainepaljoudesta ja verrattain suuresta nopeudesta. Mainittakoon pari esimerkkiä. Kun 15 gr painoinen pyssynluoti, jonka nopeus on 650 $\frac{m}{sek.}$ sattuu johonkin esteeseen, on sen murtava voima yhtä suuri kuin 323 kg painon pudotettuna 1 m korkeudesta estettä vastaan. Kun $\frac{1}{2}$ kg painoinen vasara sattuu 5 $\frac{m}{sek.}$ nopeudella naulan päähän, luovuttaa vasara naulalle 0,64 kgm työtä, joka taas vuorostaan muuttuu liikkeeksi naulan tunkeutuessa puuhun ja vihdoin puun vastuksen voittaminen kuluttaa naulassa löytyvän energian.

Kun on kysymys jatkuvan voiman suuruuden määräämisestä, voimme vallan samanlaisen ajatuksen juoksun avulla, jota käytimme äkillisen voiman vaikutuksen suuruuden määräämiseksi, saada sen tuloksen, että jatkuvan voiman suuruutta lausuu kappaleen ainepaljouden ja sen kiihtyväisyyden, minkä voima tälle kappaleelle antaa, tulo. Tästä saamme päinvastoin määrittämisen tuolle käsitteelle, jota olemme nimittäneet kappaleen ainepaljoudeksi. Kappaleen ainepaljous on siis kappaleeseen vaikuttava voima jaettuna sillä kiihtyväisyydellä, jonka voima kappaleelle antaa. Tätä osamäärää nimitetään fysiikassa kappaleen *massaksi*. Nimitys ainepaljous, jota aikaisemmin olemme olleet pakotetut käyttämään, voi näet olla hyvinkin erehdyttävä. Ajattelemme 1 m³ rautaa ja 1 m³ korkkia. Näiden kappaleiden ainepaljous on sama mitä kappaleiden k o k o o n tulee ja joka-päiväisessä elämässä tarkoitetaan ainepaljoudeksi juuri kappaleen kokoa. Seurauksena tästä käsityksestä on tapa myydä kaupassa useita aineita koon mukaan s. o. veto- tai kuutiomitalla. Tämä käsitys ei laisinkaan vastaa fysikalista katsantokantaa. Jos sama voima vaikuttaa 1 m³:iin rautaa tai 1 m³:iin korkkia, niin nämä kappaleet eivät suinkaan saa samaa nopeutta tai kiihtyväisyyttä. Senpä vuoksi jokapäiväisessä elämässäkin, kun tulee kysymykseen kappaleiden kuljettaminen paikasta toiseen, toisin sanoen kappaleen siirtämiseen

tarvittava mekaaninen työ, lasketaan aina painon mukaan eikä koon. Postissa suoritetaan maksu kirjeen painon eikä koon mukaan, vieläpä otetaan tässä huomioon matkan pi-tuuskin s. o. todellinen mekaaninen työ.

Tiedämme ennestään, että voiman toimittama työ on voima kerrottuna kappaleen voiman suuntaan kulkemalla matkalla. Jatkuvan voiman toimittaman työn suuruuden saamme siis kertomalla voiman sillä matkalla, minkä voima on kappaletta kuljettanut. Toiselta puolen tiedämme taas, että jatkuvaa voimaa lausuu kappaleen massan ja kiihtyväisyyden tulo. Siis lausuu työn suuruutta myös massan, kiihtyväisyyden ja tien tulo. Kiihtyväisyyden ja tien tulon voimme taas lausua sillä nopeudella, minkä kappale kuljet-tuaan mainitun tien on jatkuvan voiman vaikutuksesta saavuttanut. Sen pitempiin johtoihin ryhtymättä lau-summe vain, että tämä tulo on nopeus itsellään kerrottuna ja jaettuna tämä tulo kahdella. Siis on työ massa kerrottuna kahdesti nopeudella ja tulo jaettuna kahdella. Tätä tuloa ni-mitetään kappaleen *eläväksi voimaksi* eli *liike-energiaksi*. Olemme jo aikaisemmin huomanneet, että jatkuvan voiman toimittama työ ilmestyy siten, että kappaleen nopeus lisään-tyy ja että lisäämään nopeutta kaksin-, kolmin- j. n. e. kertai-seksi tarvitaan nelin-, yhdeksän- j. n. e.ertainen työ. Tässä olemme uudestaan tulleet samaan tulokseen. Kappaleeseen keräytyy työtä siten, että sen nopeus yhä kasvaa. Kun voi-ma lakkaa vaikuttamasta, muuttuu kappaleessa löytyvä liike-energia taas työksi, jos kappaleelle asetetaan joku este voitet-tavaksi; kappale luovuttaa taas saman työmäärän, joka käy-tettiin antamaan sille tuota nopeutta.

Jos kappaleeseen vaikuttaa useampia voimia yhtäikää, niin kukin voima antaa kappaleelle sellaisen liikkeen, jonka voima yksinään vaikuttaessa sille antaisi. Tämä on seuraus voimien riippumattoman vaikutuksen laista. Jos vaikuttavien voimien joukossa on voimia, jotka antavat kappaleelle erilaatuisia liik-keitä, yksi voima eteenpäin kulkevan, toinen kieppumis- ja kolmas ehken heilahdusliikkeen, niin kappale todella saa nuo kolme liikettä. Jos taas voimien joukossa on sellaisia, jotka antavat kappaleelle samanlaatuisen liikkeen, esim. eteenpäin kulkevan, niin on selvää, että kappale ei voi samassa hetkessä

liikkua eri suuntiin eikä myöskään, jos voimat vaikuttavatkin samaan suuntaan, yhden ainoan voiman antamalla nopeudella. Kappaleen liike on päinvastoin *yhdistetty* kaikkien voimien antamista liikkeistä mitä liikkeen suuntaan, nopeuteen ja kappaleen kulkemaan matkaan tulee. Liikkeiden yhdistäminen tapahtuu vallan samojen sääntöjen nojalla kuin voimienkin yhdistäminen. Jos kaikki voimat vaikuttavat samaan suuntaan, on liikkeen suunta voimien suunta, nopeus kunakin hetkenä nopeuksien summa ja kuljettu tie teiden summa, mitkä kappale kulki kunkin voiman vaikutuksesta erikseen. Voimien vaikuttaessa vastakkaisiin suuntiin on liikkeen suunta suuremman voiman suunta, nopeus nopeuksien ero ja matka matkojen ero. Jos kahden voiman suunnat muodostavat kulman, piirretään *liikkeiden suunnikas* s. o. suunnikas, jossa yhtyvinä sivuina ovat ne matkat, mitkä kappale kummankin voiman vaikutuksesta kulkisi samassa ajassa. Kappale saapuu tuossa kysymyksessä olevassa ajassa suunnikkaan vastaiseen kulman kärkeen. Millainen kappaleen rata näiden kahden pisteen välillä on, sitä ei tämä yksinomaan kokemukseen perustuva väittäjä ilmaise. Ainakin siinä tapauksessa, että molemmat liikkeet ovat tasaisia liikkeitä, kulkee kappale suunnikkaan lävistäjää, siis suoraa viivaa.

IV.

Vetovoima. Painovoima. Putousliike. Heiluri. Heilurikello. Maan pyörimisen todistaminen. Absolutinen mittajärjestelmä. Maapallon paino. Keplerin lait. Heittoliike. Sentraliliike. Luode ja vuoksi. Sentrifugalivoima.

Jokainen tietää, että kappale, joka ei ole tuettu tai ripustettu, liikkuu, putoaa, maata kohti. Mikä on syynä tähän jokapäiväiseen ilmiöön? Tähän kysymykseen on tietysti aikojen kuluessa koetettu vastata eri tavoilla. Emme kummin kaan katso olevan syytä tässä seurata kysymyksen kehitystä ensimäisiin yrityksiin. Riittänee, jos alamme siitä ajasta, jolloin ensi kerran lausuttiin selitys, joka on sopusoinnussa nykyajan katsantokannan kanssa. Ensimmäisenä on silloin mainittava toulonilainen parlamenttineuvos *Fermat* (†1665). Hän sanoi syyn tähän olevan putoavan kappaleen ja maapallon välisen vetovoiman. V. 1644 laajensi parislainen professori *de Roberval* Fermatin mielipidettä siten, että tämä vetovoima sijaitsee ei ainoastaan kappaleissa kokonaisuudessaan, vaan kappaleen pienimmissä osissa. Laki, jonka mukaan tämä vetovoima vaikuttaa, eivät Fermat ja Roberval voineet lausua. *Isak Newton*, jonka nimen niin usein fysiikassa kohtaamme, on saavuttanut ehkä suurimman maineensa keksimällä tämän lain. V. 1686 lausui Newton kuuluisan vetovoima- eli attraktionilakinsa tultuansa — niin kerrotaan — asiaa ajatelleeksi nähdessänsä omenan putoavan puusta.

Tämä laki, joka sitten Newtonin ajan on tuhannen tuhansia kertoja oikeaksi huomattu, kuuluu: kahden kappaleen välinen vetovoima kasvaa tai vähenee samassa suhteessa kuin kappaleiden massojen tulo ja edelleen kasvaa tai pienenee se samassa suhteessa kuin kappaleiden välimatka

itsellään kerrottuna pienenee tai suurenee. Kuta suuremmat siis kappaleiden massat ovat sitä suurempi on voima, jos välimatka on sama. Jos ajattelemme yhden kappaleen massan kaksinkertaisena, on voimakin kaksinkertainen; jos molemmat massat tulevat kaksinkertaisiksi, tulee voima nelinkertaiseksi j. n. e. Jos taas massoja muuttamatta suurennamme välimatkan kaksin-, kolmin-, nelinkertaiseksi, pienenee voima neljänneksi-, yhdeksänneksi-, kuudenneksi-



Kuva 5. Isak Newton.

toistaosaksi ja päinvastoin välimatkan lyhetessä puoleksi, kolmanneksiosaksi j. n. e. suurenee voima nelin-, yhdeksän-j. n. e. kertaiseksi. Voimme empimättä sanoa, ettei millään fysikalisella keksinnöllä ole ollut niin laajalle ulottuvia seurauksia kuin tällä. Tämä laki lausuu pienimpien massojen atomien ja molekyylien, mittaamattoman pienten välimatkojen toisistaan erottamien, vaikutusta toisiinsa, se selittää myös suurimpien massojen, taivaankappaleiden, joiden välimatkat

ovat satoja ja tuhansia miljonja kilometrejä, liikkeet avaruudessa.

Ne voimat, kohesionivoima ja adhesionivoima, joista aikaisemmin olemme puhuneet, ovat vain eri ilmausmuotoja tästä yleisestä luonnonvoimasta.

Lausuessaan yllämainitun lain, jätti Newton ratkaisematta kysymyksen, mistä tällainen voima syntyy. Hän lausui vain, että sellainen voima on luonnossa olemassa ja että sen voi selittää niin hyvin kappaleiden välillä vaikuttavana vetovoimana kuin myös avaruudesta käsin vaikuttavana paineena, joka työntää kappaleita toisiansa kohti. Newtonin jälkeiset tiedemiehet käsittivät kumminkin voiman vetovoimana ja se mielipide on säilynyt aina nykyaikaan saakka. Kuitenkin viittaavat uusimmat tutkimukset siihen suuntaan, että voima todella olisi ulkoapäin vaikuttava paine. Koska kumminkin tietomme tässä suhteessa ovat vallan hämärät ja koska voiman aikaansaamia ilmiöitä tarkastettaessa on yhdentekevää kumpaaako mielipidettä kannatamme, niin lienee syytä puhua yhä edelleen kappaleiden välisestä vetovoimasta. Ryhdymme tarkastamaan tämän yleisen vetovoiman vaikutuksia eri tapauksissa.

Luonnollisinta on ryhtyä ensin tarkastamaan maan vetovoimaa, jonka vaikutuksen alaisena sekä itse joka hetki olemme että myös kaikki meitä maanpinnalla ympäröivät kappaleet ovat.

Maan ja kappaleen välinen vetovoima ilmenee joko niin, että kappale putoaa maata kohti, tai niin että kappale, jos estetään sitä putoamasta, painaa sitä alustaa vastaan, jolla se lepää tai jännittää kappaleen ripustamiseen käytettyä nuuraa, ketjua t. m. s. Koska maan ja maahan kuuluvan kappaleen välinen vetovoima on syynä kappaleiden painoon, nimitetään vetovoimaa tässä tapauksessa *painovoimaksi*.

Kappaleen paino ei siis ole mitään muuta kuin kappaleen massan ja maan massan välinen vetovoima. Kun kappale kappaleen painon määräämistä varten punnitaan, niin verataan sitä voimaa, millä maa vetää kappaleen massaa, siihen voimaan, millä maa vetää jonkun toisen tietyn kappaleen massaa. Tämä jäkimäinen voima otetaan silloin punnittaessa painoyksiköksi. Siinä mittajärjestelmässä, joka

nykyjään on Suomessa ainoa laillinen, on painoyksikkö 1 kilogramma. Kilogramma on se voima, jolla maa vetää 1 litraa kemiallisesti puhdasta + 4° lämmintä vettä Parisissa. Kansainvälisessä mittojen ja painojen laitoksessa Parisissa säilytetään platinasta ja iridiumista tehty kappale, jonka paino on 1 kg niin tarkkaan kuin ylipäänsä on mahdollista valmistaa kaksi samanpainoista kappaletta. Kaikki ne maat, joissa metrijärjestelmä on käytännössä, ovat hankkineet itselleen kilogramman perusmitan (prototyypin), joka on verrattu yllämainittuun alkuperäiseen kilogramman painoon. Kun sanomme jonkun kappaleen painavan 10 kg, tarkoitamme sillä siis sitä, että maa vetää mainittua kappaletta 10 kertaa niin suurella voimalla kuin 1 litraa vettä Parisissa.

Mitä painovoiman suuntaan tulee, voimme sen helposti näyttää ripustamalla luodin ohueen lankaan. Lanka näyttää silloin voiman suuntaa. Tätä suuntaa sanotaan *luotiviivaksi*. Jos luotiviiva ajatellaan jatketuksi alaspäin, kulkee se maan keskipisteen läpi. Luotiviivat eri paikoilla maanpinnalla muodostavat siis keskenänsä kulmia, joiden kärkipiste on maan keskipisteessä. Kun maan säde on 6,367 km, niin on tämä kulma lähellä olevien paikkojen luotiviivojen välillä hyvin pieni. Niinpä 100 m välimatka vaikuttaa vain 3,2 kaarisekunnin kulman luotiviivojen välillä. Saman kappaleen eri pisteistä vedetyt luotiviivat voimme siis pitää vallan yhdensuuntaisina. Paikottain huomataan maan pinnalla n. s. luotiviivan poikkeuksia. Niillä paikoin luotiviiva ei ole suunnattu maan keskipistettä kohti. Syynä sellaisiin poikkeuksiin ovat suuret joko maan pinnalla tai maan sisällä löytyvät ainemäärät, jotka ovat yleensä raskaampaa ainetta kuin maan kuori. Niinpä usein vuorien läheisyydessä on huomattu tällaisia poikkeuksia.

Paitsi näitä paikallisia poikkeuksia painovoiman suunnassa huomataan eroavaisuutta myös voiman suuruudessa eri paikoilla. Eroavaisuutta huomataan siirryttäessä päiväntasaajalta molempia napoja kohti ja myös samalla paikallakin siirryttäessä kauemmaksi maanpinnasta, esim. nousemalla vuorille. Kuten tiedämme, ei maa ole vallan pallonmuotoinen. Se on litistynyt molemmista navoistaan. Napoihin vedetty säde on 21,3 km lyhempi kuin päiväntasaajan

säde. Koska maa, niinkuin jokainen pallomainen kappale, vetää toista kappaletta siten kuin maan koko massa olisi koottu sen keskipisteeseen, niin on Newtonin lain mukaan vetovoima navoilla suurempi kuin päiväntasaajalla. Erotus vetovoiman suuruudessa navoilla ja päiväntasaajalla on



Kuva 6. Luotiviiva.

ottamalla huomioon maan litistymisen noin $\frac{1}{580}$ voiman suuruudesta navoilla. Henkilö, joka navoilla painaisi 70 kg, olisi siis päiväntasaajalla noin 120 gr kevyempi.

Vallan samalla lailla vaikuttaa loitoneminen maan pinnasta painovoimaan. V. 1899 toimitti *Haysky* mitta-

uksia tämän seikan kokeellista todistamista varten Mont Blanc vuorella Sveitsissä. Vetovoima vuoren huipulla, 4,810 m merenpinnasta lukien, oli lähes $\frac{1}{1000}$ pienempi kuin vuoren juurella, 1,050 m meren pinnasta. Kappale, joka vuoren juurella painaisi 1 kg, olisi siis huipulla 1 gr kevyempi.

Suurempi vaikutus kuin maan litistymisellä on painovoimaan maan pyörimisellä akselinsa ympäri. Kuten jo on mainittu, on pisteillä päiväntasaajalla suurin kiertonopeus, nopeus vähenee napoja kohti ja on navoilla 0. Vielä on mainittu, että käyrässä radassa kulkeva kappale pyrkii jatkuvaisuuden vuoksi kulkemaan radan tangentin suuntaan, poistumaan siis käyrästä radasta ulospäin. Kaikki maahan kuuluvat kappaleet pyrkivät siis maan pyörimisen vuoksi poistumaan maasta sen ympyrän tangentin suuntaan, jota ne kulkevat. Ne pyrkivät niinmuodoin maan keskipisteestä pois päin, painovoiman vastaiseen suuntaan. Se voima, millä kappaleet pyrkivät poistumaan maan keskipisteestä, *sentrifugali-* eli *keskipakoisuusvoima* on sitä suurempi, kuta suurempi kappaleen nopeus on. Päiväntasaajalla on voima suurin ja vähenee napoja kohti. Päiväntasaajalla poistuu kappale maan pinnasta 0,0337 m sekunnissa.

Molemmat seikat, maan litistyminen ja maan pyöriminen, vaikuttavat siis samaan suuntaan painovoimaan, vähentävät sitä navoilta päiväntasaajaa kohti. Kun molemmat seikat otetaan huomioon, tulemme siihen tulokseen, että painovoima vähenee navoilta päiväntasaajalle noin $\frac{1}{200}$ suuruudesta.

Viime aikoina on erittäin herkillä koneilla voitu näyttää hyvin pieniä painovoiman vaihteluja samalla paikallakin. Niinpä *W. Pfaff* on näyttänyt sen vaikutuksen, mikä auringon ja kuun vetovoimalla on painovoimaan. Hän huomasi, että uuden kuun aikana 1 kg paino vaihtelee 0,18 mgr keskipäivän ja keskiyön välillä. Erittäin merkilliset ovat ne painovoiman vaihtelut, jotka *Sterneck* luulee huomanneensa. Painovoima olisi suurin huhti- ja syyskuulla, pienin tammi- ja heinäkuulla. Syytä tähän ilmiöön, jos se on todellinen, ei tunneta.

Miten on saatu selkoa kaikista näistä painovoiman vaihteluista? Yksinkertaisin keino kai olisi punnita sama kappale herkällä vaa'alla eri paikoilla maan pinnalla. Jos kumminkin asiaa hiukan ajatella, huomaamme keinoon mahdottomaksi. Kappaletta tavallisella vaa'alla punnittaessa verrataan kappaleen painoa toisen kappaleen, punnuksen, painoon. Nyt muuttuu molempien, sekä kappaleen että punnuksen paino samalla lailla ja vaaka on tasapainossa millä paikalla hyvänsä. Jos punnitsemalla haluaa näyttää, että kappaleen paino vaihtelee eri paikoilla, täytyy käyttää kierrejousivaakaa, jossa jousen venyminen osoittaa kappaleen painoa. Sellaisella vaa'alla voi todella näyttää, että kappaleen paino muuttuu. Kuitenkaan ei tällainen vaaka ole kyllin tarkka kone näyttämään vähäisiä painovoiman vaihteluita.

Edelleen voimme määrätä painovoiman suuruuden sen liikkeen avulla, jonka voima antaa kappaleelle, *putousliikkeen*. Koska maan vetovoima on jatkuva ja, noita mainitsemiamme vähäpätöisiä vahteluja lukuunottamatta, kullakin paikalla muuttumaton voima, niin aikaansaa se tasaisesti kiihtyvän liikkeen. Putousliike ja sen syy on tietysti ollut moninaisten arvelujen esineenä. Ensimmäinen, joka lausui mielipiteen, että putousliikkeen syy on joku jatkuva voima, oli Savoyan herttua *Benedetti* († 1590). Kuuluisa *Galilei* on kumminkin putousliikkeen lakien keksijä. Tieteisperäisesti johti hän ensin putousliikkeen lait ja koetteli niitä sitten kokeilla. Koska putousliike on siksi nopea liike, että havaintojen tekeminen on jotenkin vaikeaa, teki hän kokeensa toisella tavalla. Hän näytti ensin, että putoava kappale ja kappale, joka kierii kaltevaa pintaa alas, liikkuvat vallan samojen lakien mukaan, vaikka tosin kierivän kappaleen nopeus on pienempi. Koetta varten valmisti hän hiukan kaltevan uran, päällysti sen pergamenttipaperilla ja antoi pronssipallon kieriä uraa pitkin. Täten todisti hän lakinsa oikeaksi. Sittemmin ovat lait todistetut oikeiksi yhä uusilla kokeilla ja nykyjään on olemassa koneita, joilla voi mitata tarkkaan sen ajan, jossa vapaasti putoava kappale putoaa muutamia desimetrejä. Putousliikettä koskevat lait ovat tasaisesti kiihtyvän liikkeen lait yleensä. Nopeus saadaan kertomalla kiihtyväisyys ajalla; kappaleen kulkema

matka, putousväli, kertomalla kiihtyväisyys kahdesti ajalla ja jakamalla tulo kahdella. Välit, mitkä kappale putoaa yhdessä, kahdessa j. n. e. sekunnissa, suhtautuvat siis kuten luvut 1, 4, 9 j. n. e.

Koska painovoima muuttuu päiväntasaajalta napoihin, muuttuu putousliikkeen kiihtyväisyyskin samalla tavalla. Meren pinnan tasalla mitattuna saamme kiihtyväisyydelle seuraavat arvot:

Päiväntasaajalla	.....	9,781	m sek.
10:nnellä leveysasteella	.....	9,782	» »
20 »	»	9,787	» »
30 »	»	9,793	» »
40 »	»	9,802	» »
50 »	»	9,811	» »
60 »	»	9,819	» »
70 »	»	9,826	» »
80 »	»	9,830	» »
Navoilla	.....	9,832	» »

Kiihtyväisyys navoilla on siis 5 cm suurempi kuin päiväntasaajalla. Meren pinnasta noustessa vähenee kiihtyväisyyskin keskimäärin noin 2,5mm jokaiselta 1,000 metriltä.

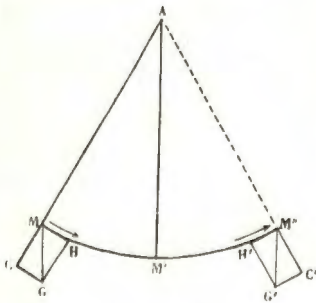
Jokapäiväisestä elämästä tiedämme, että kappaleet eivät putoa yhtä nopeasti. Jos vertaamme paperipalaa, höyhentä tai lumihiukkasta lyijypalaan tai kiveen, niin onhan niiden putousnopeus hyvinkin eri suuri. Näyttää siis siltä ikäänkuin putoamisnopeus olisi riippuva kappaleen painosta. Tämä mielipide olikin yleinen aina Galilein aikoihin saakka. Että asian laita ei ole niin, voimme sekä kokeellisesti näyttää että myös todistaa sen nojalla mitä olemme sanoneet voiman, massan ja kiihtyväisyyden yhteydessä. Olkoon kaksi kappaletta, joista yksi painaa 1 kg ja toinen 2 kg. Maa vetää jälkimäistä kappaletta kaksi kertaa niin suurella voimalla kuin edellistä ja luulisi sen siis putoavankin kaksi kertaa nopeammin. Jälkimäisen kappaleen massa on kumminkin kaksi kertaa niin suuri kuin ensimmäisen. Tarvitaan siis kaksi kertaa suurempi voimakin antamaan tuolle jälkimäiselle kappaleelle saman kiihtyväisyyden kuin ensimmäiselle. Kappaleiden täytyy pudota yhtä nopeasti. Voimme ajatella asian

näinkin: jos tuo 2 kg painava kappale jaetaan kahdeksi 1 kg painoiseksi kappaleeksi, niin kumpikin niistä putoaa samalla nopeudella kuin tuo 1 kg painoinen kappale. Jos osat yhdistetään, niin putoavat ne yhdistettyinä vällän niinkuin erilläänkin, sillä se seikka, että osat putoavat yhdessä, ei voi vaikuttaa niiden putoamisnopeuteen.

Kokeellisesti näytetään asia seuraavalla tavalla. Noin 1 m pitkään ja muutamia cm laajaan lasiputkeen pannaan paperipalasia, höyheniä, lyijypalasia y. m. s. Putkesta imetään ilma pois. Jos nyt putki äkkiä käännetään ylösalasin, saapuvat kaikki kappaleet yhtäaikaan putken toiseen päähän. Voi tehdä myös seuraavan kokeen. Paperista leikataan ympyrä, hiukan pienempi kuin esim. markan raha. Jos kappaleet pudotetaan erikseen, putoaa raha nopeammin kuin paperi. Jos taas paperi pannaan rahan päälle ja raha pudotetaan litteä puoli edellä, niin putoavat molemmat yhtä nopeasti. Nämä kokeet näyttävät myös mikä on syynä siihen että kappaleet luonnossa putoavat eri suurella nopeudella. Syynä on ilman vastustus. Ilma vastustaa kappaleen putoamista sitä enemmän kuta suurempi se pinta on, jolla kappale pudotetaan työntää ilmaa tieltään. Jos paperista leikkaamme esim. 1 gr painoisen levyn ja lyijystä saman painoisen palasen, niin on paperipalan pinta paljon suurempi kuin lyijypalan; ilma vastustaa sitä enemmän. Jos lyijypalan taomme yhtä suureksi levyksi kuin paperi on, niin putoaa se yhtä hitaasti kuin paperikin. Siis ainoastaan ilmatomassa tilassa putoavat kaikki kappaleet yhtä nopeasti.



Kuva 7. Ilmaton putousputki.

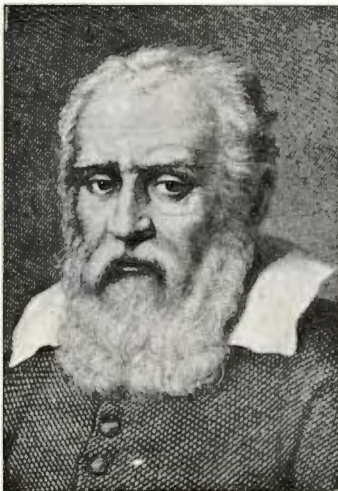


Kuva 8 Yksinkertainen pendeli.

Löytyy erinomaisen yksinkertainen kone, jolla painovoiman vaihteluja eri paikoilla voi tutkia paljon tarkemmin kuin millään muulla keinolla ja jota konetta fysiikan tutkija

käyttää moneen muuhunkin tarkoitukseen. Tämä kone on melkein jokikisessä talossa. Se on *heiluri* eli *pendeli*. Jos hienoon lankaan ripustetaan raskas pallo, niin on pendeli meillä valmiina. Tosin tämä pendeli ei täydellisesti vastaa n. s. matematista pendeliä, joka olisi vaan painollinen piste ripustettuna painottomaan viivaan. Jos kuitenkin langan paino on pieni verrattuna pallon painoon, lähestyy tällainen pendeli matematista pendeliä. Vapaasti riippuessaan asetuu pendeli tietysti luotiviivan suuntaan. Jos pendeli poistetaan tästä asemastaan ja heitetään irti, niin pallo putoaa maata kohti. Kun kumminkin lanka pitää sitä aina yhtäkaukana langan kiinnityspisteestä, liikkuu pallo ympyrän kaarta, jonka keskipiste on pendelin ripustusaste ja säde pendelin pituus. Pendeli lähestyy tasapainoasemaansa tasaisesti kiihtyvällä liikkeellä, kulkee jatkuvaisuuden vuoksi tasapainoasemansa ohi, jatkaa liikettään toiselle puolen tasaisesti hidastuvalla liikkeellä, pysähtyy äärimäiseen asemaan, palajaa taas takaisin j. n. e.; pendeli heiluu edestakaisin kahden äärimäisen aseman välillä. Yhteen heilahdukseen kuluva

aikaa sanotaan *heilahdusajaksi* ja äärimäisten asemien välistä kulmaa *heilahduskulmaksi*. Jollei pendeli saa yhä uusia sysäyksiä, niin pendelin heilahduskulma pienenemistään pienenee ja vihdoin pysähtyy pendeli. Syynä on sekä ilman vastustus että hankautuminen ripustusasteessa. Vaikkapa heilahduskulma pieneneekin, niin heilahdusaika pysyy kumminkin muuttumattomana, jollei heilahduskulma alkujansa ollut kovin suuri, korkeintaan noin 10 astetta. Tämä pendeliheilahdusten samanaikaisuus (*isokronismi*) on juuri pendelin tärkein ominaisuus. Kerrotaan Galilein huomannut

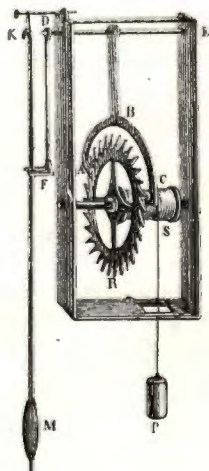


Kuva 9. Galileo Galilei.

neen tämän seikan nähdessään kynttiläkruunun heiluvan Pisan kirkon katossa. On helposti ymmärrettävissä, että pendeli mainitun ominaisuutensa vuoksi on erinomainen ajanmittaaja. Ei viipynytkään kauan pendelin keksinnön jälkeen ennenkuin pendeliä käytettiin tähän tarkoitukseen, rakennettiin pendelikelloja. Pendelikellon keksinnön voi lukea kolmenkin eri henkilön ansioksi. Kelloseppä, sittemmin tähtientutkija *Joost Byrgi* (†1632) Toggenburgista, Galilei ja hollantilainen fysikko *Christian Huygens* ovat nämä kolme miestä. Byrgi ja Galilei käyttivät varmaan pendeliä ajanmittauksiin, mutta Huygens on kirjoittanut ensimmäisen teoksen pendelikellosta ja v. 1657 hankki hän itselleen yksinoikeuden keksintöönsä. Tällaisen kellon rakennus lieinee kaikille tuttu. Pendelin ylipäähän on kiinnitetty kaksipuolinen hakanen, joka pendelin heiluessa tarttuu hammasrataseen, jota kelloa käyttävä voima (luottien paino, viritetty jousi) pyörittää. Joka heilahdukselta pääsee ratas kiertymään yhden hampaan ja samalla painaa hammas pendelin hakaseen, joten pendeli pysyy yhä heiluvassa liikkeessä.

Pendelin heiluessa kulkee, kuten mainittu, pendelin paino ympyrän kaarta. Jos ajattelemme äärettömän pitkän pendelin, niin mainittu kaari olisi vaakasuora viiva. Sellaisen pendelin heilahdusaika olisi äärettömän pitkä s. o. pendeli ei heiluisi ollenkaan.

Pendelin heilahdusaika on siis riippuva pendelin pituudesta, kuta pitempi pendeli on, sitä pitempi on heilahdusaika. Saadaksemme pendelin heilahdusajan kaksin-, kolmin-, nelin-, j. n. e. kertaiseksi, tulee pendelin olla neljä, yhdeksän, kuusitoista j. n. e. kertaa pitempi. Kuinka tunnokas kone pendeli on, mitä heilahdusajan riippuvaisuuteen pituudesta tulee, sen huomaamme seuraavasta esimerkistä. Oletetaan pendeli, jonka heilahdusaika päiväntasaajalla olisi juuri 1 sek. Pendeliä pitennetään $\frac{1}{10}$ mm. Sen heilahdusaika on silloin 1,00005 sek. Jos tämä pendeli on



Kuva 10. Heilurikello.

kellossa, niin kello jättäisi vuorokaudessa 4 sek., kahdessa viikossa jo 1 min. Se olisi huono kello. Nykyjään voidaan nimittäin valmistaa kelloja, joiden virhe vuorokaudessa ei ole suurempi kuin 0,05 sek. Sellaisen kellon pendelin pituudessa ei saa olla suurempaa virhettä kuin 0,001 mm.

Koska painovoima panee pendelin heilumaan, on pendelin heilahdusaika riippuva ei ainoastaan pendelin pituudesta, vaan myös painovoiman suuruudesta sillä paikalla, missä pendeli heiluu. Kuta suurempi painovoima on, sitä nopeammin heiluu pendeli, sitä lyhempi on heilahdusaika. Vuonna 1671 matkusti ranskalainen tähtientutkija *Richer* tähtitieteellisessä tarkoituksessa Parisista Cayenneen Länsi-Indiassa. Hän huomasi, että hänen kellonsa, joka Parisissa kävi oikein, jäi Cayennessa vuorokaudessa 2 min. jälkeen ja että hänen täytyi lyhentää sen pendeliä lähes 3 mm saadakseen kellon käymään oikein. Palattuaan Pariisiin huomasi hän taas ihmeekseen, että kello nyt edisti 2 min. vuorokaudessa ja että pendeliä täytyi pitentää saman verran kuin sitä oli lyhennetty. Täten oli pendelin heilahdusajan riippuvaisuus painovoiman suuruudesta keksitty.

Painovoiman suuruus eri paikoilla onkin määrätty juuri pendelin avulla. Jos yhtä pitkien pendelien heilahdusajat tai myös pendelien pituudet, joilla on sama heilahdusaika, määrätään eri paikoilla, niin molemmista seikoista voi laskea painovoiman kiihtyväisyyden kysymyksessä olevilla paikoilla. Pendelin, jonka heilahdusaika on 1 sek., pituus on:

Päiväntasaajalla	.....	990,98	mm
20:nneksi leveysasteella	.....	991,70	»
40 »	»	993,11	»
60 »	»	994,85	»
80 »	»	995,98	»
Navoilla	.....	996,14	»

Nämä luvut suhtautuvat toisiinsa kuten painovoiman kiihtyväisyydet mainituilla leveysasteilla.

Pendeli, niinkuin jokainen heiluvassa liikkeessä oleva kappale, pitää heilahdussuuntansa muuttumattomana. Jos ripustamme pendelin siten, että pendelin ripustuspiste voi kiertyä ympäri pendelin itsensä ottamatta osaa kiertymi-

seen, niin ripustuspisteen kiertyessä ympäri näyttää pendelin heilahdussuunta kiertyvän vastakkaiseen suuntaan, vaikka se todellisuudessa pysyy muuttumattomana. Tämän pendelin ominaisuuden avulla voimme todistaa sen seikan, että maa pyöri akselinsa ympäri. Väitettä, että maa liikkuu, jonka opin *Copernicus* v. 1543 oli lausunut ja joka väite oli saattaa Galileinkin Rooman inkvisitionin kouriin, on vaikea kokeellisesti todistaa, koska kaikki kappaleet itsekin ottavat osaa tähän liikkeeseen. Oletamme, että pendeli olisi asetettu heilumaan maan navan kohdalla. Maa pyöri kerran vuorokaudessa ympäri. Pendelin heilahdussuunta näyttää kiertyvän vastakkaiseen suuntaan kerran ympäri samassa ajassa. Asetetaan pendeli heilumaan päiväntasaajalle. Pendeli ei näytä kiertyvän ollenkaan, sillä maan pinta ei kierry pendelin alla, vaan liukuu eteenpäin kuljettaen pendeliä mukanaan. Navan ja päiväntasaajan välillä näyttää pendeli kiertyvän, sitä vähemmän kuin enemmän lähestytään päiväntasaajaa. Välillä olevilla paikoilla on nimittäin maan pinnalla ei ainoastaan liukuva, vaan myös kiertyvä liike. V. 1851 näytti ranskalainen *Foucault* kokeellisesti tämän seikan. Parisin Panteon-rakennuksen kattoon kiinnitti hän 67 m pituisen pendelin. Pendeli heilui $6\frac{1}{3}$ m edestakaisin. Heilahdussuunta kiertyi $240^{\circ}48'$ vuorokaudessa. Sittemmin on koe uudistettu monta kertaa; muiden muassa näytti sen *Secchi* eräässä kirkossa Roomassa, samassa kaupungissa, jossa Galilei pakotettiin vastoin vakaumustaan luopumaan harhauskostaan, että maa liikkuu.



Kuva 11.
Foucaultin koe.

Siitä, mitä olemme painovoimasta oppineet, seuraa siis, että voimayksikkö 1 kg on muuttuva suure, jolla eri paikoilla on eri arvo. Jos siis mitataan muita voimia voimayksikkönä kilogramma, täytyy myös paikka, missä mittaaminen tapahtuu, mainita. Tulee siis sanoa esim. 10 kg Helsingissä, s. o. voima, jonka suuruus on 10 kertaa niin suuri kuin 1 litr. vettä paino Helsingissä. Jokapäiväisessä elämässä tuo voimayksikön vaihtelu ei mitään merkitse, vaan tieteellisissä

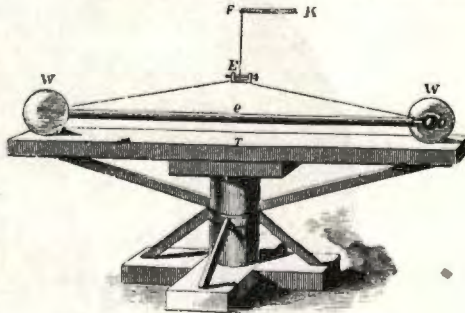
mittauksissa merkitsee se paljonkin. Senpä vuoksi onkin tieteellisiä mittauksia varten valittu toinen voimayksikkö. Kappaleen massa, joka on kappaleen painon ja painovoiman kiihtyväisyyden osamäärä, on tietysti kaikkialla sama, koska kappaleen paino ja painovoiman kiihtyväisyys muuttuvat samassa suhteessa. Tieteellisissä mittauksissa otetaan *massayksiköksi* yhden kuutiosentimetrin massa puhdasta, + 4° lämmintä vettä. Voimayksiköksi taas otetaan se voima, joka tälle massalle antaa kiihtyväisyyden 1 cm sekunnissa. Tämä voima saa nimen *dyne* (kreikkal. dyne = voima). Voimayksikkö dyne on pieni voima. Verratkaamme toisiinsa voimayksiköitä dyne ja kilogramma. Ensiksikin on sen kappaleen massa, johon kilogramma vaikuttaa, 1,000 kertaa niin suuri kuin massa, johon dyne vaikuttaa. Toiseksi antaa kilogramma tuolle tuhatkertaiselle massalle kiihtyväisyyden 978 cm päiväntasajalla ja 983 cm navoilla. Siis on kilogramma 978,000 dyneä päiväntasajalla ja 983,000 dyneä navoilla.

Työyksikkö tässä järjestelmässä on dynsentimetri, jonka nimenä on *ergi* (ergos = työ). Kilogrammometri on siis 98,100,000 ergiä (45:nnellä leveysasteella). Koska ergi on kovin pieni työyksikkö, käytetään työyksikkönä tavallisesti 1 *Joule*, joka on 10 milj. ergiä. Siis on 1 kgm 9,81 joulea. Työkykyä, efektiä, mitatessa käytetään yksikkönä 1 *Watt*, joka on 1 joule sekunnissa. Hevosvoima on siis 735,7 wattia eli 0,736 kilowattia (tuhatwattia). Tätä saksalaisen tiedemiehen *Gaussin* laatimaa *absolutista* mittajärjestelmää käytetään yleensä tieteellisissä mittauksissa. Sillä on se suuri etu, että kaikki yksiköt ovat vallan riippumattomia paikasta, missä mittaus tapahtuu.

Ennenkuin jätämme kysymyksen painovoimasta, on ehkä hauskaa tietää, mitä koko maapallo, joka vetovoimallaan aikaansaa nyt selittämämme ilmiöt, painaa. Oikeastaan ei voi puhua maan painosta. Maan vetovoima on kyllä syytä kappaleiden painoon, vaan maalla itsellään ei ole painoa samassa merkityksessä kuin kappaleilla. Maa vetää kappaletta ja kappale puolestaan vetää maata samalla voimalla, koska vaikutus ja vastavaikutus ovat yhtä suuret. Jos siis maa vetää kappaletta 1 kg voimalla, vetää kappale maata samalla voimalla ja maan paino tähän kappaleeseen nähden

on 1 kg. Johonkin toiseen kappaleeseen nähden olisi se esim. 1 gr, kolmanteen nähden 1 mgr j. n. e. Maan paino on siis epämääräinen. Maalla on kumminkin määrätty massa ja tämä mahdollittoman suuri on juuri syynä siihen, että kappaleiden vetovoiman vaikutus maahan on häviävän pieni. Jos voimme määrätä maan massan verrattuna esim. 1 kg painoisen kappaleen massaan, niin silloin voimme myös, jos niin haluamme, lausua maan painon kilogrammoissa, s. o. lausua sen voiman, millä maa vetäisi itsensä kokoista massaa, jonka etäisyys maan keskipisteestä olisi maan säde. Maan massan

voimme todella määrätä. Se voi tapahtua seuraavalla tavalla. Hie-noon lankaan ripustetaan keskikohdaltaan tanko, joka molemmissa päis- sään päättyy pie- neen palloon. En- sin määrätään, suu- riko voima tarvi- taan kääntämään



Kuva 12. Cavendishin kääntövaaka.

tankoa lepo-asemastaan jonkun tietyn kulman verta. Tämä voi- ma riippuu tietysti langan laadusta, siitä vastustuksesta, joka syntyy langan kiertyessä. Nyt asetetaan kummankin pallon lä- heisyyteen eri puolille tankoa kappale, joka painaa esim. 1 kg. Näiden kappaleiden vetovoima kääntää tankoa jonkun ver- ran. Poikkeamisen suuruudesta voimme nyt laskea kappaleiden välisen vetovoiman. Tällainen kone käy nimellä *Cavendishin kääntövaaka*. On huomattu, että kahden 1 kg painoi- sen kappaleen välinen vetovoima on, kun niiden välimatka on 1 dm, 0,000666 dyneä eli 0,000679 mgr. Siis erinomaisen pieni voima. Maa vetää 1 kg painoista kappaletta 981,000 dynen voimalla välimatkalla, joka on maan säteen pituinen eli 63 milj. dm. Maan vetovoima on siis $0,000666 \times 981,000 \times 63$ milj. $\times 63$ milj. kertaa niin suuri kuin 1 kg painoisen kappaleen. Jos lasku toimitetaan, saadaan luku, jossa on 25 numeroa ja joka alkaa numerolla 6. Maan massa on siis tasa-

lukuna 6 kvadriljonaa kertaa niin suuri kuin 1 kg painoisen kappaleen. Voimme siis sanoa, että maa painaa 6 kvadriljonaa kilogrammaa.

Kuten jo mainitsimme, koskee Newtonin vetovoimalaki kaikkia painollisia kappaleita. On ehkä syytä tässä puhua lyhyesti tämän vetovoiman vaikutuksesta taivaankappaleiden välillä, jos kohta tämä seikka kuuluu oikeastaan tähti-



Kuva 13. Nicolaus Copernicus.

tieteeseen. Maailman ja etenkin aurinkokuntamme rakennetta koskevat, aikojen kuluessa vallinneet mielipiteet ja ne eri tavat, joilla on koetettu selittää taivaankappaleiden liikettä, täytyy meidän tässä jättää sikseen. Kun Copernicus kuudentoista vuosisadan keskivaiheilla oli rohkeasti kumonnut vuosituhansia vallinneen harhaluulon aurinkokuntamme rakenteesta ja syössyt maan sen kunniasijalta luomakunnan keskipisteenä, oli luonnollista, että taivaan kappaleiden liikettä ja syytä tähän liikkeeseen yhä innokkaammin tutkittiin. Co-

pernicuksen vertaisena on mainittava kovia kohtaloita kokenut *Johannes Keppler* (†1630). Nojautuen *Tyko Brahen* tekemiin havaintoihin keksi hän v. 1609 kaksi ensimmäistä n. s. Kepplerin lakia ja kymmenen vuotta myöhemmin kolmannen lakinsa. Ensimmäinen laki lausuu kiertotähtien radan muodon. Radat ovat soikeita suljettuja viivoja, ellipsiä, eivätkä ympyröitä, kuten siihen saakka oli otaksuttu. Toinen laki lausuu kierto-



Kuva 14. Johannes Keppler.

tähden nopeuden radassaan ja auringosta lasketun etäisyyden yhteyden. Kunta kauempana soikeassa radassaan kiertotähti on auringosta, sitä pienempi on sen nopeus; aurinkoa ja kiertotähteä yhdistävä suora kääntyy aina yhtäpitkissä ajoissa yhtäsuurien pintojen yli eikä kuten ympyräliikkeessä olisi laita yhtä suuren kulman. Kolmas laki sanoo, että kahden kiertotähden kiertoajat itsellensä kerrottuna suhtautuvat kuten niiden auringosta lasketut etäisyydet kolmasti itsellensä kerrottuna. Tämä kolmas laki sisältää jo Newtonin veto-

voimalain. Kuitenkaan ei Kepler voinut siitä tätä lakia joh-
taa, vaan koetti hän selittää kiertotähtien liikettä jonkun-
laisten magnetisten voimien avulla; jonkunlainen aavistus ve-
tovoimasta oli siis hänelläkin. Vasta v. 1686 keksi Newton
vetovoimalakinsa ja sovitti sen heti taivaankappaleidenkin
liikkeeseen.

Ajatellaan vuoren, jonka korkeus olkoon 1,000 m, hui-
pulle asetetuksi tykki, joka tähdätään vaakasuoraan suuntaan.
Tykistä ammutaan luoti, jonka nopeus olkoon $500 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$.
Ammuttuun luotiin vaikuttaa nyt kaksi voimaa, ruudin
heittovoima ja painovoima. Edellisen vaikutuksesta kulkee
luoti jatkuvaisuuden lain mukaan tasaisella liikkeellä, kun il-
man vastusta ei oteta huomioon, vaakasuoraan suuntaan 500 m
joka sekunnissa, jälkimäisen voiman vaikutuksesta putoaa
luoti putouslakien mukaan luotiviivaa pitkin. Se on pudon-
nut vaakasuorasta suunnasta 1,000 m 14 sek. kuluttua. Sil-
loin saapuu se maan pinnalle pisteessä, joka on 7 km vaakasuo-
raan suuntaan vuoren huipusta. Rata, jota luoti on kulke-
nut, on maata kohti käyrä viiva, heittoviiva (parabeli) ja
luodin liike saa nimen *heittoliike*.

Olemme tässä olettaneet, että maan pinta on tasapinta.
Niin ei kuitenkaan asia ole. Maan pinta on käyrä pinta.
Vuoren huipun kautta vedetty vaakasuora viiva loittonee
maan pinnan käyryyden vuoksi maan pinnasta. Yhden kilo-
metrin matka vaakasuoraa viivaa pitkin luettuna vaikuttaa
noin 13 cm loittonemisen maan pinnasta, 2 km noin 52 cm
j. n. e. Kahdeksan km vaikuttaa jo 5 m, 16 km 20 m j. n. e.
Ajattelempa, että voisimme ampua luodin nopeudella 8 km
sek. ja ettei ilma vastustaisi luotia. Yhden sekunnin ku-
luttua on luoti siis kulkenut 8 km vaakasuoraan suuntaan ja
samalla pudonnut 5 m (tarkemmin 4,91 m) maan keskipistetä
kohti. Mutta samalla on maan pinta, kuten äsken huomasi-
me, painunut 5 m vaakasuorasta alaspäin. Luoti on siis yhä
edelleen 1,000 m maan pinnasta. Kahden sekunnin kuluttua
on luoti 16 km vaakasuoraan suuntaan vuoren huipusta ja
on se pudonnut 20 m (tarkemmin 19,6 m) maan keskipistet-
tä kohti. Maan pinta on myös painunut 20 m vaakasuorasta;

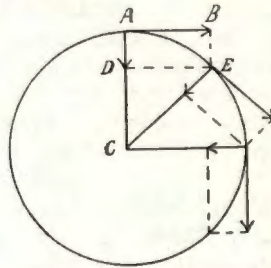
luoti on yhä edelleen 1,000 m maan pinnasta. Sen, minkä luoti putoaa vaakasuorasta, painuu maan pintakin vaakasuoraa alemmaksi. Siten kiertää luoti ympyrän muotoisessa radassa 1,000 m maan pinnasta ja saapuisi se 1 tun. 24 min. kuluttua taas takaisin lähtöpaikkaansa kierrettyään kerran maapallon ympäri. Luoti olisi muuttunut maata kiertäväksi kierto-tähdeksi.

Luodin liike on syntynyt kahden voiman vaikutuksesta. Ruutikaasun työntövoima on hetkellinen voima, joka vaikuttaa liikkeen alussa, painovoima taas on jatkuva voima, joka vaikuttaa yhtämittaa. Hetkellinen voima vaikuttaa suuntaan, joka on sivuujä sille radalle, jota luoti kulkee. Jatkuva voima taas vaikuttaa koko ajan samaa pistettä kohti, tässä maan keskipistettä.

Tällaista liikettä nimitetään *keskeis-* eli *sentraliliikkeeksi*. Voimia, jotka sen aikaansaavat, nimitetään *tangentsiali-* (sivuujä-) *voima* ja *sentripetali-* (keskihakuis-) *voima*. Kappaleen radan muoto on riippuva näiden kahden voiman keskinäisestä suuruudesta. Rata on joko suljettu viiva, ympyrä tai ellipsi, tai avonainen viiva, parabeli tai hyperbeli.

Jos rata on ympyrä, kiertää kappale rataansa tasaisella liikkeellä, muissa tapauksissa muuttuvalla liikkeellä siten, että nopeus on sitä suurempi, mitä lähempänä kappale on sitä pistettä, jota kohti sentripetalivoima vaikuttaa. Joka tapauksessa on se ehto täytetty, että kappaletta ja mainittua pistettä yhdistävä suora viiva kääntyy yhtä pitkissä ajoissa yhtä suurien pintojen yli (Keplerin toinen laki).

Tarkastakaamme nyt vielä esim. kuun liikettä maan ympäri esimerkkinä sentraliliikkeestä ja Newtonin vetovoimasta. Voimme tässä menetellä samalla lailla kuin tarkastaessamme vuoren huipulta ammutun luodin rataa maan ympäri. Tiedämme, että kuun etäisyys maasta on, olettamalla että kuun rata on ympyrä, 384,400 km. Kuu kiertää kerran maan ympäri 2,360,592 sekunnissa. Laskemme en-

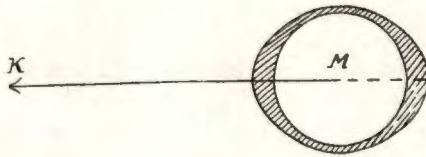


Kuva 15. Sentraliliike. AB tangentsialivoima. AD sentripetalivoima.

sin kuun radan pituuden metreinä ja jaamme sen kiertoajalla, niin saamme tietää kuun nopeuden radan tangentin suuntaan, joka nopeus vastaa ammutun luodin esimerkissä ruuti-kaasun luodille antamaa nopeutta. Kun näin tiedämme sen matkan, minkä kuu jatkuvaisuuden vuoksi kulkisi sekunnissa radan tangentin suuntaan ja tiedämme myös kuun radan suuruuden nojalla, paljonko rata kaareutuu tällä matkalla maata kohti, niin on meidän helppo laskea kuinka pitkän matkan kuun tulee lähestyä maan keskipistettä yhdessä, kahdessa, kolmessa j. n. e. sekunnissa pysyäkseen aina samalla etäisyydellä maan keskipisteestä. Kuun tulee lähestyä maata $0,001362$ m yhdessä sekunnissa, kahdessa sekunnissa neljä kertaa, kolmessa yhdeksän kertaa j. n. e. tämä matka. Jos tätä tulosta tarkastamme, niin huomaamme, että kuun liike maata kohti ei ole muuta kuin putousliike, jossa kiihtyväisyys on $0,00272$ m sek. (siv. 32). Katsotaanpa, onko maan vetovoima syynä tähän putoamiseen. Kuten tiedämme vähenee kahden kappaleen välinen vetovoima samassa suhteessa kuin niiden välimatka itsellään kerrottuna kasvaa. Maan pinnalla oleva kappale putoaa kiihtyväisyydellä $9,8$ m sek. Tämän kappaleen etäisyys maan keskipisteestä on yksi maapallon säde. Kuun etäisyys on 60 maapallon sädettä. Jos syynä kuun putoamiseen maata kohti on maan vetovoima, täytyy Newtonin lain mukaan kiihtyväisyyden kuun putousliikkeessä olla kiihtyväisyys maan pinnalla jaettuna 60×60 . Jos toimitamme jaon, saamme: $9,8: 3,600 = 0,00272$ m sek. Siis juuri äsken löytämämme luku.

Sentripetalivoima taivaankappaleiden liikkeessä on siis näin selvillä. Mitä taas tangentsiaalivoimaan tulee, niin sen selittäminen ei ole niinkään helppoa. Että taivaankappaleet tällä hetkellä pyrkivät tangentin suuntaan, ymmärrämme kyllä muistaessamme jatkuvaisuuden lakia, vaan mistä tuo ensimmäinen sysäys tähän suuntaan on alkuansa, se jää selittämättä. Voidaksemme antaa tähän ainakin jonkunlaisen selityksen tulisi meidän ryhtyä tarkastamaan niitä arveluja, joita on olemassa koko aurinkokunnan synnystä ja kehityksestä. Tämä veisi meidät kumminkin tehtävämme ulkopuolelle ja joutuisimme tähtitieteen alalle.

Kuu vetää tietysti myös maata. Kun kumminkin maan massa on 80 kertaa kuun massa, niin kuun vetovoiman vaikutus maahan on verrattain vähäinen. Yksi ilmiö, jonka kuun vetovoima



Kuva 16. Luode ja vuoksi, M maapallo, MK suunta kuuhun.

aikaansaa, mainittakoon tässä vielä. Se on *luode* ja *vuoksi*. Kuten tunnettu, nousee ja laskee merivesi säännöllisesti noin 6 tunnin väliajalla. Nouseminen ja laskeminen on aavalla valtamerellä noin 1 m, mutta ahtaissa lahdissa voi se olla paljonkin suurempi, aina parikymmentä metriäkin. Newton selitti tämänkin ilmiön vetovoimalaillaan. Kuu vetää sitä puolta maata, joka on käännetty kuuhun päin, enemmän kuin maan keskipistettä ja maan keskipistettä enemmän kuin kuusta poiskäännettyä puolta maasta. Maata ympäröivä herkkäliikkeinen vesi tottelee tätä kuun vetovoimaa. Vesi nousee kuuhun päin käännetyllä puolella maata, se näet putoaa kuuta kohti enemmän kuin itse kiinteä maapallo. Samoin nousee vesi vastakkaisella puolella maata, koska se siellä putoaa vähemmän kuin maapallo ja jää siis maapallosta jäljelle. Näillä paikoilla nousee vesi ja niiden keskivälillä laskeutuu se. Maata ympäröivän veden pinta on siis soikeampi kuin maa itse ja on sillä suurin ulottuvaisuutensa maan keskipisteestä kuun keskipisteeseen kulkevassa suunnassa. Kun maa kerran vuorokaudessa pyörii ympäri, niin siirtyvät nuo kohopaikat ja laskupaikat maan ympäri kerran vuorokaudessa, josta seuraa 6-tuntinen väliaika luoteen ja vuoksen välillä. Vallan 6 tuntia ei aika kumminkaan ole, se on enemmän, sillä kuukin liikkuu radassaan samaan suuntaan kuin maa pyörii; sitä paitsi mantereet vaikuttavat häiritsevästi ilmiön säännöllisyyteen.

Myös aurinko aikaansaa luode ja vuoksi ilmiön. Kun kumminkin auringon vetovoima suuremman välimatkan vuoksi on, vaikka tosin paljon suurempi kuin kuun, kaikissa pisteissä maanpinnalla melkein yhtäsuuri, niin auringon aikaansaama luode ja vuoksi on melkoista pienempi kuin kuun aikaansaama.

Palajamme vielä tarkastamaan sentraliliikettä. Otamme rihman, sen yhteen päähän ripustamme painon ja toista päätä pidämme kädessä. Kädellä annamme painolle heilahduksen siten, että se rupeaa kiertämään ympyrää rihman kiinnityspisteen ympäri. Tässä on meillä selvä sentraliliike. Tuo heilahdus, joka ensin pani painon liikkeelle, on tangentsiaalivoima ja rihman lujuus, joka pakottaa painoa pysymään aina samalla etäisyydellä rihman kiinnityspisteestä, on sentripetalivoima. Ellei painovoima vetäisi painoa yhä maata kohti ja ellei ilma vastustaisi sen liikettä, liikkuisi paino ikuisesti rataansa vallan kuten taivaankappaleetkin.

Painon kiertäessä ympäri tunnemme, kuinka paino vetää kättä rataa kohti ja pingoittaa rihmaa. Syy tähän on vallan yksinkertainen. Jatkuvaisuutensa vuoksi pyrkii paino yhä kulkemaan radan tangentin suuntaan, sentripetalivoima pakottaa sen luopumaan tästä suoraviivaisesta radasta ja kulkemaan ympyrää, siis poikkeamaan tangentista radan keskipisteen puolelle. Tiedämme, että missä voima vaikuttaa kappaleeseen, siinä ilmestyy myös kappaleen puolelta vastavaikutus, joka on suuruudeltaan yhtä suuri kuin voima. Se on siis sentripetalivoiman vastavaikutus, joka pingoittaa rihmaa ja vetää kättä ulospäin. Tämä vastavaikutus saa nimen *sentrifugalivoima* (keskipakovoima). Sentrifugalivoima ei suinkaan ole syy sentraliliikkeeseen, vaan sen seuraus. Jos painoa kiinnittävä rihma katkeaisi, s. o. toisin sanoen sentripetalivoima lakkaisi vaikuttamasta, niin tietysti sen vastavaikutus sentrifugalivoima samassa silmänräpäyksessä myös lakkaisi ja, koska nyt tangentsiaalivoima on yksinään vaikuttamassa, niin paino jatkaisi liikettään tangentin suuntaan, eikä niinkuin ehken moni luulisi rihman suuntaan ulospäin.

Tarkastamme vielä sentripetalivoiman ja samalla sen vastavaikutuksen, sentrifugalivoiman, suuruutta eri tapauksissa. Oletamme kaksi kappaletta, joilla on sama massa ja oletamme niiden kiertävän eri suuria ratoja, mutta tekevän kumminkin yhden kierroksen saman ajan kuluessa. Suurempaa rataa kulkevan kappaleen nopeus on tietysti suurempi, se kulkisi tangentin suuntaan joka aikayksikössä pitemmän matkan kuin tuo pienempää rataa kiertävä kappale. Se matka, minkä sentripetalivoiman tulee tämän aikayksikön kulu-

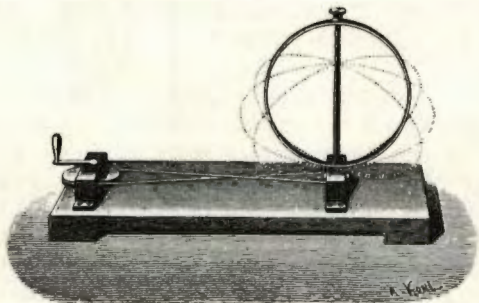
essa vetää kappaletta tangentin suunnasta keskipistettä kohti, on siis suuremmassa radassa pitempi. Kun kappaleilla oli sama massa, toimittaa sentripetalivoima suuremmassa radassa suuremman työn ja täytyy siis voiman olla suurempi. Tämän huomaamme myös käytännössä. Jos pyöritämme samaa painoa yhtä nopeasti ympäri pitkässä ja lyhyessä rihmassa, niin vetää paino kättä ulospäin voimakkaammin kiertäessään pitemmässä rihmassa. Kuta pitempi kelkkaradan tanko on, sitä lujemmin saa kelkassa istuja pitää kiinni pysyäkseen kelkassa, jos nimittäin kelkka kiertää ympäri aina samassa ajassa.

Oletamme toiseksi, että samaa rataa kiertää kaksi eri-painoista kappaletta samalla nopeudella. Ne matkat, jotka kappaleet poikkeavat tangentin suunnasta, ovat nyt tietysti yhtä pitkät. Mutta koska toinen kappale on raskaampi, niin työ, joka toimitetaan tämän kappaleen lähestyessä keskipistettä saman matkan kuin tuo kevyempi kappale, on tietysti suurempi. Siihen tarvitaan siis myös suurempi sentripetalivoima. Jos yhtäpitkiin rihmoihin kiinnitetään erisuuria painoja ja niitä pyöritetään yhtä nopeasti ympäri, niin huomaamme kyllä eron sentrifugalivoimassa. Jos kaksi juna, toinen raskas toinen kevyt, kulkevat samalla nopeudella käyrää rataa, niin raskaampi painaa ulkopuolista kiskoja enemmän kuin kevyempi. Tässä on näet kiskon paino pyöriä vastaan sentripetalivoima ja pyörien paino kiskoja vastaan sentrifugalivoima. Koska sentripetalivoima vaikuttaa vaan pyöriin pakottaen niitä kulkemaan kiskoilla, mutta ei muihin junan osiin, niin voi tapahtua, että juna kulkiessaan suurella nopeudella käyrää rataa kaatuu ulkokiskon puolelle, syystä että juna, paitsi pyörät, voi todella kulkea tangentin suuntaan. Sen estämiseksi täytyy käyrällä radalla ulkokiskojen olla ylempänä, joten koko juna on kallellaan sisäkiskon puolelle. Samasta syystä kallistuu ympyrää juokseva ihminen ja hevonen keskipisteen puolelle, koska sentripetalivoima, maan pinnan vastus, vaikuttaa vaan jalkoihin.

Koska, kuten näemme, sentripetalivoima kasvaa kuten radan säde ja myös kuten kiertävän kappaleen massa, niin on selvää, että, jos sentripetalivoiman radan säteen kasvaessa tulee pysyä muuttumattomana, täytyy kappaleen mas-

san pienetä samassa suhteessa kuin radan säde kasvaa; jos radan säde tulee kaksinkertaiseksi, täytyy kiertävän kappaleen massan vähentyä puoleksi j. n. e. Voimme siis lausua yleensä, että kahden sentraliliikkeen sentripetalivoimat ja siis myös sentrifugalivoimat ovat yhtäsuuret, jos kertomalla ratojen säteet kiertävien kappaleiden massoilla saadaan sama tulo

Myös rotatsioni- eli kieppumisliike on tavallaan sentraliliike. Kappale ei tosin ole kokonaisuudessaan liikkeessä, vaan sen osat kiertävät ympyrän muotoisia ratoja suoran viivan, akselin, ympäri. Otamme tässä puheeksi muutamia



Kuva 17. Koe, joka näyttää maapallon litistymisen sentrifugalivoiman vaikutuksesta.

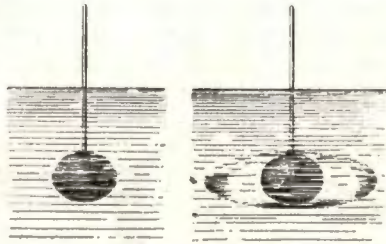
kieppumisliikettä koskevia ilmiöitä. Maapallolla on kuten tiedämme, myös sellainen liike. Eri osat maapalloa kiertävät kaikki ratansa samassa ajassa, yhdessä vuorokaudessa. Ratojen säteet ovat kumminkin eri suuret, riippuen siitä, millä paikalla maapallossa kukin osa on. Jos erittäin tarkastamme maanpintaa, on päiväntasaajalla olevien osien radan säde suurin, säde pienenee napoja kohden ja on navoissa nolla. Maapallo on kaukaisessa menneisyydessä ollut sulassa muodossa. Yhteys osien välillä oli silloin löyhempi kuin se nyt on, osat voivat silloin noudattaa setrifugalivoiman vaikutusta, ja seurauksena oli maapallon litistyminen molemmilla navoilla. Kokeellisesti voimme näyttää maan litistymisen monellakin tavalla. Taipuisia metallijousia kiin-

nitetään yhdestä päästään tankoon. Jouset taivutetaan puoliympyröiksi ja toiset päät kiinnitetään tangossa liukuvaan renkaaseen. Siten saamme jousista muodostetun pallon. Jos tämä pallo pannaan nopeasti pyörimään tanko akselina, litistyy pallo molemmista navoistaan.

Toinen koe. Veden ja alkoholin sekoitukseen pannaan pisara öljyä. Se ei uppoa pohjaan eikä ui pinnalla. Pisan läpi pistetään puikko, johon pisara tarttuu adhesionin vaikutuksesta. Puikko pannaan pyörimään; pisara pyörii mukana ja litistyy yhä enemmän. Vihdoin, kun pisara pyörii kyllin nopeasti, voittaa sentrifugalivoima adhesionivoiman, pisara repeää irti puikosta ja muodostaa puikon ympärille pyörivän renkaan.

Samanlainen repeäminen sentrifugalivoiman vaikutuksesta tapahtuu välistä tehtaiden huimapyörissä, kun sentrifugalivoima voittaa rattaan kohesionin. Ympäriinsä lentävät kappaleet tekevät silloin suuria tuhoja.

Jos onttoon lasipalloon kaadetaan vettä ja elohopeaa ja pallo pyörii pystysuoran akselin ympäri, niin sentrifugalivoiman vaikutus elohopeaan on suurempi kuin veteen, koska elohopea on raskaampaa. Elohopea kokoutuu kauemmaksi akselista ja muodostaa pallon keskikohdalle kiiltävän vyön. Sentrifugalivoimaa käytetäänkin usein, kun on erotettava toisistaan eri raskaita nesteitä, esim. separaattorissa erottamaan maitoa ja kermaa toisistaan.

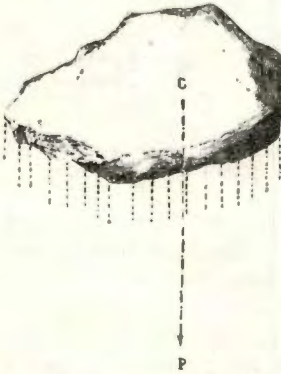


Kuva 18. Öljypisara veden ja alkoholin sekoituksessa.

V.

Kappaleiden tasapaino. Painopiste. Eri tasapainoasemat. Yksinkertaiset koneet. Väkipyörät. Telaratas. Vipuvarsi. Vaaka. Kalteva pinta. Ruuvi. Telkin. Kitka.

Olemme jo aikaisemmin tutustuneet voimia koskeviin yleisiin lakeihin, olemme yhdistäneet useampia voimia yhdeksi ja hajoittaneet voiman useammiksi voimiksi sekä löytäneet voimien tasapainoa koskevat lait. Ryhdymme nyt tarkastamaan kappaleiden tasapainoa.



Kuva 19. Kappaleen painopiste.

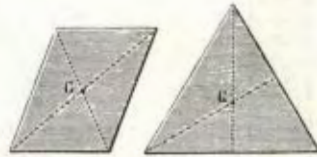
Kaikki meitä ympäröivät kappaleet ovat joka hetki painovoiman vaikutuksen alaisina. On siis paikallaan, että ryhdymme ensin tarkastamaan kappaleiden tasapainoa niiden ollessa yksinomaan painovoiman vaikutuksen alaisina.

Maa vetää puoleensa jokaista pienintä kappaleen osaa. Koska kappaleiden ulottuvaisuus maapalloon nähden on ylipäänsä häviävän pieni, ovat kaikki ne voimat, joilla maa vetää kappaleen osia, yhdensuuntaiset. Tiedämme, että yhdensuuntaisten voimien resultantilla on voimien suunta ja

on sen suuruus voimien summa. Tämä resultantti on kappaleen paino ja vaikuttaa se luotiviivan suuntaan. Tällä resultantilla on, niinkuin jokaisella voimalla, sovituspisteensä. Voimme siis sanoa, että kappaleen koko paino on sovitettu tähän pisteeseen. Jo kuuluisa *Arkimedes* (†212 e. Kr.) tunsi tämän tärkeän pisteen, kappaleen *painopisteen*. Pai-

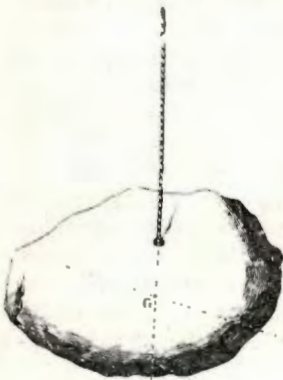
nopisteen asema on tietysti riippuva kappaleen muodosta. Mainittakoon tässä muutamien kappaleiden painopisteen paikka, olettamalla, että kappaleet ovat läpeensä yhtä raskasta ainetta. Pallon painopiste on sen keskipiste; kuution se piste, missä kuution vastakkaisia soppia yhdistävät viivat leikkaavat toisiansa; säännöllisen pyramidin painopiste on sillä suoralla, joka yhdistää pohjan keskipisteen huipun kanssa; etäisyys pohjasta on $\frac{1}{4}$ mainittua viivaa. Samoin on koonin (kartion) painopisteen laita.

Puhutaan myös pintojen ja viivojen painopisteestä. Silloin ajattelemme jokaisella pinnan tai viivan pisteellä olevan saman painon. Suunnikkaan painopiste on lävistäjien leikkauspiste; kolmion painopiste on se piste, missä kolmion huippuja ja vastaisten sivujen keskipisteitä yhdistävät viivat leikkaavat toisiansa. Suoran viivan painopiste on sen keskipiste; ympyrän kehän sen keskipiste. Painopiste voi olla kappaleen aineen ulkopuolellakin.



Kuva 21. Suunnikkaan ja kolmion painopisteet.

Koska painovoima vaikuttaa painopisteessä, niin on selvää, että kappale, jos se saa vapaasti asettua siihen asemaan, johon se painovoiman vaikutuksesta pyrkii asettumaan, aina asettuu niin, että painopiste tulee niin lähelle maata kuin mahdollista, toisin sanoen alimpaan asemaansa. Jos kappale putoaa, kääntyy se aina pudotessaan tähän asemaan, kunhan vaan putousväli on siksi pitkä, että kappale ehtii pudotessaan kääntyä. Tämän painopisteen ominaisuuden nojalla voimme kokeellisesti löytää jokaisen kappaleen painopisteen aseman. Ripustetaan kappale riippumaan jostakin sen pinnalla olevasta pisteestä. Paino-



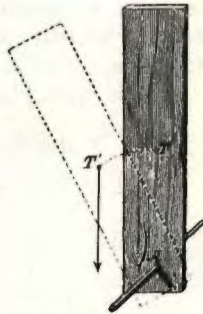
Kuva 21. Kappaleen painopisteen määrittäminen.

se pyörrähtää puoli kierrosta ympäri vakaaseen tasapaino-asemaansa. Että näin käy, huomaamme menettelemällä samoin kuin äsken. Yksi komponentti pyrkii lähestyttämään tukipistettä ja painopistettä toisiinsa, toinen vie kappaletta yhä edemmäksi tasapainoasemastaan. Tällaista asemaa sanomme *epävakaaksi* (labiliksi) asemaksi.

Vihdoin tukipisteen ja painopisteen ollessa samassa pisteessä on kappale tasapainossa missä asemassa hyvänsä. Kun nimittäin kappaleen paino ja tukipisteen vastus aina, olkoonpa kappale missä asemassa hyvänsä, vaikuttavat samassa pisteessä vastakkaisiin suuntiin, niin ne aina kumoavat toisensa.

Käytännössä on mahdoton saada kappaletta pysymään epävakaassa tasapainossa, pieninkin sysäys, pieninkin tärähdys saa sen heti kaatumaan. Jos mieli saada kappale seisomaan tukemalla sitä painopisteen alapuolella, täytyy tukipisteitä olla useampia kuin yksi. Jos tukipisteitä on kaksi, ei asia sillä paljon parane. Kappale on kyllä tasapainossa, jos painopisteen kautta vedetty luotiviiva leikkaa tukipisteitä yhdistävää suoraa näiden pisteitten välille, sillä silloin voimme jakaa painopisteessä vaikuttavan kappaleen painon kahteen komponenttiin, joista yksi on suunnattu yhtä, toinen toista tukipistettä kohti ja kumpikin tulee kumotuksi tukipisteiden vastuksesta. Mutta vaikka kappale ei voi kaatua tukipisteitä yhdistävän suoran suuntaan, niin kaatuu se vähimmästään sysäyksestä tätä viivaa vastaan kohtisuoraan suuntaan. Vaikkapa tukipisteitä olisikin enemmän kuin kaksi ja kaikki ovat samalla suoralla viivalla, niin on asian laita sama. Viivotin ei pysy pystyssä terävällä särmällään tasaisella pöydällä.

Vallan toinen on asian laita, jos tukipisteet eivät ole samalla suoralla. Olkoon tukipisteitä esim. kolme. Jos ne yhdistetään suorilla viivoilla, saadaan kolmio. Ajatellaan kappale ensin asetetuksi kahden tukipisteen varaan. Painopisteestä vedetty luotiviiva leikkaa silloin kolmion yhtä sivua.



Kuva 23. Epävakaata tasapainoa.

Jos kappaletta kallistetaan niin, että painopisteestä vedetty luotiviiva siirtyy ulkopuolelle kolmiota, kaatuu kappale. Jos taas kappaletta kallistetaan sille puolen kolmion sivua, missä tuo kolmas tukipiste on, niin siirtyy painopisteestä vedetty luotiviiva jompaakumpaa kolmion muuta sivua tai tuota kolmatta tukipistettä kohti. Jos nyt kolmaskin tukee kappaletta ennenkuin luotiviiva on siirtynyt kolmion ulkopuolelle, niin täytyy kappaleen pysyä tasapainossa tuettuna näissä kolmessa pisteessä. Jos siis tukipisteitä on useampia kuin kaksi ja ne eivät ole samalla suoralla, on kap-



Kuva 24. Kolmessa pisteessä tuettu kappale.

pale tasapainossa, kun painopisteestä vedetty luotiviiva leikkaa sitä kuv'ota, joka syntyy, kun pisteet järjestyksessään yhdistetään.

On selvää, että kappale seisoo sitä vakavammin kuta kauempana tukipisteet ovat toisistansa, kuta suurempi n. s. tukipinta on, sillä sitä enemmän saa kappaletta kallistaa ennenkuin luotiviiva siirtyy tukipinnan ulkopuolelle. Senpä vuoksi kaikki kappaleet, joiden tulee seistä vakavasti, varustetaan aina laajalla tukipinnalla. Kokemuksesta tiedämme, että seisomme vakavammin kahdella kuin yhdellä jalalla ja jos oikein vakavasti tahdomme seistä, seisomme sääret hajal- laan. Tukipintana on silloin ei ainoastaan molemmat jalka- pohjat, vaan myös niiden välillä oleva pinta. Siirtämällä

painopistettä voimme usein säilyttää tasapainoa, kun tukipintaa ei voi suurentaa. Niinpä henkilö, joka kantaa kuormaa seljässään, kumartaa ruumistaan eteenpäin, kantaesaan kuormaa oikeassa kädessään, kallistaa hän ruumistaan vasemmalle. Sen kautta siirtyy ruumiin ja kuorman, jotka muodostavat yhden kappaleen, yhteinen painopiste edellisessä tapauksessa eteenpäin, jälkimmäisessä vasemmalle, joten luotiviiva kohtaa nytkin tukipintaa samoin kuin se kohtasi sitä vedettyinä ruumiin painopisteestä ennenkuin kuorma otettiin selkään tai käteen.



Kuva 25. Ruumiin tasapaino.

Paitsi tukipinnan suuruutta vaikuttaa tuetun kappaleen vakavuuteen vielä tukipinnan ja painopisteen välimatka. Kutta lyhempi tämä väli on sitä lyhemmän matkan siirtyy luotiviivan ja tukipinnan leikkauspiste kappaletta kallistettaessa ja sitä enemmän saa kappaletta kallistaa ennenkuin luotiviiva siirtyy tukipinnan ulkopuolelle. Sellaisten kappaleiden painopiste, joiden tulee seistä vakavasti, on siis oleva alhaalla, lähellä tukipintaa, niiden painon tulee olla koottuna etupäässä kappaleen alaosaan. Senpä vuoksi lampun jalka, kynttiläjalka j. n. e. tehdään raskaasta aineesta, laivoja lastatessa pannaan raskaimmat esineet pohjalle j. n. e.

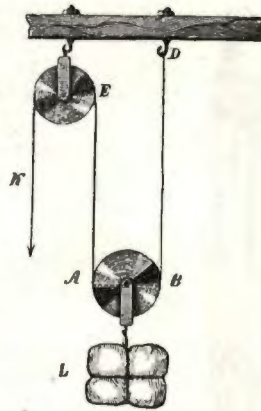
Kuten näimme on painopisteestä tuettu kappale epä-määräisessä tasapainossa. Ympyrän muotoinen levy on siis

tasapainossa missä asemassa hyvänsä, jos se keskipisteestään kiinnitetään akseliin.

Oletamme tällaisen pyörän; sen akseli olkoon vaakasuorassa asemassa. Pyörän ympäri panemme nuoran ja sen molempiin päihin ripustamme yhtä raskaat painot. Kokemus osoittaa, että pyörä ja painot ovat yhä edelleen tasapainossa. Niin täytyy ollakin, sillä noiden kahden yhtä suuren ja yhden-suuntaisen voiman resultantti kulkee pyörän keskipisteen kautta ja keskipisteen kautta kulkevan akselin vastus kumoo sen. Mitään liikettä ei synny painojen ollessa yhtäsuuret, painot estävät toisiansa noudattamasta painovoiman vaikutusta. Pyörän avulla olemme siis voineet saada pyörän toisella puolen riippuvan kappaleen painon vaikuttamaan pyörän toisellakin puolella ja vaikuttamaan ylöspäin; siis vastakkaiseen suuntaan. Olemme siirtäneet voiman sen suuntaviivan ulkopuolella olevaan pisteeseen, pyörän toisella puolen riippuvaan painoon. Tällainen voiman vaikutuksen siirtäminen voiman suuntaviivan ulkopuolelle ja vaikutuksen ohjaaminen määrättyyn suuntaan tulee käytännössä kysymykseen tuhka tiheään. Sellaisia kiinteitä kappaleita tai kappaleyhdistyksiä, joiden avulla tämä voiman vaikutuksen siirtäminen voi tapahtua, nimitämme *koneiksi*. Käyttämämme pyörä on sellainen kone, nimeltään *väkipyörä*. Tämä koneemme on niin yksinkertainen, että sen osia emme enää voi käyttää koneina. Siitä syystä saa se nimen *yksinkertainen* kone. Koneessa vaikuttaa aina vähintään kaksi voimaa, jotka joko pitävät toisiansa tasapainossa tai, jos tasapainoehto ei ole täytetty, joutuvat niiden sovituspisteet liikkeeseen. On tapana, kun voimia on kaksi, nimitää toista niistä voimaksi ja toista, joka on voimalla kumottava niin, että syntyy tasapaino, tai joka on voimalla voitettava, jolloin liike syntyy, *kuormaksi*.

Otamme vielä äskeisen väkipyörämme tarkastettavaksi. Panemme taas nuoran sen ympäri, sen toiseen päähän painon, mutta sen sijaan, että toiseenkin päähän ripustaisimme painon panemme nuoran toisen pyörän ympäri, jonka akselin päät ovat kiinnitetyt pyörää puoleksi ympäröivään hakaan ja sitten kiinnitämme nuoran toisen pään johonkin kiinteään pisteeseen. Tuo toinen pyörä riippuu siis ensimmäisen pyörän ja kiinteän pisteen välillä nuoran pohjukassa. Hakaseen kiinni-

tämme kuorman. Jos nytkin valitsemme kuorman niin, että kuorma ja liikkuva väkipyörä painavat yhteensä yhtä paljon kuin nuoran toisessa päässä riippuva paino, niin ei synny tasapainoa, paino (voima) putoaa alaspäin. Syy tähän on selvä. Kuorma riippuu nyt kahdessa nuorassa, kumpaakin jännittää vain puolet kuormasta. Kiinteän väkipyörän ympäri käyvän nuoran toisessa päässä on siis suurempi paino kuin toisessa. Huomaamme heti, että voimaa tulee vähentää ja että voiman tulee olla vaan puolet kuormasta, jos emme ota huomioon liikkuvan väkipyörän painoa. Silloin ovat voima ja kuorma tasapainossa. Jos nyt hiukan lisäämme voimaa, nousee kuorma ylöspäin. Näyttää siis siltä kuin jos voisimme tällaisella pyöräyhdistyksellä, pyörästöllä, luoda lisää voimaa. Voimmehan sillä nostaa 100 kg kuorman 50 kg voimalla, jota emme voi tehdä nostamalla kuormaa välittömästi. Tarkastamme asiaa. Otaksumme, että voiman sovituspiste on laskeutunut 1 m. Silloin on nuoran pohjukka, jossa kuorma riippuu, lyhentynyt myös 1 m. Kumpikin pohjukan puoli on lyhentynyt $\frac{1}{2}$ m ja kuorma on siis noussut vaan $\frac{1}{2}$ m. Otamme äskeisen numeroesimerkin luvut. Kun 50 kg voiman sovituspiste laskeutuu 1 m, on voiman piilevästä energiasta muuttunut työksi 50 kgm. Kun 100 kg kuorma nousee $\frac{1}{2}$ m, on nostamiseen kulunut $100 \times \frac{1}{2} = 50$ kgm työtä, joka on muuttunut kuorman piileväksi energiaksi. Työ on siis sekä voimaan että kuormaan nähden sama. Työ, jonka voima on toimittanut, on vähentymättömänä tullut kuorman hyväksi, olemme vaan pyörästön avulla jakaneet tämän työn toisella tavalla, olemme tyytyneet puoleen matkaan voidaksemme nostaa kaksinkertaisen kuorman. Koska emme ole voineet luoda lisää työtä, niin emme ole luoneet lisää voimaakaan. Olemme vain saaneet uuden todistuksen energian eli, niinkuin tässä mieluummin sanoi-



Kuva 26. Kiinteä ja liikkuva väkipyörä.

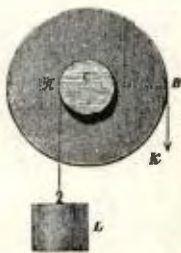


Kuva 27.
Talja.

simme, työn häviämättömyydelle. Tämä työn häviämättömyyden laki toteutuu kaikissa koneissa; käytetty työ voi kyllä jakautua useampiin osiin, jakautua eri lailla, vaan lisää työtä ei mikään kone voi luoda.

Toinen yleisesti käytetty pyörästö on talja. Sen rakennus lienee niin yleisesti tunnettu, ett'emme tässä tarvitse^o sitä selittää. Myös tässä koneessa huomataan äskenen tulos oikeaksi mitä käytetyn ja voitetun työn suuruuteen tulee.

Tarkastetaan vielä tasapainoehdot siinä tapauksessa, että voima ja kuorma vaikuttavat eri suuriin pyöriin, jotka ovat kiinnitetyt samaan akseliin. Pienemmän pyörän asemasta voi myös käyttää suuremman akselia, jos akseli on pyöreä, telamainen. Kiinnitetään molempiin, sekä pyörään että telaan, yhtä suuret painot molempien ympäri vastakkaisiin suuntiin kierrettyillä nuorilla. Ei saada tasapainoa; pyörään kiinnitetty paino painuu, telaan kiinnitetty nousee. Olkoon pyörän säde esim. kaksi kertaa telan säde. Silloin on pyörän kehä myös kaksi kertaa telan kehä. Koska molemmat pyörivät kerran ympäri samassa ajassa, purkautuu pyörän kehältä kaksi kertaa niin pitkältä nuoraa kuin telan kehälle kiertyy nuoraa. Pyörän kehään kiinnitetty paino painuu kaksi kertaa sen matkan, minkä telan kehään kiinnitetty nousee. Pyörään kiinnitetyn painon, voiman, luovuttamasta työstä on ainoastaan puolet tullut kuorman hyväksi käytetyksi, toinen puoli työstä kuljettaa pyörässä riippuvaa painoa yhä kiihtyvällä liikkeellä maata kohti. Tasapaino syntyy siis vasta silloin, kun telaan kiinnitetty paino on kaksi kertaa niin raskas kuin pyörään kiinnitetty. Ylipäänsä on tasapaino olemassa, kun kertomalla voima pyörän säteellä ja kuorma telan säteellä saadaan sama tulo. Tällaista pyörää ja telaa, *telaratasta*, käytetään moneen tarkoitukseen. Pyörän sijasta käytetään tavallisesti ristiin pantuja tankoja, kuten vintturissa, tai vaan yhtä ainoata pyörän säteeksi



Kuva 28. Telaratas.

asetettua vapaasta päästään suorakulmaisesti taivutettua tankoa, kampia, kuten ankkuripelissä laivoissa, veden nostamiseen kaivoista, monissa laitoksissa, joissa on voitettava telan pinnalla vaikuttava vastus, kuten tahkossa, kahvimyllyssä y. m.

Äskeisen yksinkertaisen koneen, telarattaa, voimme tehdä vieläkin yksinkertaisemmaksi. Ajattelemme kummankin pyörän asemasta vaan yhden säteen asetettuina vastakkaisiin suuntiin. Myös nuoran jätämme pois ja kiinnitämme painot välittömästi säteiden päätepisteisiin. Näin saamme *vipuvarren*. Vipubarren tasapainoehto seuraa välittömästi telarattaa tasapainolaista. Vipu on tasapainossa, jos kertomalla voima varrellaan ja kuorma varrellaan saadaan sama tulos. Tässä oletamme, ettei vipuvarsi itse paina mitään. Oikeastaan on kumpaankin tuloon vielä lisättävä varren paino kerrottuna varren painopisteen ja vivun tukipisteen välimatkalla ja näin saatujen summien tulee olla yhtäsuuret.

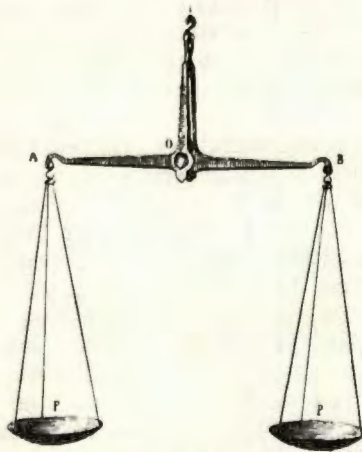
Vivun käytäntö eri tarkoituksiin on niin yleinen, että jokapäiväisessä elämässä tuskin tulisimme toimeen ilman sitä. Sitä käytetään painojen nostamiseen. Kun työmies haluaa nostaa raskasta kiveä, pistää hän rautatangon pään kiven alle, lähelle tätä päätä pienen kiven tukipisteeksi tangon alle ja painaa tangon toista päätä alas. Voi hän menetellä toisinkin. Hän sovittaa tangon kiven alle niin, että kivi painaa tankoa läheltä sen maata vastaan tuettua päätä ja sitten nostaa hän



Kuva 29. Kaksivartinen vipu.



Kuva 30. Yksivartinen vipu.



Kuva 31. Vaaka.

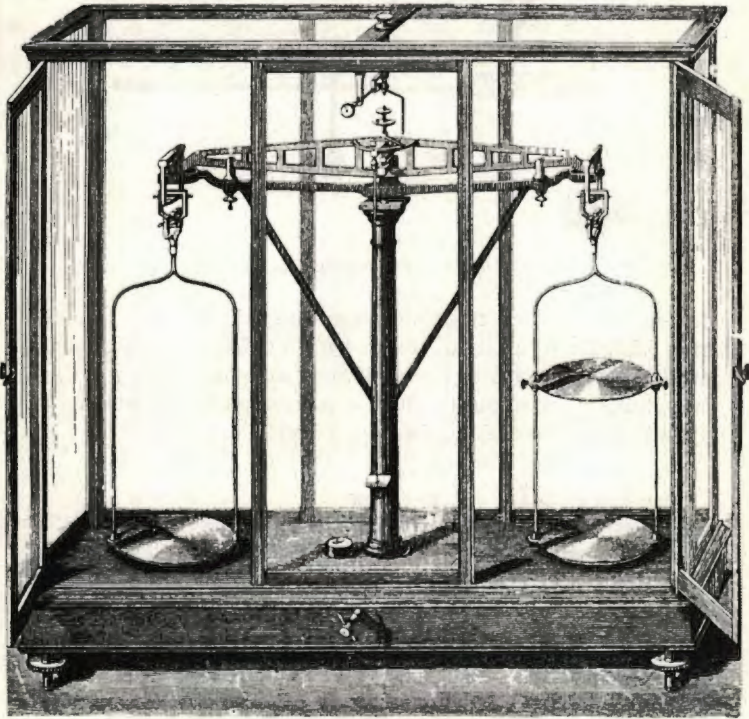
tangon toista päätä. Tällaista vipua sanotaan yksivartiseksi. Sen tukipiste on yhdessä päässä ja sekä voima että kuorma vaikuttavat samalla puolen tukipistettä, vaan vastakkaisiin suuntiin. Työmiehen ensimmäinen vipu on kaksivartinen. Koneissa käytetään vipua mitä erilaisimmissa muodoissa, hammasrattaatkin ovat vipuja, joiden varret ovat säteen pituiset. Useissa työkaluissa tulee vipu käytäntöön. Hohditimet, pihdit, sakset ovat vipuja.

Erittäin tärkeä käytäntö on vivulla vaakoja rakennettaessa.

Vaaka on siksi tärkeä kone sekä jokapäiväisessä elämässä että tieteissä, että on syytä sitä lähemmin tarkastaa. Vaaka on ollut tunnettu vanhimmista ajoista; vanhoissa egyptiläisissä piirroksissa tavataan se kuvattuna. Aikojen kuluessa on vaakakin rakenteeseensa nähden kehittynyt niin, että karkearakenteisen taloudessa käytetyn vaa'an ja tarkimpiin tieteellisiin tutkimuksiin käytetyn vaa'an välillä on olemassa tuskin muuta yhtäläisyyttä kuin itse periaate.

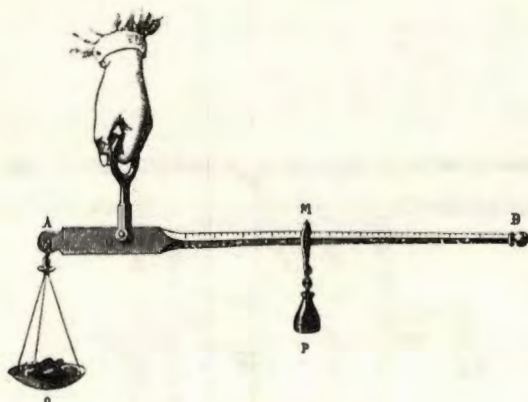
Jokaiseen vaakaan kuuluu vaa'an selkä, joka on vipuvarsi. Vaa'an selkä on silloinkin, kun vaaka ei ole kuormitettu, oleva vakaassa tasapainoasemassa, sillä muutoin vaaka pienimmästäkin sysäyksestä menisi nurin tai myös pysyisi asemassa missä hyvänsä. Vaa'an selän tulee kuormittamattomanaakin asettua määrättyyn asemaan. Osoittamaan tätä asemaa on vaa'an selkä varustettu erityisellä laitoksella, jolla kulla kärjellä tai merkillä, jonka tulee asettua vaakaa kannattavassa pylväässä tai ripustuslaitoksessa löytyvän merkin kohdalle. Vaakoja on käytännössä monella eri tavalla rakennettuja. Otamme puheeksi muutamia. Tavallinen kaksivartinen vaaka on vaaka, jonka varret ovat yhtäpitkät, varsien

molemmissa päissä riippuvat vaakakupit, keskellä selkää on tukipisteen kohdalla kiinnitetty vaa'an kieli. Sen pystysuora asema näyttää, että selkä on vaakasuora. Puntari on myös kaksivartinen vipu. Sen yhteen päähän ripustetaan punnittava



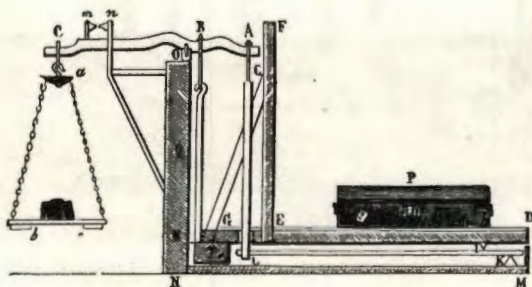
Kuva 32. Tarkkoja punnitsemisia varten rakennettu vaaka.

esine. Puntarissa ei käytetä punnuksia, vaan tukipistettä siirtämällä saadaan punnittava esine ja puntarin toisen varren paino tasapainoon. Puntarin varsi on kokeellisesti pykälöity niin, että kutakin pykälää vastaa määrätty puntarin koukuun ripustettu paino, kun tukipiste asetetaan tämän pykälän kohdalle. Pikavaaka eli roomalainen vaaka on puntarin ta-



Kuva 33. Roomalainen vaaka.

painen vaaka. Sen tukipiste on kumminkin kiinteä. Punnittava kappale ripustetaan toisen varren päähän ja toista vartta pitkin siirretään vastapainoa kunnes tasapaino syntyy. Varsi on pykälöity kuten puntarinkin ja esineen paino löydetään siitä pykälästä, johon vastapaino on siirretty.



Kuva 34. Kymmenysvaaka.

Kun raskaita esineitä on punnittava, ei puntari eikä pikavaaka ole sopiva. Niitä näet pidetään punnittaessa tavallisesti kädessä. Ei tavallinen tasavartinen vaakakaan ole mukava, sillä siihen tarvitaan tässä tapauksessa suuri määrä ja raskaita punnuksia. Tällaisessa tapauksessa käytetään mie-

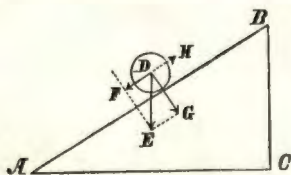
luummin *kymmenys*-(desimali-) vaakaa tai *sentesimali*-vaaka. Kymmenysvaaka on niin rakennettu, että tarvitaan punnuksia vain kymmenesosa kappaleen painosta, sentesimali-vaa'assa vain sadasosa. Käyttämällä vipuja, joiden varret ovat eri pitkät voi vaa'an näin rakentaa.

Jotta vaaka olisi kelvollinen tarkoitukseensa, vaaditaan, että vaaka on o i k e a. Sillä tarkoitetaan sitä, että vaaka ilmaisee punnittavan esineen painon sellaiseksi kuin se on, ei suuremmaksi eikä pienemmäksi. Voi pi jotenkin yksinkertaisella tavalla tutkia, onko vaaka oikea. Menettely, tareraus, tapahtuu seuraavalla tavalla. Yhteen vaakakuppiin pannaan mielivaltainen kappale ja toiseen esim. hienoa hiekkaa kunnes vaaka on tasapainossa. Sitten vaihdetaan esine siihen vaakakuppiin, jossa hiekka oli, ja hiekka siihen vaakakuppiin, missä esine oli. Jos vaaka nytkin on tasapainossa, on vaaka oikea. Että näin voimme koettaa, onko vaaka oikea, käy selville tarkastamalla, mitkä syyt vaikuttavat sen, että vaaka ei ole oikea. Sen vaikuttaa: varret eivät ole yhtä pitkät, varret eivät paina yhtä paljon, varsien painopisteet eivät ole yhtä kaukana tukipisteestä, vaakakupit eivät ole yhtä raskaat. Kun vaaka ei ole kuormitettu, voivat viat kumota toisensa ja vaa'an selkä olla vaakasuora, mutta kun vaaka kuormitetaan ja sitten kuormat vaihdetaan, niin todenmukaisuus, että viat silloinkin kumoavat toisensa, on hyvin vähäinen ja, jos silloin viat ovat sellaiset, että ne silloinkin kumoavat toisensa, niin ne tekevät sen aina ja vaaka antaa oikean punnitsemistuloksen näistä vioista huolimatta.

Vielä tulee vaa'an olla h e r k k ä, s. o. sen tulee pienistäkin lisäpainoista toisessa vaakakupissa kallistua sille puolelle. Olisi turhaa käyttää jokapäiväisessä elämässä yhtä herkkiä vaakoja kaikkiin punnitsemisiin. Vaa'an herkkyys sovitetaan sen tarkoituksen mukaan, johon vaakaa on käytettävä. Tarkoissa tieteellisissä punnitsemisissä täytyy vaa'an herkkyyden olla noin yksi miljonasosa suurimmasta kuormituksesta, joka on sallittu käyttää vaa'assa. Siis, jos suurin kuormitus on 100 gr, näyttää vaaka $\frac{1}{10}$ mgr painoneron. Oikeastaan olisi kappale punnittava ilmatomassa tilassa, sillä niinkuin saamme nähdä on kappale ilmassa kevyempi kuin ilmatomassa tilassa. Tämä painon vähentyminen on mitä

kiinteisiin kappaleisiin ja nesteisiin tulee niin vähäinen, korkeintaan noin $\frac{1}{600}$ kappaleen painosta, että sen voi jättää huomioonottamatta. Tarkoissa punnitsemisissä se kyllä otetaan huomioon tai rakennetaan vaaka niin, että punnitseminen voi todella tapahtua ilmattomassa tilassa.

Vaakasuoralle pinnalle asetettu kappale, esim. pallo, pysyy paikallaan ilman mitään pidättävää voimaa, koska painovoima vaikuttaa kohtisuoraan pintaa vastaan. Jos taas kappale asetetaan kaltevalle pinnalle, niin se kierii tai liukuu pintaa alas. Syy siihen on se, että painovoima ei ole kohtisuora pintaa vastaan, ja voimme siis jakaa sen kahteen komponenttiin, joista toinen on kohtisuora pintaa vastaan ja toisella on joku toinen suunta esim. pitkin pintaa.



Kuva 35. Kalteva pinta.

Edellinen painaa kappaletta pintaa vastaan eikä aikaansaa mitään liikettä, mutta jälkimmäinen ei ole kumottu ja saa siis kappaleen liikkumaan pintaa myöten alas. Pidättämään kappaletta

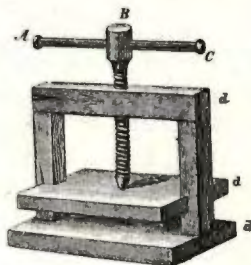
pinnalla tarvitaan tämän komponentin vastainen ja sen suuruisen voima. Sen voimme saada esim. niin, että kiinnitämme kappaleen lankaan, tämän langan panemme pinnan korkeimpaan pisteeseen asetetun kiinteän väkipyörän yli ja langan toiseen päähän painoja kunnes kappale pysyy paikallaan. Jos teemme kokeita samalla kappaleella, mutta annamme eri kaltevuuden pinnalle, niin huomaamme, että tarvitaan eri suuri voima pitämään kappaletta pinnalla. Voima suurenee sen mukaan kuin pinnan kaltevuus kasvaa. Kun pinnan kalteuskulma on esim. 30° , on voima puolet kappaleen painosta, kun kulma on 60° , on voima lähes $\frac{9}{10}$ painosta ja vihdoin, kun kulma on 90° s. o. pinta on pystysuora, on voima kappaleen painon suuruisen. Kaikki tämä sillä edellytyksellä, että kitkaa ei oteta huomioon. Jos näissä eri tapauksissa mitaamme kaltevan pinnan pituuden sen ylimmästä pisteestä aina vaakasuoraan tasoon ja samoin sen korkeuden kohtisuoraan ylimmästä pisteestä vaakasuoraan tasoon, niin huomaamme, että korkeus on niin mones osa pituudesta kuin

voima on kuormasta, kappaleen painosta. Tämä on tasapainoehto kaltevalla pinnalla, kun voima vaikuttaa pitkin kaltevaa pintaa.

Jos kappale saa vapaasti kieriä pintaa alas, niin liikkuu se tasaisesti kiihtyvällä liikkeellä, koska muuttumaton jatkuva voima, osa kappaleen painosta on syynä liikkeeseen. Liike ei kumminkaan ole yhtä nopea kuin kappaleen vapaasti putoaminen. Kuta loivempi pinta on, sitä hitaampi on liike. Liikkeen laatu on kumminkin vallan samanlainen kuin putousliikkeen. Olemme jo kertoneet Galilein kokeista, joilla hän kaltevalla pinnalla todisti putousliikkeen lait. Kaltevalla pinnalla kappaletta pidättävä voima voi vaikuttaa myös vaakasuoraan suuntaan. Kokeilla voimme silloinkin löytää tasapainolain. Kappale on tasapainossa, kun voima on niin mones osa kuormasta kuin kaltevan pinnan korkeus on kaltevan pinnan asemasta s. o. vaakasuoraan suuntaan lasketusta pinnan ylimmän ja alimman pisteen välistä.

Kaltevaa pintaa tapaamme jokapäiväisessä elämässä paljonkin. Jokainen mäki on kalteva pinta, jokainen viistoon asetettu lauta, jota pitkin kappaletta vieritetään tai työnnetään, on kalteva pinta, rakennusten vesikatto on kalteva pinta. Suurin käytäntö kaltevalla pinnalla on kumminkin ruuvissa ja telkkimessä eli kiilassa.

Ruuvi on vanha keksintö. Platon (†347 e. Kr.) kertoo, että *Arkhytas* Tarentosta on ruuvin keksijä. Kuuluisa Arkimedes käytti ruuvia monelle tavalla. Leikataan vaikkapa paperista suorakulmainen kolmio ja kierretään se telan (sylinderin) ympäri niin, että yksi suoran kulman viereinen sivu aina seuraa telan pohjan kehää. Suoran kulman vastainen sivu muodostaa silloin telan ympärille ruuviviivan. Jos telan pinta ruuviviivan kierteidenväliltä uurretaan syvemmälle niin, että ruuvi muodostaa harjan telan ympäri, on ruuvi valmis. Ruuviin kuuluu vielä n. s. ruuvimutteri, kappale, jonka läpi on tehty reikä, minkä sisäseinässä on sama ruuvi-kierte kuin ruuvissakin. Ruuvia mut-



Kuva 36. Ruuvi.

tereineen käytetään joko niin, että ruuvi on kiinteä ja mutteri liikkuva, tai päinvastoin. Olkoon mutteri kiinteä ja ruuvi asetettu pystysuoraan. Jos painamme ruuvin päätä alas panemalla sen päälle kuorman, niin ruuvi kiertyen mutterissaan alkaa painua alaspäin, tietysti edellytyksellä, että kitkaa ei olisi. Pidättääksemme ruuvia paikallaan, täytyy meidän kiertää sitä vastakkaiseen suuntaan. Tarvittavan voiman löydämme helposti. Jokainen ruuvin kierros on kalteva pinta, jonka asema on ruuvitelan kehän pituinen ja korkeus ruuvivikierroksen korkeus n. s. ruuvin nousu. Ruuvia painava kuorma pyrkii liukumaan pitkin tätä kaltevaa pintaa ja ruuvia pidättävä voima vaikuttaa pitkin kaltevan pinnan asemaa. Siis voima on niin mones osa kuormasta kuin ruuvin nousu on ruuvin kehästä. On siis voimaan nähden edullista käyttää ruuvia, jolla on pieni nousu ja suuri kehä. Mutta kuta pienempi nousu on kehään verrattuna, sitä hitaammin nousee kuorma, jos ruuvia käytetään, kuten usein tehdään, kuorman nostamiseen. Näemme siis kuinka kaltevaa pintaakin käytettäessä voimme jakaa voiman toimittaman työn mieleemme mukaan.

Ruuvin käytäntö on varsin yleinen. Sitä käytetään puristuksen aikaansaamiseen kuten kopiopuristimessa, höyläpenkissä, mehun puristamiseen viinirypäleistä, öljyn puristamiseen siemenistä y. m. Sitä käytetään raskaiden esineiden nostamiseen, esineiden kiinnittämiseen toisiinsa, pyörittämään hammasrattaita siten, että rattaan hampaat tarttuvat ruuvin kierteisiin (n. s. päättymätön ruuvi) j. n. e. Jos ruuvi tehdään erittäin huolellisesti niin, että ruuvin nousu pitkin koko ruuvia on vallan yhtä suuri, niin voi ruuvia käyttää tarkkojen mittauksien toimittamiseen. Joka kierroksella siirtyy mutteri, jos se on liikkuva, tai ruuvi itse, jos mutteri on kiinteä, saman matkan, nimittäin ruuvin nousun. Ruuvin päähän kiinnitetään pyörä, jonka kehä on jaettu esim. 100 yhtä suureen osaan. Jos pyörää kierretään yksi tällainen osa, niin siirtyy mutteri tai ruuvi $\frac{1}{100}$ noususta; esim. nousun ollessa 1 mm. voi ruuvilla mitata 0,01 mm. Tällaista ruuvia nimitetään *mikrometriruuviksi*.

Jos kaksi kaltevaa pintaa asetetaan asemat vastakkain, syntyy *telkin* eli kiila. Telkintä käytetään, kuten tunnettu, esineiden halkaisemiseen, kahden esineen välin laajentamiseen

j. n. e. Telkkimeen vaikuttaa voima telkkimen päähän, kohtisuorasti sitä vastaan ja yhdensuuntaisesti kaltevien pintojen yhteisen aseman kanssa. Halkaistavan esineen vastus vaikuttaa molempiin kalteviin pintoihin kohtisuorasti niitä vastaan. Tämän vastuksen voimme kummallakin pinnalla jakaa kahteen komponenttiin, joista toinen on kohtisuora yhteistä asemaa vastaan, toinen aseman suuntainen telkkimen päähän päin. Nuot asemaa vastaan kohtisuorat komponentit puristavat vain telkintä eivätkä estä sen tunkeutumista kappaleeseen. Aseman suuntaiset komponentit ajavat telkintä ulos kappaleesta ja tulee siis tasapainotilassa päähän vaikuttavan voiman olla yhtä suuri kuin näiden komponenttien summa. Kuta terävämpi telkin on, sitä pienemmät ovat vastustavat komponentit, sitä pienempi voima tarvitaan ajamaan telkintä kappaleeseen, mutta sitä lyhemmän matkaa poistuvat halkaistavan kappaleen osat toisistaan telkkimen tunkeutuessa kappaleeseen. Siis tapaamme tässäkin voiman toimittaman työnjaon. Telkkimiä ovat kaikki teräaseet: sakset, kirves, veitsi, höylä y. m.



Kuva 37.
Telkin.

Tarkastaessamme yksinkertaisia koneita olemme jättäneet *kitkan* (friktionin) huomioonottamatta. Käytännössä ei kumminkaan voi niin tehdä. Kitka on se vastus, mikä syntyy, kun kappaleen pinta liukumalla tai vierimällä liikkuu toisen kappaleen pintaa pitkin. Syynä kitkaan on etupäässä se seikka, että tasaisimmassakin pinnassa aina on epätasaisuuksia, jotka tarttuvat toisiinsa pintojen liukuessa tai vieressä. Pintojen adhesionin vaikutus on tässä häviävän vähäinen.

Liukumiskitkan suuruus on riippuva siitä painosta, millä pintoja puristetaan vastakkain, mutta on painon ollessa sama riippumaton liukuvan pinnan suuruudesta. Vierimiskitka kasvaa myös samassa suhteessa kuin paino pintaa vastaan, mutta vähenee kierivän kappaleen halkaisijan suuretessa. Kitkan suuruutta ilmoitetaan n. s. kitkakerroksella, jolla, joka lausuu, kuinka suuri osa painosta tarvitaan voimana kitkan voittamiseen. Tarvittava voima on riippuva pintojen aineellisesta laadusta ja niiden valmistustavasta. Liukumiskitkan vähentämiseen käytetään, kuten tunnettu, pintojen voitele-

mista öljyllä tai jollakin rasva-aineella. Silloin voide estää pintoja välittömästi koskettamasta toisiinsa, mutta kitkaa on kumminkin olemassa sittenkin voideaineen eri kerrosten välillä, n. s. sisällinen kitka. Kun liukuva tai vierivä pinta on saatu liikkeeseen, niin kitka on pienempi kuin lepotilassa. Mainittakoon tässä muutamia lukuja kitkasta. Kahden kiillotetun metallipinnan välillä on liukumiskitka 0,15—0,25 pintoja puristavasta painosta, voideltujen pintojen välillä 0,11—0,15, liiketilassa 0,06—0,08. Vierimiskitka hyvällä viertotiellä pyörin halkasijan ollessa 1 m noin $\frac{1}{40}$, rautatiekiskoilla noin $\frac{1}{200}$.

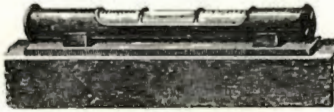
Kitkan olemassa olo on meille suureksi hyödyksikin, vaikka usein kyllä mielellämme olisimme sitä ilman. Ellei kitkaa olisi, emme voisi kiinnittää esineitä toisiinsa nauloilla, naulat luisuaisivat heti ulos rei'istään, emme voisi nuoralla sitoa esineitä toisiinsa, emme voisi jarruttaa junaa j. n. e. Emme voisi itsekään käydä askeltakaan, ellei kitkaa olisi, ei mikään kappale pysyisi pöydällä, ellei pöytä olisi vallan vaakasuora.

VI.

Nesteiden tasapaino. Nesteen vapaa pinta. Paineen leviäminen nesteissä. Vesipuristin. Pohjapaine. Yhtyvät putket. Astian seiniä vastaan kohdistuva paine. Turbiinit. Paine ylöspäin. Arki-medeen laki. Kappaleiden ominaispaino. Areometrit. Nesteen pinnan muoto lähellä astian seinää. Kohesionipaine. Hiusputket.

Kun kiinteä kappale on tasapainossa, niin kappaleen osatkin ovat tasapainossa huolimatta siitä, mikä asema osilla on niihin voimiin nähden, jotka pitävät kappaletta tasapainossa, sillä kiinteän kappaleen osat riippuvat kiinni toisissaan siksi lujasti, että kappale säilyttää muotonsa ylipäänsä muuttumattomana, osien keskinäinen asema on riippumaton koko kappaleen asemasta. Kuormitetun vaa'an eri osat ovat tasapainossa, vaikka vaaka on tuettu yhdessä ainoassa pisteessä, kaltevalla pinnalla olevan kappaleen osat ovat tasapainossa huolimatta siitä, mikä muoto kappaleella on j. n. e. Kiinteiden kappaleiden tasapainoa tarkastaessamme olemme voineet tästä syystä pitää koko kappaletta yhtenä ainoana painollisena pisteenä.

Näin ei ole nesteiden laita. Nesteiden osat ovat toisissaan siksi löyhästi kiinni, että, joskin nestemäärä kokonaisuudessaan on levossa, sen osat siirtyvät toistensa ohi ja tulevat lepoon vasta sitten, kun kuhunkin osaan vaikuttavien ulkonaisien voimien resultantti on nolla. Voimme sanoa näinkin: kiinteä kappale on kokonaisuudessaan tasapainossa, jos yhteen ainoaan kappaleen osaan vaikuttavien ulkonaisien voimien resultantti on nolla, sillä kappaleen sisälliset voimat sitovat muutkin osat tähän osaan siksi lujasti, että nekin ovat tasapainossa; sitävastoin nesteen sisälliset voimat eivät riitä tähän.



Kuva 38. Vesivaaka.

Painovoima vaikuttaa tietysti nesteisiin kuten kiinteisiinkin kappaleihin. Nesteillä on painonsa, jonka löydämme punnitsemalla. Punnitsemisen täytyy tietysti tapahtua astiassa.

Kiinteän kappaleen pinta voi olla missä asemassa hyvänsä painovoimaan nähden. Niin ei ole nesteen laita, sillä nesteen kohesioni ei riitä pitämään nesteen osia koossa, vaan liukuvat ne painovoiman vaikutuksesta alaspäin alla olevien osien yli kuten kaltevaa pintaa myöten. Tasapainoon tulevat osat vasta silloin, kun nesteen vapaa pinta on kaikkialla kohtisuora luotiiviivaa vastaan s. o. vaakasuora. Silloin alla olevien osien vastus estää pinnalla olevia osia liikkumasta alaspäin. Tasapainossa olevan nesteen vapaa pinta osoittaa siis vaakasuoraa suuntaa. Tähän seikkaan perustuu n. k. vesivaaka (libelli), jolla tutkitaan onko joku viiva tai pinta vaakasuora. Se on lievästi kaareva putki, jonka molemmat päät ovat kiinnitetyt putken kehyksen pohjaan. Putki on täytetty alkoholilla niin, että vain pieni ilmakupla jää putkeen. Tämä kupla pyrkii aina putken ylimpään pisteeseen. Jos kupla on keskellä putkea, on kehyksen pohja vaakasuora.

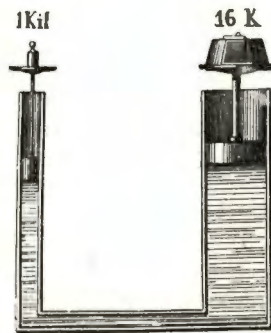
Jos nesteen pinnalla on vähäinen ulottuvaisuus, kuten astiassa olevan nesteen pinnalla, voimme pintaa pitää tasapintana, vaikka sekin on oikeastaan osa pallon pinnasta, jonka säde on pinnan etäisyys maan keskipisteestä. Suuremmissa nestepinnoissa sitävastoin on kaarevuus helposti huomattavissa. Näemmehän meren rannasta poistuvan laivan vähitellen katoavan meren pinnan taakse.

Nesteiden osien herkkäliikkeisyys on myös syynä siihen, että ulkonaisen paineen vaikutus nesteisiin on vallan erilainen kuin kiinteisiin kappaleihin. Jos ulkonainen paine vaikuttaa kiinteään kappaleeseen, niin tuntuu paine ainoastaan siihen suuntaan, johon se vaikuttaa. Kun vasaralla lyömme naulan päähän, niin lyönti ei tunnu naulaa pitäviin sormiin, ainoastaan heikon tärähdyksen tunnemme. Kun höyläpenkkiin ruuvilla puristamme laudan kiinni, niin ruuvin puristus ei tunnu muualla laudan pinnalla kuin ruuvin kohdalla j. n. e. Jos sitävastoin höyläpenkin ruuvilla puristamme esim. hienolla hie-

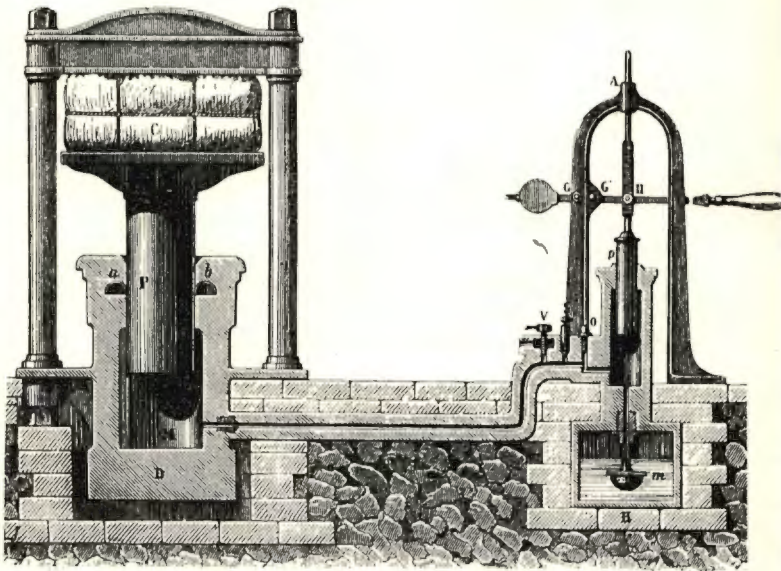
kalla täytettyä säkkiä, niin näemme säkin laajenevan sivuillekin päin sen puristuessa kokoon. Säkissä oleva hiekka ei ole yksi ainoa kiinteä kappale, hiekkajyvät voivat sen löyhän yhteyden vuoksi, joka niiden välillä on, siirtyä ei vain puristavan ruuvin suuntaan, vaan kaikkiin suuntiin, työntäen toisia jyviä edellään, kunnes vihdoin jyvät painavat säkkiäkin kaikkiin suuntiin. Samoin on nesteidenkin laita. Nestettä puristava paine leviää kaikkiin suuntiin muuttumattomana s. o. jokaista yhtäsuurta pintaa, olkoonpa pinta astian pohjalla, seinällä, kannella tai nesteen sisällä, painaa aina sama paine, jonka paineen suuruus riippuu pinnan suuruudesta ja nestettä puristavasta voimasta. Tämän tärkeän lain keksi luultavasti alankomaalainen *Stevin* († 1620), mutta käy se yleensä ranskalaisen *Pascalin* († 1662) nimellä.

Pascalin lakiin perustuu n. k. *vesipuristin* (hydraulinen puristin). Pääpiirteissään on se rakennettu seuraavalla tavalla. Laaja ja ahdas sylinterin muotoinen astia ovat yhdistetyt putkella. Molemmissa on vettä pitävä mäntä ja mäntien väli täytetty vedellä. Jos mäntää ahtaammassa sylinterissä painetaan alas, leviää paine vedessä kaikkiin suuntiin. Paine nostaa mäntää laajemmassa sylinterissä. Olkoon ahtaamman sylinterin männän pinta esim. 1 cm^2 ja painettakoon sitä 10 kg:n voimalla. Jokaista neliösentimetriä laajemman sylinterin männän pinnalla painaa 10 kg ylöspäin. Jos männän pinta on 1 dm^2 , on koko paine mäntää vastaan $1,000 \text{ kg}$. On selvä, että laajemman sylinterin mäntä ei nouse saman verran kuin ahtaamman painuu alas. Esimerkissämme nousee se vain sadannen osan siitä, minkä toinen painuu. Työ molemmissa sylintereissä on sama. Konetta käytetään puristamiseen, raskaiden painojen nostamiseen, aineksien kestävyuden koettelemiseen y. m.

Samoin kuin ulkonainen paine leviää nesteessä, leviää siinä myös se paine, jonka nesteen oma paino aikaansaa. Koska ylemmät nesteerrokset painavat alempia, niin



Kuva 39. Vesipuristin.

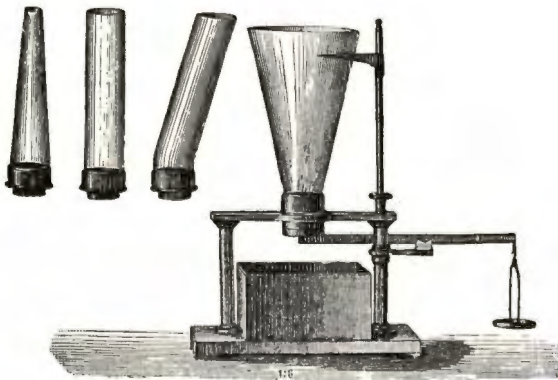


Kuva 40. Vesipuristin.

kasvaa tämä paine pinnalta alaspäin ja on suurin pohjalla. Ajattelemmes nestepylvään pinnalta pohjaan saakka jaetuksi vaakasuorilla pinnoilla yhtä korkeisiin pylväihin. Kunta syvemmillä nesteessä tällainen pinta on, sitä suurempi on nesteen paine sitä vastaan. Tarkastamme yhtä tuollaista pintaa. Koska pinnalla olevat nesteosat ovat tasapainossa, täytyy paineen jokaisessa pinnan pisteessä olla yhtä suuri. Paine jokaista yhtä suurta pinnan osaa, esim. neliösentimetriä, kohti on siis kaikkialla tällä pinnalla sama. Rajoitamme pinnasta neliösentimetrin suuruisen osan sellaisella paikalla, että osan rajaviivoja kohtaavat luotiviivat leikkaavat nesteen vapaata pintaa. Rajoitettua pintaosaa painaa siis nestepylväs, jonka pohja on 1 cm^2 ja korkeus pinnan etäisyys nesteen vapaasta pinnasta. Jos mittamme tämän etäisyyden, painekorkeuden, senttimetreissä, saamme pylvään kuutiosisällön kuutiometriinä ja vihdoinkin pylvään painon grammoina, kun tunnemme, mitä 1 cm^3 nestettä painaa. Paine jokaiselle neliösentim-

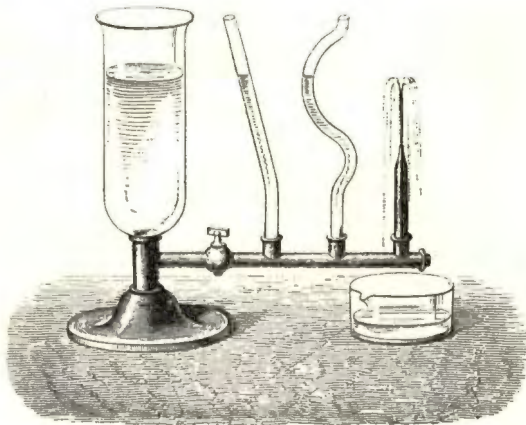
metrille tällä pinnalla on samanlaisen nestepylvään paino. Paine koko pintaa vastaan on kaikkien näiden pylväiden painojen summa. Summa on selvästi sen nestepylvään paino, jolla on koko pinta pohjana ja painekorkeus korkeutena. Paine on siis kokonaan riippumaton nesteen muodosta tarkastetun pinnan yläpuolella, on vallan yhdentekevä, onko astialla kaikkialla aina nesteen pintaan saakka sama läpileikkaus, laajeneeko astia vai suippeneeko se ylöspäin. Paine pohjaakin vastaan on siis astian muodosta riippumaton ja on se suuruudeltaan sen nestepylvään paino, jolla on pohja pohjana ja painekorkeus korkeutena. Tämä Stevinin v. 1586 keksimä laki näyttää ehkä ensi silmäyksellä oudolta. Onhan omituista, että nestemäärä, joka punnittuna painaa esim. 100 gr, kaadettuna erimuotoisiin astioihin, joilla vaan on yhtä suuri pohja, painaa pohjaa painolla, joka on yli, alle tai juuri 100 gr, riippuen siitä, kuinka korkealle neste kussakin astiassa siihen kaadettuna nousee. Tämä ilmiö saikin ennen aikaan nimen »hydrostatinen paradoksi» s. o. nesteiden tasapainoa koskeva luulonvastainen seikka. Kuitenkin on ilmiö vallan luonnollinen seuraus Pascal'in laista.

Kokeellisesti voi Stevinin lain todistaa seuraavalla tavalla. On teline, johon voi vuorotellen ruuvata erimuotoisia astioita, sylinterin, ylöspäin laajenevan, ylöspäin suippenevan j. n. e.



Kuva 41. Pohjapaine erilaisissa astioissa.

Niillä on kaikilla pohjana vaa'an selän toiseen päähän kiinnitetty tasainen levy, jota vaa'an toisessa varressa riippuva vaakakuppi pitää tasapainossa. Vaakakuppiin pannaan punnuksia. Levy puristuu silloin astioiden pohjaksi. Astioihin kaadetaan vettä, kunnes vesi alkaa valua ulos astian ja levyn välistä. Kun valuminen lakkaa, mitataan painekorkeus. Huomataan sen olevan kaikissa astioissa sama. Jos punnitsemme kussakin astiassa olevan veden, niin ainoastaan sylinterin muotoisessa astiassa olevan veden paino on yhtäsuuri kuin pohja-

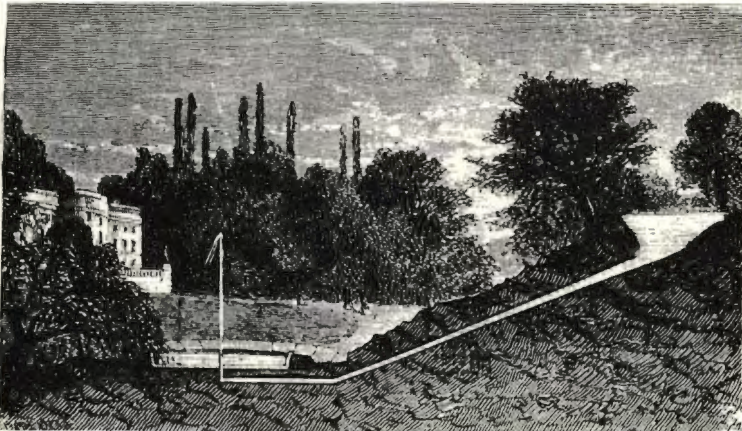


Kuva 42. Yhtyviä putkia, joissa on samaa nestettä.

paine. Ylöspäin laajenevassa on se suurempi, suippenevassa pienempi. Vallan toisin olisi pohjapaine, jos antaisimme astioissa olevan veden jäätyä, muuttua kiinteäksi. Silloin olisi paine levyä vastaan yhtäsuuri kuin jään todellinen paino; laajenevasta astiasta saadun jään suurempi, suippenevasta saadun pienempi kuin sylinteristä saadun.

Stevinin lain nojalla voimme pienellä nestemäärällä aikaansaada suuren paineen. Jos astia suljetaan tiiviillä kannella ja kanteen kiinnitetään hieno, pitkä putki sekä astia ja putki täytetään nesteellä, niin on paine astian pohjaa vastaan vallan sama kuin siinä tapauksessa, että astian seinät ulottuisivat putken yläpään saakka.

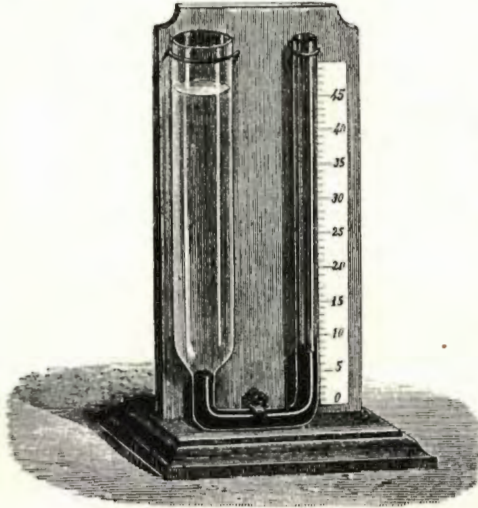
Seuraus Stevinin laista on myös se seikka, että nesteen pinta kahdessa tai useammassa yhtyvässä putkessa nousee yhtä korkealle, s. o. samaan vaakasuoraan tasoon saakka. Jos kaikki putket ajatellaan poikkileikatuiksi vaakasuoralla tasolla, on paine pintayksikköä kohti tällä tasolla jokaisessa putkessa yhtä suuri. Paine leviää nimittäin kustakin putkesta muihin putkiin painaen poikkileikkausta niissä ylöspäin. Koska poikkileikkauksella nesteosat ovat levossa, on paine molemmin puolin yhtäsuuri, josta seuraa, että nesteen täytyy kai-



Kuva 43. Vesijohto.

kissa putkissa olla yhtä korkealla lukien läpileikkaustasosta. Tällaisia yhtyviä putkia ovat vesijohtot. Vesijohdossa nousee vesi putkissa yhtä korkealle kuin pinta on säiliössä.

Jos yhtyviin putkiin kaadetaan ensin jotakin nestettä niin paljon, että se nousee jonkun verran kaikkiin putkiin ja sitten kaadetaan johonkin putkeen kevyempää nestettä, joka ei sekoitu edelliseen, niin nestepylväiden korkeudet nesteiden yhtymäpinnan kautta asetetusta vaakasuorasta tasosta lukien eivät ole yhtäsuuret, vaan on kevyempää nestettä oleva pylväs korkeampi. Ja niinhän täytyy ollakin, jotta paine rajapintaa vastaan molemmin puolin olisi yhtäsuuri jokaiselle pintayksikölle. Vesipylväs on 13,6 kertaa niin korkea kuin elohopeapylväs.

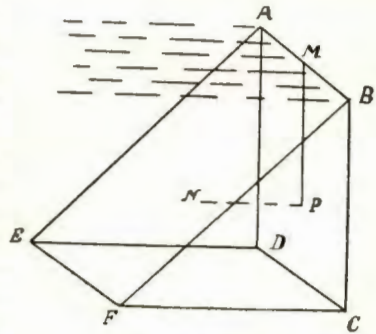


Kuva 44. Yhtyviä putkia, joissa on eri nesteitä.

kuinka kaukana nesteen pinnasta piste on. Paineen koko pinta vastaan löydämme seuraavalla tavalla. Jokaiseen pisteeseen seinällä rajoitetulla alalla piirrämme seinää vastaan kohtisuoran, jonka pituus on pisteen etäisyys nesteen pinnasta.

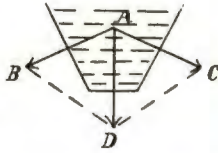
Asettamalla tason näiden kohtisuorien päätepisteiden kautta saamme kappaleen, jonka pohjana on rajoitettu ala seinällä. Tämän nestekappaleen paino on tietysti yhtä suuri kuin noiden äärettömän lukuisten alan yksityisiin pisteisiin vaikuttavien paineiden summa. Haemme kappaleen painopisteen ja vedämme siitä kohtisuoran seinää vastaan. Siinä pisteessä, missä kohtisuora kohtaa seinää, *paine-*

Paineen leviämisestä nesteissä seuraa myös, että neste painaa astian seiniäkin. Seiniin kohdistuva paine on kaikkialla kohtisuora sitä vastaan. Ellei niin olisi, liukuisivat nesteosat pitkin seiniä kuten kaltevalla pinnalla eikä neste olisi tasapainossa. Jos astian seinällä rajoitetaan joku ala, niin paine alan eri pisteissä on eri suuri aina sen mukaan

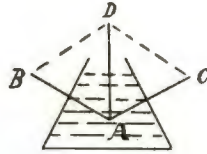


Kuva 45. ABCD astian seinä. N kappaleen ABCDEF painokeskus. P painokeskus.

keskuksessa, vaikuttaa koko paine alaa vastaan. Paineen suuruus on sen nestepylvään paino, jolla on rajoitettu ala pohjana ja alan painopisteen etäisyys nesteen pinnasta, n. s. keskipaine-



Kuva 46. AD sivupaineiden resultantti ylöspäin laajenevassa astiassa.



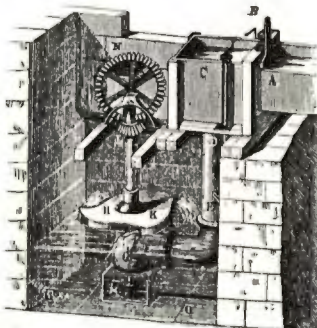
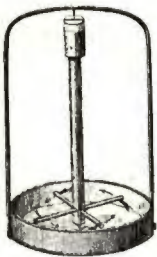
Kuva 47. AD sivupaineiden resultantti ylöspäin suppenevassa astiassa.

korkeus, korkeutena. Olkoon astian seinä suorakaide pystysuorassa asemassa. Painekekus on siinä tapauksessa suorakaiteen kahtia jakavalla korkoviivalla $\frac{1}{3}$ suorakaiteen korkeudesta pohjasta lukien. Paine seinää vastaan on $\frac{1}{2}$ siitä paineesta, joka painaisi suorakaidetta, jos se olisi astian pohjana.

Kun astian seinät ovat pystysuorat, on kaikkien seiniä vastaan kohdistuvien paineiden resultantti nolla ja pohjapaine on nesteen painon suurin. Kun astia laajenee ylöspäin, ovat paineet seiniä vastaan suunnatut viistoon alaspäin. Niiden kaikkien resultantti on suunnattu luotiviivaa pitkin alaspäin ja pohjapaineen ja seinäpaineiden summa on nesteen paino (kuv. 46). Astian supetessa ylöspäin ovat seinäpaineet suunnatut viistoon ylöspäin, niiden resultantti on suunnattu luotiviivaa pitkin

ylöspäin ja pohjapaineen ja seinäpaineiden ero on nesteen paino (kuv. 47). Siis taas todistus Stevinin laille.

Jos astian seinään tehdään reikä, niin paine seinää vastaan tällä kohdalla lakkaa, kun neste pääsee vir-



Kuva 48. Turbini.

taamaan ulos. Vastakkaisella seinällä on paine seinää vastaan sama kuin ennenkin. Jos astia voi vapaasti liikkua, niin lähtee se liikkeelle nestesuihkun vastakkaiseen suuntaan. Tähän seikkaan, ulosvirtaavan nesteen vastavaikutukseen, perustuvat muutamat n. s. *turbininit*. Ontosta akselista eroaa kohtisuorasti sitä vastaan putkia, joiden päät ovat taas taivutetut kohtisuorasti putkia vastaan, kaikki samannepäin. Kun akselin kautta virtaa vettä, alkaa turbini pyöriä putkien päistä virtaavien suihkujen vastaiseen suuntaan.

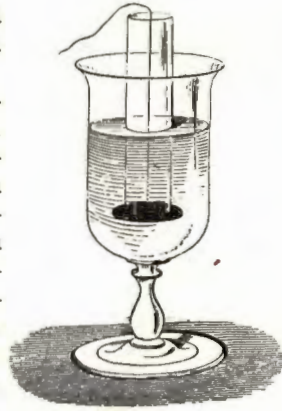
Kun neste virtaa ulos astian seinässä tai pohjassa olevasta aukosta, on ulosvirtausnopeus sitä suurempi kuin suurempi painekorkeus on. Nopeus on sama kuin vapaasti putoavan kappaleen, joka on pudonnut painekorkeuden pituisen matkan. Joissa ja puroissa liikkuu vesi niinkuin kappale, joka liukuu kaltevaa pintaa pitkin. Hankautuminen rantoja ja pohjaa vastaan estää kumminkin nopeuden kasvamista kovinkaan suureksi. Rannoilla ja pohjalla on nopeus pienin, saavuttaa jonkun matkaa rannasta ja pohjasta suurimman nopeuden ja on pinnalla hiukan pienempi.

Nesteen oman painon kautta syntynyt paine vaikuttaa ei ainoastaan alaspäin ja sivuille päin, vaan myös ylöspäin. Sen huomaamme, jos upotamme jonkun nestettä kevyemmän kappaleen nesteeseen. Kappale pyrkii nousemaan ylöspäin. Lasi, joka pohja edellä upotetaan veteen, puupala, korkki j. n. e. kaikki pyrkivät nousemaan ylös vedestä. Jos molemmista päistään avonaisen putken alapää suljetaan tasaisella levyllä, jota putken läpi pannulla rihmalla pidetään kiinni, niin voimme upotettuumme putken alapään veteen heittää rihman irti eikä levy putoa pois. Veden paine ylöspäin puristaa levyn kiinni putkeen. Tällä kokeella voi myös näyttää, kuinka suuri tämä paine on. Kaadetaan vettä myös putken sisään. Huomaamme, että levy irtautuu putkesta silloin, kun sisällä olevan nesteen pohjapaine ja levyn paine yhteensä ovat yhtäsuuret kuin sisällä olevan nesteen pohjapaine olisi, jos nesteen pinta sisällä olisi yhtä korkealla kuin ulkopuolella, tosin sanoen: ellei levy painaisi mitään, nousisi vesi sisällä yhtä korkealle kuin ulkopuolellakin, ennenkuin levy irtautuu. Paine ylöspäin levyä vastaan on silloin yhtä suuri kuin paine alaspäin. Siis on paine ylöspäinkin yhtä suuri kuin sen nestepyl-

vään paino, jolla on painettu pinta pohjana ja pinnan etäisyys nesteeseen vapaasta pinnasta korkeutena.

Otaksumme, että nesteeseen upotetaan kokonaan joku kappale, esim. kuutio, pohja vaakasuorassa asemassa. Tämän kappaleen pintaa painaa neste joka suunnalta. Paineet sivupintoja vastaan kumoavat toisensa parittain ollen yhtäsuuret ja vastakaiset. Paine alaspäin on sen nestepylvään paino, jolla on kuution ylempi pohja pohjana ja sen etäisyys pinnasta korkeutena. Paine ylöspäin on taas sen nestepylvään paino, jolla on kuution alempi pohja pohjana ja sen etäisyys pinnasta korkeutena.

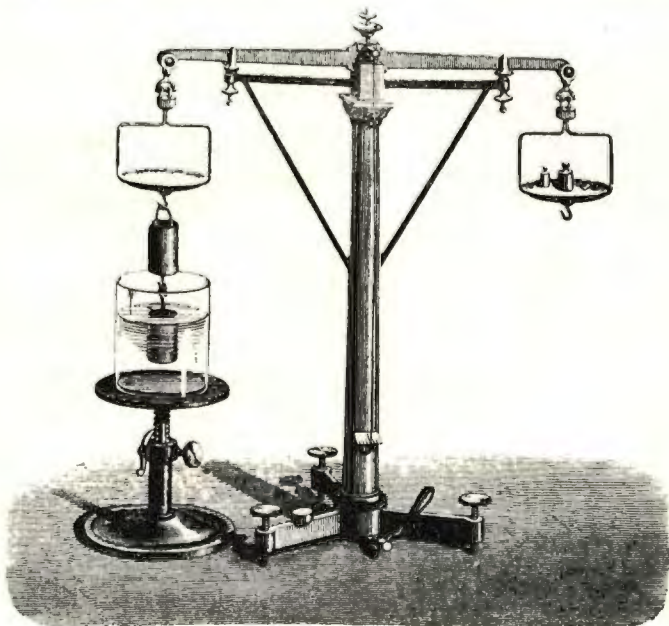
Paine ylöspäin on selvästi suurempi, niin paljon suurempi kuin se neste pylväs painaa, jolla on kuution pohja pohjana ja kuution korkeus korkeutena. Tämä nestepylväs on kuution kokoinen. Nesteeseen upotettuun kappaleeseen vaikuttaa siis ylöspäin paine, joka on kappaleen kokoisesta nestemäärän painon suuruinen. Koska tämä paine ylöspäin vaikuttaa kappaleen painon vastaiseen suuntaan, niin jokainen kappale nesteeseen upotettuna näennäisesti kevenee ja painon näennäinen vähennys on kappaleen suuruista nestemäärän paino. Tämän tärkeän lain keksijä on syrakusalainen *Arkimedes* († 212 e. Kr.) ja käykin laki hänen nimellään. Kerrotaan hänen keksineen lakinsa miettiessään miten hän voisi ratkaista hänelle annetun tehtävän tutkia oliko kuningas Hieronin kruunu puhdasta kultaa vai oliko seppä pitänyt itse osan hänelle annetusta kullasta ja sen sijaan sekoittanut kruunuun hopeaa. Asiaa miettiessään meni hän kylpemään ja laskeutuessaan vedellä täytettyyn ammeeseen näki hän kuinka osa vedestä juoksi ammeen reunojen yli ja tunsii samalla kuinka hänen ruumiinsa vedessä tuli kevyemmäksi. Hänen mieleensä osui silloin, että jos poisjuossut vesi punnittaisiin, niin se painaisi saman verran kuin ruumis menetti painostaan vedessä. Iloissaan keksinnöstään kerrotaan hänen, huudahtaen »heu-



Kuva 49. Nesteen paine ylöspäin.

reeka» (olen keksinyt), juosseen pukemattomana kotiinsa heti koettaakseen keksintöään.

Vielä nytkin todistetaan laki melkein samalla lailla. Kappale ripustetaan vaakaan ja punnitaan. Kappale upotetaan sitten astiaan, joka seinässä olevaan putkeen saakka on täytetty vedellä. Punnusten puoli painuu heti alas ja putken kautta



Kuva 50. Arkimedeen laki.

juoksee kappaleen suuruinen vesimäärä toiseen astiaan. Panemalla punnuksia kappaleen puoleiseen vaakakuppiin määrätään kappaleen painon väheneminen. Jos ulosjuosut vesi punnitaan, saadaan vallan sama paino. On olemassa toinenkin koe. Vaakaan ripustetaan ontto sylinteri ja sen alle toinen sylinteri, joka tarkoin täyttää onton, siihen pantuna. Vaaka asetetaan tasapainoon. Täyteinen sylinteri upotetaan veteen. Punnusten puoli painuu alas. Vaaka saadaan taas tasapainoon, jos ontto sylinteri täytetään vedellä.

Jos haluamme verrata eri aineiden painoa toisiinsa, niin voimme sen tehdä punnitsemalla yhtä suuret kuutiomäärät, esim. 1 dm^3 tai 1 cm^3 , kutakin ainetta. Tämä menettely olisi kumminkin kovin epäkäytännöllinen ainakin jokapäiväisessä elämässä. Kappaleilla on harvoin sellainen muoto, että niiden kuutiosisällön voisi määrätä tarpeellisella tarkkuudella. Sen vuoksi onkin tullut tavaksi osoittaa aineiden verannollista painoa vertaamalla aineiden painoa veden painoon. Arkimedeen laki sallii meidän nimittäin tarkoin määrätä sen vesimäärän painon, jolla on sama kuutiosisäilyys kuin tietyllä kappaleella. Punnitsemalla kappale löydetään sen todellinen paino. Jos kappaleen paino jaetaan kappaleen suuruisen vesimäärän painolla, saadaan luku, joka lausuu, montako kertaa aine on niin raskasta kuin vesi. Tätä näin saatua lukua sanotaan aineen *ominaispainoksi* (spesifiikkipainoksi). Esim. rautapala painaa ilmassa 10 gr, vedessä 8,7 gr. Rautapalan suuruinen vesimäärä painaa siis: $10 - 8,7 = 1,3$ gr. Raudan ominaispaino on $10 : 1,3 = 7,7$. Rauta painaa 7,7 kertaa niin paljon kuin vesi. Koska veden paino muuttuu sen lämmön mukaan, tulee vedellä, jonka painoon muiden aineiden painoa verrataan, olla määrätty lämpö. Sen tulee olla $+ 4^\circ$ Celsiuksen lämpömittarin mukaan.

Jos kappale on kiinteä, veteen liukenematon ja uppoaa veteen, niin sen ominaispainon määrittäminen on jo edellisestä selvä. Jos kappale ei uppoa veteen, kiinnitetään siihen toinen niin raskas kappale, että molemmat yhdessä uppoavat veteen. On edeltäkäsikin määrätty kuinka paljon tuo toinen kappale menettää painostaan vedessä. Siitä minkä molemmat yhteensä menettävät otetaan tämä painonvähennys pois, jäännös osoittaa, paljonko kevyempi kappale menettää. Jos kappale liukenee veteen, ei sitä voi vedessä punnita. Silloin täytyy määrätä kappaleen kuutiosisältö upottamalla se aivan hienon puiikon avulla elohopeaan. Astia, jossa elohopea on, on pykälöity esim. kuutiosentimetreihin. Kun kappale upotetaan elohopeaan, nousee elohopeapinta astiassa. Pykälököstä nähdään silloin kappaleen kuutiosisältö. Koska $1 \text{ cm}^3 + 4^\circ$ lämmintä vettä painaa 1 gr, niin voimme heti laskea, montako grammaa kappale menettäisi painostaan, jos se upotettaisiin veteen.

Nesteiden ominaispainon voi määrätä punnitsemalla pienessä pullossa yhtäsuuret määrät ensin nestettä ja sitten vettä

Sopii myös menetellä niin, että joku kappale, joka uppoaa sekä nesteeseen että veteen eikä liukene kummassakaan, esim. lasipallo, punnitaan ensin ilmassa, sitten nesteessä ja vihdoin vedessä. Kappaleen painonvähennys nesteessä jaetaan sen painonvähennyksellä vedessä. Tällä menettelyllä olemme näet myös punninneet yhtä suuret määrät nestettä ja vettä.

Kaasujen ominaispainosta puhumme myöhemmin.

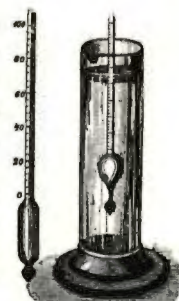
Mainittakoon tässä muutamien kiinteiden aineiden ja nesteiden ominaispainot.

Platina	21,5	Koivupuu	0,6
Kulta	19,4	Mäntypuu	0,5
Lyijy	11,4	Kuusipuu	0,4
Hopea	10,5	Korkki	0,2
Kupari	8,8	Elohopea	13,60
Rauta (taottu)	7,8	Rikkihappo	1,84
„ (valettu) ..	7,2	Glyseriini	1,26
Tina	7,3	Vesi	1,00
Aluminiumi	2,7	Liinaöljy	0,95
Marmori	2,8	Petroleumi	0,89
Graniitti	2,5	Tärpätti	0,87
Pullolasi	2,6	Alkoholi	0,79
Rikki	2,0	Eetteri	0,74
Jää	0,9		

Kappale, joka painaa enemmän kuin sen poistunkema neste, uppoaa nesteeseen. Voima, joka upottaa kappaletta, on kappaleen painon ja poistungetun nesteen painon ero. Kappale, joka painaa yhtä paljon kuin poistungettu neste, pysyy nesteessä paikalla millä hyvänsä. Vihdoin kappale, joka painaa vähemmän kuin poistungettu neste, nousee ylöspäin. Nostava voima on poistungetun nesteen ja kappaleen painon ero. Kun kappale on noussut niin paljon nesteen pinnan yläpuolelle, että se neste, minkä nesteessä vielä oleva osa kappaleesta tunkee tieltään, painaa yhtä paljon kuin kappale, on kappale tasapainossa. Että nestettä raskaammatkin kappaleet uivat nesteen pinnalla, jos ne ovat onttoja, on tunnettu seikka ja helposti ymmärrettävä.

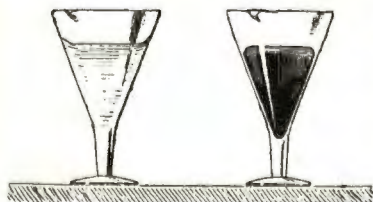
Kuta raskaampi neste on, jossa kappale ui, sitä ylemmäksi nousee se nesteen pinnasta. Tähän seikkaan perustuvat uppo-

vaa'at eli *areometrit*, joilla määrätään nesteiden ominaispainoja. Areometri on sylinterimäinen lasiputki, joka alapäässään on kuormitettu elohopealla tai haulilla niin, että putki uiپی nesteessä pystysuorassa asemassa. Ensin pannaan areometri veteen ja merkitään vedenpinnan kohdalle putkessa olevaan asteikkoon luku 1. Sitten upotetaan areometri eri nesteisiin, joiden ominaispainot ovat tunnetut. Täten saadaan areometri pykälöidyksi ja voi siitä sitten upottamalla sen nesteeseen, jonka ominaispaino halutaan määrittää, heti lukea haetun ominaispainon. On käytännössä areometrejä, jotka eivät ilmoita nesteen ominaispainoa, vaan kuinka monta prosenttia jotakin ainetta löytyy nesteeseen sekoitettuna tai liuotettuna. Sellaisilla areometreillä mitataan esim. väkiviinassa olevan alkoholin, sokeriliuoksissa olevan sokerin, maidossa olevan rasvan, suolaliuoksissa olevan suolan prosenttimäärä j. n. e. Pykälöiminen tapahtuu kokeellisesti upottamalla areometri liuoksiin, joiden prosenttimäärä on tunnettu.



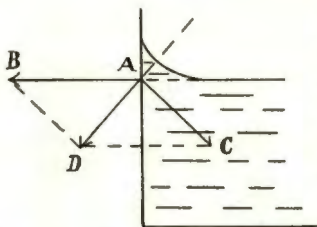
Kuva 51. Prosentti-areometri.

Sanoimme, että astiassa olevan nesteen pintaa voimme pitää tasapintana ja niin onkin laita mitä suurimpaan osaan pintaa tulee. Mutta jos tarkastamme lähellä astian seinää olevaa pintaa, niin huomaamme, että pinta ei olekaan tasainen. Olkoon astia lasista. Jos siihen kaadamme vettä, niin huomaamme veden nousevan seinää pitkin ylös, joten pinta seinän läheisyydessä saa alaspäin kaarevan muodon. Jos taas astiaan kaadamme elohopeaa, huomaamme, että pinta seinien läheisyydessä painuu alas, joten pinta saa ylöspäin kaarevan muodon. Vesi kostuttaa lasia, elohopea ei kostuta sitä.



Kuva 52. Vasemmanpuoleisessa lasissa vettä, oikeanpuoleisessa elohopeaa.

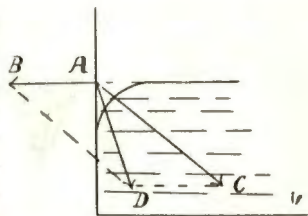
Tästä seikasta olemme jo ennen puhuneet ja selittäneet syyn siihen. Tarkastamme nyt, miten tämä seikka vaikuttaa pinnan muotoon seinän läheisyydessä.



Kuva 53. AB adhesionivoima. AC kohesionivoima. AD niiden resultantti. Neste kostuttaa seinää.

Seinän läheisyydessä olevaan nesteeseen vaikuttaa kolme voimaa: painovoima, kohesionivoima ja adhesionivoima. Painovoiman kumooa kuten muissakin pinnan osissa alla olevien nesteosien vastustus. Sen voimme siis jättää sikseen. Kohesionivoima on suunnattu suuntaan, joka lankeaa nesteeseen pinnan ja astian seinän keskivälille, sillä seinän vieressä nesteeseen pinnalla olevan nesteosan vaikutuspallosta on vaan osa, pienempi kuin puolipallo, nestettä, jota vastoin kauempana seinästä olevien nesteosien vaikutuspallosta puolet on nestettä, jonka vuoksi kohesionivoima niihin nähden on suunnattu luotiviivaa pitkin alaspäin. Vihdoin vaikuttaa adhesionivoima kohtisuorasti seinää vastaan. Ajatellaan nyt kohesio- ja adhesionivoimat yhdistetyiksi resultantiksi. Tämä resultantti lankeaa joko kohesionivoiman puolelle tarkastetun nesteosan kautta kulkevaa luotiviivaa, pitkin tätä luotiviivaa tai adhesionivoiman puolelle luotiviivaa. Resultantin suunnan määrää tietysti niiden kahden yhdistävän voiman keskinäinen suuruus ja niiden välinen kulma, joka taas on riippuva seinän ja nesteeseen pinnan välisestä kulmasta. Seinän ja nesteeseen pinnan välinen kulma on suora ainoastaan silloin, kun seinä on pystysuora, muutoin ei. Siinä tapauksessa on adhesionilla vaakasuora suunta ja kohesionin suunta jakaa kulman luotiviivan ja vaakasuoran suunnan välillä kahtia; muissa tapauksissa ei ole niin.

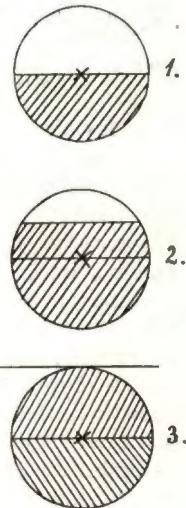
Tämä saamamme resultantti ei ole kumottu. Nesteeseen osien täytyy noudattaa sen vaikutusta. Jos resultantti lankeaa pitkin luotiviivaa, joka seikka luonnossa kumminkin harvoin tapahtuu, niin pysyy nesteeseen pinta seinänkin läheisyydessä tasapintana, koska resultantti on silloin kumottu kuten painovoimakin. Jos resultantti



Kuva 54. AB adhesionivoima. AC kohesionivoima. AD niiden resultantti. Neste ei kostuta seinää.

lankeaa kohesionivoiman puolelle luotiviivaa, niin täytyy pinnan ollakseen tasapainossa asettua kohtisuoraksi tätä resultanttia vastaan. Seinän läheisyydessä painuu siis nesteen pinta vaakasuoraa pintaa alemmaksi, muodostaa ylöspäin kaarevan, mykävän pinnan. Samoin täytyy, kun resultantti lankeaa adhesionivoiman puolelle luotiviivaa, adhesionin voitaessa kohesionin, pinnan seinän läheisyydessä nousta vaakasuoraa pintaa ylemmäksi, muodostaa alaspäin kaarevan, ontevan pinnan. Voimme lausua tuloksemme näinkin: jos neste kostuttaa astian seinää, on pinta seinän läheisyydessä kovero, jos neste ei kostuta, on pinta kupera. Nesteen pinnan ja seinän välinen kulma ei siis ole suora, vaan terävä, jos neste kostuttaa seinää, tylsä, jos se ei kostuta. Tämä kulma, rajakulma, on esim. lasin ja veden välillä noin 30° , lasin ja elohopean välillä noin 135° . Jos neste on ahtaassa astiassa, putkessa, niin nuot kaarevat pinnat, jotka syntyvät seinien läheisyydessä, voivat ulottua koko pinnan yli, joten pinta kokonaisuudessaan on ylös- tai alaspäin kaareva.

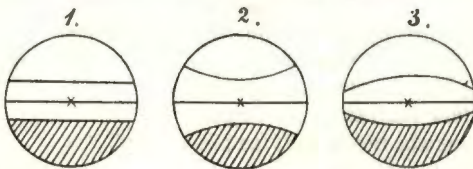
Tarkastamme vielä nesteen vapaata pintaa. Ajattelemme jotakuta nesteosaa itse pinnalla. Jos pinta on tasapinta, niin puolet osan vaikutuspallosta lankeaa nesteen sisälle, toinen puoli pinnan yläpuolelle. Pinnan yläpuolella oleva aine, tavallisesti ilma, on kevyempää kuin neste. Pinnalla olevaa nesteosaa vetää siis suurempi voima alas- kuin ylöspäin. Ajattelemme nesteosan uppoavan pinnan alle. Nesteessä löytyvä osa vaikutuspalloa on silloin suurempi kuin puolipallo. Osa pallon sisällä olevaa nestettä on tarkastetun nesteosan yläpuolella ja vetää sitä ylöspäin. Alaspäin vaikuttava voima on siis vähentynyt. Kun nesteosa on uponnut pinnan alle vaikutuspallon säteen pituisen matkan, on koko vaikutuspallo nesteen pinnan alla. Tarkastettua nesteosaa vetää pallon sisällä löytyvä neste yhtä paljon kaikkiin suuntiin. Nesteen pinnalla syntyy siis vaikutuspallon säteen paksuinen kerros, jonka sisällä oleviin



Kuva 55.
Kohesionipaine.

nesteisiin vaikuttaa pintaa vastaan kohtisuora, nesteeseen päin suunnattu paine, *kohesionipaine*. Tuo äärettömän ohut kerros pinnalla muodostaa ikäänkuin pinnalle jännitetyn kimmoavaisen kalvon. Paitsi painovoimaa vaikuttaa siis nesteen pintaan kohesionipaine. On selvää, että pinta ei voi olla tasapainossa, jollei kohesionipaine kaikissa pisteissä pinnalla ole yhtä suuri tai jollei kohesionipaineen eroa pinnan eri pisteissä ole korvattu jollakin muulla voimalla.

Sanoimme, että nesteen pinta astian seinän läheisyydessä on joko alaspäin tai ylöspäin kaareva ja että neste nousee ylemmäksi tai painuu alemmaksi kuin vaakasuora pinta. Syyn pinnan kaarevaan muotoon tunnemme; on selittämättä, miksi ei tuo ylemmäksi noussut neste painovoiman vaikutuksesta painu alas ja miksi ei neste samasta syystä täytyä tuota kuoppaa, joka



Kuva 56. Kohesionipaine tasaisessa (1), ontevassa (2) ja mykevässä (3) pinnassa.

syntyy nesteen seinän läheisyydessä painuessa alas. Tarkastetaan kohesionipainetta kaarevassa pinnassa. Ajattelemme nesteosan olevan yhtä kaukana tasaisesta

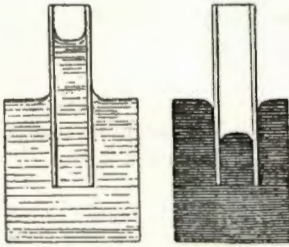
ontevasta ja mykevästä pinnasta, kuitenkin niin lähellä pintaa, että osa vaikutuspallosta lankeaa pinnan yläpuolelle. Ajattellaan vaikutuspallon keskipisteessä olevan nesteosan alapuolelle piirrettyksi samanlainen pinta kuin nesteen pinta on, mutta käännettynä vastakkaiseen suuntaan ja yhtä kaukana pallon keskipisteestä kuin nesteen pintakin. Jos vielä ajattelemme vaakasuoran pinnan asetetuksi tarkastetun nesteosan kautta, niin jakautuu vaikutuspallo neljään osaan: osa nesteen pinnan yläpuolella, kaksi osaa, yksi kummallakin puolen nesteosan kautta käypää tasoa ja vihdoin neljäs osa tuon nesteosan alapuolelle asetetun pinnan alapuolella. Nestepinnan yläpuolella oleva osa ei tule kysymykseen, koska se ei ole nestettä. Seuraavat kaksi osaa kumoavat toistensa vaikutuksen ollen yhtäsuuret ja vastaisilla puolin nesteosaa. Jää jäljelle neljäs osa, joka aikaansaa kohesionipaineen tarkastettuun nesteosaan nähden. Huomaamme, että tämä neljäs osa on suurin nestepinnan ol-

lessa mykevä, sen jälkeen pinnan ollessa tasainen ja pienin pinnan ollessa onteva. Siis on kohesionipaine suurin mykevässä pinnassa, sen jälkeen tasaisessa ja pienin ontevassa. Kuta enemmän kaareva pinta on, sitä enemmän eroaa tuon vaikutuspallon neljännen osan suuruus tämän osan suuruudesta pinnan ollessa tasainen, sitä enemmän eroaa myös kohesionipaine paineesta tasapinnassa.

Astian seinän läheisyydessä, jossa pinta on joko onteva tai mykevä, on siis kohesionipaine pienempi tai suurempi kuin nesteen tasaisella pinnalla. Seurauksena on, että nesteen täytyy tasapainon saavuttamiseksi nousta ylemmäksi tai painua alemmaksi kuin tasainen pinta on ja nousta tai painua niin paljon, että se nestepylväs, minkä kukin piste kaarevalla pinnalla nousee ylemmäksi tai painuu alemmaksi tasaisesta pinnasta lukien, vastaa tässä pisteessä vallitsevan kohesionipaineen ja tasaisen pinnan kohesionipaineen eroa, kun pienempi paine vähennetään suuremmasta.

Mainittakoon tässä vielä muutamia ilmiöitä, jotka ovat seurauksena erisuuresta kohesionipaineesta erilaisissa pinnoissa. Jos lasiin kaadetaan vettä, on pinta ensin seinän läheisyydessä kovero. Kun lasi on vallan täynnä vettä, on pinta tasainen. Voimme vielä sittenkin kaataa lasiin hiukan vettä tämän vuotamatta reunojen yli. Pinta on nyt reunoilta mykevä. Tämän pinnan kohesionipaine estää vettä leviämästä sivuille päin. Kun puhalletaan saippuakuplia ja lakataan puhaltamasta, niin virtaa ilma kuplasta ulos puhallusputken läpi ja kupla pienee. Kuplan ulkopinta on kupera, sisäpinta kovero. Kohesionipaine on ulkopinnalla suurempi. Kun lasiputki pistetään veteen ja nostetaan ylös, juoksee vesi ulos, mutta lyhyt pylväs jää putken alapäähän. Sen yläpinta on kovero, alapinta kupera nesteen painon vuoksi. Kohesionipaineiden ero vastaa pylvään painoa.

Hienoissa putkissa, *hiusputkissa*, on nesteen koko pinta joko onteva tai mykevä. Pinnassa on siis kohesionipaine joko pienempi tai suurempi kuin putken ulkopuolella olevassa tasapinnassa, kun putki pistetään nesteeseen. Seurauksena on, että neste sellaisessa putkessa nousee ylemmäksi tai painuu alemmaksi kuin putken ulkopuolella. Kuta ahtaampi putki on, sitä kaarevampi on pinta putken sisällä, sitä ylemmäksi nou-



Kuva 57. Nesteen nouseminen ja painuminen ohuissa putkissa.

see tai sitä alemmaksi painuu neste putkessa. Putkessa, jonka läpimita on 1 mm, nousee vesi, kun putki on lasia, 30 mm, rikkihappo 17 mm, alkoholi 12 mm, eetteri 9 mm j. n. e.

Hiusputki- eli huokoisilmiöitä tapaamme jokapäiväisessä elämässä usein. Se on syynä veden imeytymiseen sieneen, puuhun, tiilikiveen, musteen imeytymiseen imu-paperiin, öljyn lampun sydämeen, ravintoaineen kasvien juurien kautta j. n. e. Myös monet muut ilmiöt ovat seurauksena huokoisilmiöstä. Jos nesteen pinnalla uihi kevyitä kappaleita, joita neste kostuttaa, esim. korkinpalasia vedessä, vetäytyvät ne toisiinsa. Niiden välille muodostuu, kun ne ovat kyllin lähellä toisiansa, onteva pinta. Neste nousee ylös niiden välillä, muualta virtaa nestettä sijaan ja lykkää kappaleet yhteen. Jos neste ei kostuta kappaleita — esim. vahapallot vedessä, — syntyy niiden välille mykevä pinta, kappaleet liukuvat erilleen ikäänkuin kaltevia pintoja myöten. Kohesionipaineesta muuan esimerkki. Silmäneula, joka on hiukan rasvainen, uihi veden pinnalla, jos sen laskee siihen vaakasuorana. Pinta neulan alla on onteva, kohesionipaine tässä pinnassa sekä neulan paino vastaavat tasaisen pinnan kohesionipainetta.

VII.

Kaasut. Kaasujen paino. Ilmapallo. Kaasujen ominaispaine. Ilmakehä. Ilmakehän paine. Barometri. Mariotten laki. Kaasujen kinetinen teoria. Manometrit. Ilmapumppu. Vesipumput. Imujuoksutin. Nostopilli.

Monet niistä laeista, jotka koskevat nesteitä, koskevat myös kaasuja. Kaasujen osat ovat vieläkin enemmän herkkäliikkeisiä kuin nesteiden, niiden kohesioni on vieläkin pienempi. On kuitenkin huomattava, että kaasut ovat suuressa määrin kokoonpuristuvia, jota nesteet eivät ole. Kun ulkonainen voima vaikuttaa kaasuun, aikaansaa se kaasun tilavuuden supistumisen. Tämän supistumisen seurauksena on, että kaasun molekyylit lähestyvät toisiinsa paljon enemmän kuin kiinteiden aineiden ja nesteiden. Seurauksena tästä lähestymisestä ovat, kuten saamme nähdä, ilmiöt, joita kiinteissä aineissa ja nesteissä ei huomata.

Ensiksikin on Stevinin laki voimassa kaasuihin nähden, sillä kaasuillakin on painoa. Jos haluamme määrätä jonkun kaasun painon, otamme onton, läpällä varustetun lasipallon, jonka tilavuus on litra tai pari. Siitä imemme ilman pois ilmapumpulla, suljemme läpän ja punnitsemme pallon. Pallo täytetään punnittavalla kaasulla ja punnitaan taas. Painon lisäys on kaasun paino. Kaasujen suuren kokoonpuristuvaisuuden vuoksi vaihtelee kaasun paino paljonkin. Täytyy siis aina ottaa huomioon kaasua puristava paine, kun kaasu punnitaan. Samoin on otettava huomioon kaasun lämpö, koska sekin suuressa määrin vaikuttaa kaasun painoon. Olettamalla, että paine on 1 kg neliösentimetrille ja lämpö 0° Cels., mainitsemme muutamia lukuja. Yksi litra painaa: ilmaa 1,293 gr, hiilihappoa 1,965 gr, happea 1,429 gr, typpeä 1,251 gr, ammoniakkaa 0,762 gr, vetyä 0,090 gr.



Kuva 58. Lämpimällä ilmalla täytetty ilmapallo.

Arkimedeen laki kaasuihin nähden toteutettu ilmapallon rakennuksessa. Ilmapallo on tehty kautsuikkivernissalla voidellusta silkkikankaasta. Palloa ympäröi köysistä kudottu verkko, johon on kiinnitetty kevyt kori ilmassapurjehtijaa varten. Ilmapallo täytetään jollakin ilmaa kevyemmällä kaasulla, tavallisesti valokaasulla. Myös vetyä käytetään, kun ilmapallon kantovoiman tulee olla suuri. Ennenkuin englantilainen *Cavendish* (1810) oli keksinyt vetykaasun, oli ainoa mahdollisuus täyttää ilmapallo lämmitetyllä ilmalla, joka on kevyempää kuin kylmä ilma. Kerrotaan, että jo 18 vuosisadan alkupuolella *Guzman* Lissabonissa teki onnistuneita kokeita tähän suuntaan, kunnes inkvisitsioni kielsi hänet siitä. Siten jäivät ihmiset maanpinnalle aina vuoteen 1783, jolloin

Vielä koskee Arkimedeen laki myös kaasuja. Kappale menettää siis kaasussa punnittuna painostaan niin paljon kuin poistunutta kaasumäärää painaa. Ainoastaan kooltaan suuriin kappaleihin nähden on tällä painonvähennyksellä joku merkitys. Kuumiometrin kokoinen kappale menettää ilmassa punnittuna 1,293 kg. Mitä edellä olemme puhuneet nesteiden kappaleita nostavasta voimasta, se koskee myös kaasuja. Käytännössä on



Kuva 59. Kaasulla täytetty ilmapallo.

Montgolfier-veljekset rakensivat ensimmäisen suuren ilmapallon, joka oli täytetty kuumalla ilmalla. Pallo oli alaosastaan avonainen ja aukossa paloi tuli, joka kuumensi pallon sisällä olevaa ilmaa. Kesäk. 5 p:nä teki pallo ensimmäisen matkansa kuitenkin ilman ilmapurjehtijaa. Samana vuonna antoi parislainen oppinut *Charles* vedyllä täytetyn ilmapallon nousta ilmaan elok. 27 p:nä. Lokak. 21 p:nä nousi kuumalla ilmalla täytetty ilmapallo ja kaksi henkilöä sen mukana. Toinen retki tehtiin jouluk. 1 p:nä vedyllä täytetyllä pallolla. Nykyjään ovat ilmapalloretket jokapäiväinen tapahtuma ja on ilmapurjehtuksella suuri tieteellinenkin merkitys.

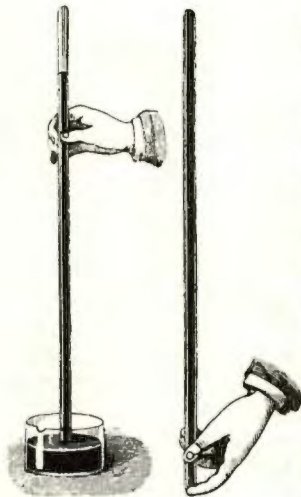
Mitä kaasujen ominaispainoihin tulee, niin ovat nämä luvut pieniä lukuja. Ominaispainon määrääminen tapahtuu punnitsemalla yhtäsuuret määrät kaasua ja vettä. On tapana määrätessä kaasujen ominaispainoja verrata niiden painoa ilman painoon eikä veden. Silloin ovat ominaispainoja lausuvat luvut melkoista suuremmat. Mainitsemme muutamien kaasujen ominaispainot verrattuina sekä veteen että ilmaan. Kaasujen lämmön oletaan olevan 0° Cels. ja puristavan voiman pintayksikölle yhtä suuren kuin 76 cm korkean elohopeapylvään paino.

	Veteen verrattuna.	Ilmaan verrattuna.
Ilma	0,001293	1
Happi	0,001429	1,1052
Typpi	0,001251	0,9672
Hiilihappo	0,001965	1,520
Ammoniakki	0,000762	0,589
Vety	0,000090	0,0692

Koko maapalloa ympäröipi mahtava kaasukerros ilmakehä (atmosferi), jonka pohjalla me asumme ja elämme. Painovoima estää tätä kaasukerrosta leviämästä tyhjiin avaruuteen. Ilma on sekoitus kahdesta kaasusta, hapestä ja typestä. Tilavuuden mukaan laskettuna on 100 osassa ilmaa 21 osaa happea ja 79 osaa tyyppiä. Painon mukaan laskettuna on, koska, kuten edellä olevista luvuista näemme, happi on hiukan raskeampaa, 100 osassa ilmaa 23 paino-osaa happea ja 77 paino-osaa tyyppiä. Tämä kokoomus on ilmalla otettakoonpa ilmaa ilmakehästä mistä hyvänsä, korkeimmalta vuorenhuipulta tai

syvimmästä laaksosta. Ennen aikaan luultiin, että happimäärä ilmassa oli vaihteleva ja että sään laatu vaihteli sen mukaan; nyt tiedämme, ettei niin ole laita.

Kuinka kauas maanpinnasta ilmakehä ulottuu, sitä ei voi varmuudella sanoa. Ainakin ulottuu se 100 km maanpinnasta. Muutamat ilmiöt viittaavat kumminkin siihen suuntaan, että ilmakehä olisi melkoista korkeampi, ehkenpä 300 km. Ovatko ilmakehän ylimmätkin kerrokset ainoastaan happea ja typpeä vai onko muita kevyempiä kaasuja näissä kerroksissa, siitä ei ole tietoa. Ilmakehän ylemmät kerrokset painavat alempia, jotka siitä syystä puristuvat kokoon. Tiheintä onsiis ilma maanpinnalla. Lopulta painaa ilmakehä kaikkia esineitä, jotka ovat yhteydessä ilman kanssa ja painaa niitä kuten nesteetkin joka puolelta. Sen seikan, että ilma painaa esineitä, oivalsi ensiksi *Cartesius* († 1650). Aina vanhoista ajoista oli tunnettu, että vesi nousee ilmatyhjään pumpputorveen. Tämän ilmiön selittivät oppineet niin, että luonto kammoksuu tyhjää tilaa ja sen vuoksi täyttää ilmatyhjän tilan vedellä. *Cartesius* kumminkin huomasi sen oikean syyn, ilman paineen vedenpintaan pumpun ulkopuolella. Kuitenkaan ei hän päässyt sen pitemmälle tässä suhteessa.



Kuva 60. Torricellin koe.

Galilei oli näyttänyt, että ilmalla on painoa. Hänen oppilaansa *Torricelli* näytti v. 1643, että ilma painaa sen yhteydessä olevia kapaleita. Hän arveli näin: Jos ilmalta on painoa, niin se on ilman paine, joka nostaa veden pumpputorveen. Jos siis käytämme jotakin vettä raskaampaa nestettä, esim. elohopeaa, niin se ei voi nousta ilmasta tyhjässä putkessa yhtä korkealle kuin vesi, koska sama paine nostaa molempia. *Torricellin* ystävä *Viviani*, jolle *Torricelli* ilmaisi mielipiteensä, otti noin 80 cm pitkän toisesta päästään suljetun lasiputken, täytti sen elohopealla, sulki

avonaisen pään sormellaan ja käänsi putken ylösalaisin sekä laski sen avonaisen pään astiassa olevaan elohopeaan. Kun hän otti sormensa pois putken suulta, laskeutui elohopea putkessa, mutta pysähtyi sen pinta noin 76 cm ylemmäksi elohopean pintaa astiassa. Elohopea painaa 13,6 kertaa niin paljon kuin vesi. Pumpputorvessa nousee vesi 10,33 m = 1,033 cm. Jos sama paine nostaa sekä vettä että elohopeaa, täytyy 1,033: 13,6 olla 76. Niin onkin. Täten oli ilman paine todistettu.

Samalla kuin Torricellin koe näyttää ilman paineen, antaa se meille koneen, jolla voimme tätä painetta mitata. Tämä kone on *barometri* eli *ilmapuntari*. Vivianin kokeessaan käyttämä kone on täydellinen barometri, jos putken taakse tai viereen kiinnitämme pykälikön, jonka nollapiste on astian elohopeapinnan kohdalla. Barometri näyttää, että ilman paine jotakin pintaa vastaan on keskimäärin yhtä suuri kuin elohopeapylvään, jolla painettu pinta on pohjana ja 76 cm eli 760 mm korkeutena. Tämä paine on n. s. normaalipaine meren pinnan tasalla. Barometrikorkeus vaihtelee kumminkin meren pinnan tasalla yli ja alle normaalikorkeuden, Europassa noin 720 ja 790 mm välillä.

On helppoa laskea tämä paine grammoissa. Olkoon painettu pinta 1 cm². Elohopeapylvään kuutiosisältö on silloin 76 cm³. Koska elohopean ominaispaino on 13,6, niin 1 cm² painaa 13,6 gr. Koko pylväs painaa $76 \times 13,6 = 10,336$ gr eli 1,0336 kg. Tätä painetta nimitetään *atmosferin paineeksi*. Atmosferin painetta käytetään usein mittana kaasujen ja nesteidenkin paineelle astian pohjaa ja seiniä vastaan. Käytännössä tasoitetaan paine kilogrammaksi neliösentimetrille. Tätä painetta, jota jokapäiväisessä elämässä nimitetään *atmosferin paineeksi*, vastaisi 735,5 mm korkea elohopeapylväs.

Ilman paine on siis hyvinkin tuntuva paine, etenkin suuremmille pinnoille. Niinpä ihmisen ruumiin pintaan, jonka voimme otaksua olevan noin 1,5 m², painaa ilma 15,000 kg painolla. Että voimme kestää tätä painoa johtuu siitä, että ilma painaa ruumista joka puolelta ja että ruumiin sisälläkin on ilmaa esim. keuhkoissa ja että verisuonet ovat täytetyt verellä, joka painaa suonen seiniä vastaiseen suuntaan ja joka paine on sovitettu ilman paineen mukaan.



Kuva 61. Alassuun
käännetty vesilasi.

Ilman paine on syynä moneen ilmiöön. Jos lasi täytetään vedellä reunojaan myöten, peitetään paperilla ja käännetään alasuin, niin pysyy vesi lasissa syystä, että ilma painaa sitä vain alta päin. Sormustin, josta huulilla imetään ilma pois, tarttuu huuleen. Nesteellä täytetystä tynnöristä ei neste juokse tapinreistä ulos, ellei tynnörissä ole reikää tynnörin yläosassa y. m. s.

Jos barometri viedään korkealle vuorelle, alenee elohopea putkessa, koska ilmakehän korkeus ei enää ole yhtä suuri kuin vuoren juurella. Barometrin keskimääräinen korkeus on 100 m meren pinnasta 751 mm, 200 m 742 mm, 500 m 716 mm, 1,000 m 674 mm, 2,000 m 598 mm j. n. e. Lähellä maanpintaa laskeutuu barometri noin 9 mm sadalta metriltä aina noin 400 m korkeuteen. Kuta ylemmäksi tulemme, sitä vähemmän laskeutuu barometri samalla matkalla. Barometriä voimme siis käyttää korkeusmittauksiin, kun tunnemme sen laskeutumislain. Barometriä käytetäänkin vuorien korkeuden mittaamiseen ja ilmapalloretkillä ilmapallon nousun määrittämiseen. Vähäinen ilmanpaine tekee olon korkeilla vuorilla tukalaksi. Etenkin huomataan vähenevän ilman paineen vaikutus, kun ilmapallo nopeasti nousee suureen korkeuteen, koska ruumis silloin ei ehdi tottua tähän paineen vähenemiseen. Noin 9,000 m lienee suurin korkeus, missä ihminen vielä voi erityisiä varokeinoja käyttämällä tulla toimeen. Barometrikorkeus on tällä korkeudella noin 240 mm.

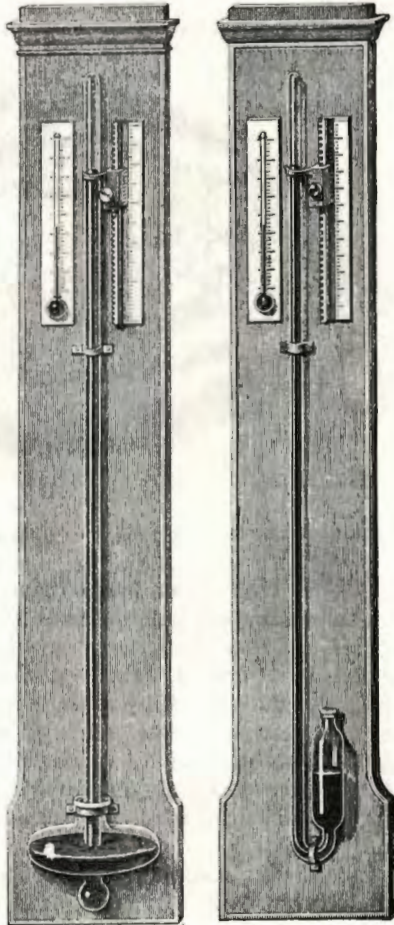
Sellainen barometri, jota Viviani käytti kokeessaan, ei ole varsin mukava. Barometriä liikuteltaessa juoksee elohopea helposti astiasta ulos. Mukavampi on tehdä barometri niin, että putken alapää taivutetaan ylöspäin ja laajennetaan pieneksi ahdassuiseksi astiaksi. Kuljetettaessa barometriä voi astian suun tukkia korkilla. Tosin elohopeapinta astiassa vaihtelee jonkun verran barometrin noustessa ja laskeutuessa, joten pykälikön nollapiste, ellei pykälikköä voi siirtää, ei aina ole tämän pinnan tasalla, vaan vähemmän tarkkoja mittauksia tehtäessä voi tämän seikan jättää huomioon ottamatta. Tar-

kempia mittauksia varten rakennettu sifonibarometri on keskeltä ohuempi ja molemmista päistään laajempi putki. Alapää on ylöspäin taivutettu ja yhtä laaja kuin yläpää. Pykälikkö on siirrettävä. Elohopea nousee ja laskee putken alapäässä yhtä paljon kuin se laskee ja nousee yläpäässä.

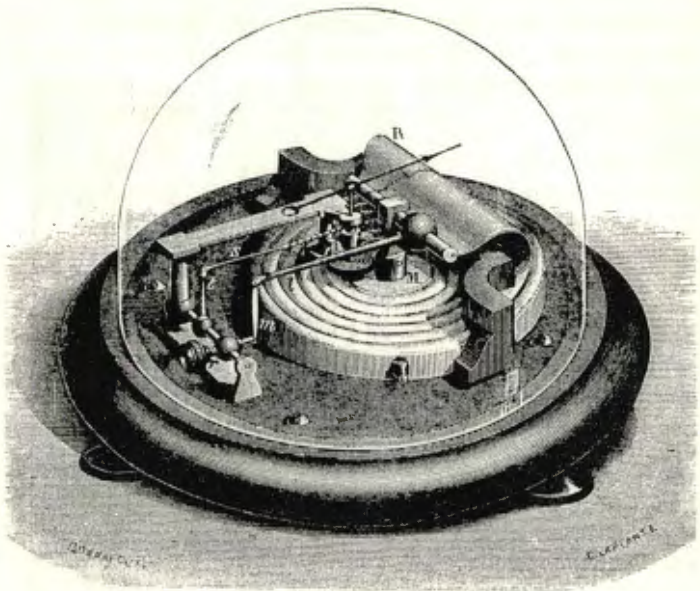
Elohopeabarometrin tulee ollakseen kelvollinen olla huolellisesti valmistettu. Putkessa ei saa elohopean yläpuolella olla ollenkaan ilmaa. Kun putki on elohopealla täytetty, kiehutetaan elohopea, jolloin siinä ehkä löytyvä ilma, joka nousisi vähitellen elohopean yläpuolelle putkeen, poistuu. Voi tutkia, onko barometri ilmasta tyhjä kallistamalla sitä. Jollei ilmaa ole putkessa, lyö elohopeapylväs putken päähän, josta silloin syntyy lyhyt helähtävä ääni. Jos ilmaa on putkessa on ääni pehmeämpi.

Nykyjään käytetään paljon barometrejä, jotka ovat kokonaan kiinteätä ainetta, n. s. *aneroidibarometrejä*. Enin käytetty on Vidin barometri. Siinä on litteä sylinterin

muotoinen ontto laatikko, tehty metallipelistä. Sen kansi ja pohja ovat renkaanmuotoisesti aaltomaisia. Laatikko on ilmas-



Kuva 62. Elohopeabarometrejä.



Kuva 63. Aneroidibarometri.

ta tyhjä. Kun ilman paine lisääntyy, painuu laatikon kansi hiukan sisään, kun paine vähenee, ponnahtaa se ulospäin. Kannen liike siirtyy vipulaitoksen avulla ketjuun, joka on kierretty pienen telan ympäri. Telaan on kiinnitetty viisari, joka liikkuu pitkien pykälikköä. Ketjun jännittyessä liikkuu viisari yhtäaikaan päin, ketjun löyhetessä kiertää ohut kierrejousi telaa ja viisaria toisaalle päin. Pykälikkö pykälöidään vertaamalla elohopeabarometriin. Aneroidibarometri on aikavälistä verrattava elohopeabarometriin, sillä ajanpitkään käy se epäluotettavaksi.

V. 1662 huomasi englantilainen *Boyle*, että jos suljetussa astiassa olevaa kaasua puristetaan kokoon pienempään tilaan, niin kaasun paine astian seiniä vastaan lisääntyy samassa suhteessa kuin kaasun tilavuus pienenee. Jos siis kaasumäärä puristetaan puoleksi alkuperäisestä tilavuudestaan, kolmanneksi osaksi, neljänneksi osaksi j. n. e., niin kaasun paine tulee kak-

sin-, kolmin-, nelin- j. n. e. kertaiseksi. Päinvastoin tilansuureudessa pienenee paine samassa suhteessa kuin tila suurenee. Puristamaan kaasua puoleksi, kolmanneksi osaksi j. n. e. alkuperäisestä tilavuudestaan tarvitaan kaksin-, kolmin- j. n. e.ertainen voima. Lain voimme siis lausua niinkin, että kaasun paine kasvaa, mutta tilavuus pienenee samassa suhteessa kuin puristava voima kasvaa, kaikki tämä sillä edellytyksellä, että kaasun lämpö ei muutu. Boylen keksintö ei kumminkaan tullut yleisemmin tunnetuksi. Saman lain keksi toistamiseen ranskalainen *Mariotte* v. 1679 ja käypikin laki tavallisesti nimellä Mariotten laki.

Kokeellisesti voimme näyttää lain oikeaksi kahdella lasiputkella, joista toinen on avonainen, toisen toinen pää suljettu läpällä, toinen avonainen. Putket kiinnitetään pystysuoraan asemaan ja niiden alapäät yhdistetään kumiletkulla. Lämpö putken yläpäässä avataan ja avonaiseen putkeen kaadetaan elohopeaa. Elohopea asettuu molemmissa putkissa yhtä korkealle. Lämpö suljetaan nyt. Silloin on putkeen suljettu ilmamäärä, jonka paine on yhtä suuri kuin ulkoilman. Sen painetta osoittaa siis sillä hetkellä vallitseva barometrikorkeus. Nyt kaadetaan avonaiseen putkeen lisää elohopeaa. Elohopea nousee molemmissa putkissa, mutta ei yhtä paljon. Kun ilma suljetussa putkessa puristuu kokoon, kasvaa sen paine suuremmaksi kuin ulkoilman paine. Sisällä olevan ilman paine pitää siis tasapainossa ulkoilman painetta ja vielä sen lisäksi avonaisessa putkessa olevaa elohopeapylvästä, korkeus luettuna elohopean pinnasta suljetussa putkessa. Kun suljetussa putkessa oleva ilma on puristunut kokoon puoleksi alkuperäisestä tilavuudestaan, huomataan elohopeapintojen eron putkissa olevan yhtä kuin barometrikorkeus; kun ilma on puristunut kolmanneksi osaksi, on ero kaksi barometrikorkeutta j. n. e. Jos avonaisesta putkesta kaa-



Kuva 64.
Mariotten laki.

detaan elohopeata pois, laajenee ilma taas suljetussa ja, kun se on laajentunut alkuperäiseen tilavuuteensa, ovat elohopeapinnat molemmissa putkissa taas yhtä korkealla. Kaadetaan yhä edelleen elohopeata pois. Ilma suljetussa putkessa laajenee alkuperäistä tilavuuttaan suurempaan tilaan, sen paine on nyt pienempi kuin ulkoilman, elohopeapinta on nyt suljetussa putkessa ylempänä kuin avonaisessa. Kun ilma on laajentunut kaksi kertaa suurempaan tilaan, on pintojen ero $\frac{1}{2}$ barometrikorkeutta, kun sen täytämä tila on kolme kertaa alkuperäinen tilavuus, on pintojen ero $\frac{1}{3}$ barometrikorkeutta j. n. e., sillä putkeen suljetun ilman paine on vain $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{3}$ j. n. e. ulkoilman paineesta.

Mariotten laki ei ole kuitenkaan vallan tarkka. Niinpä on *Regnault* näyttänyt, että vety puristuu kokoon vähemmän, muut kaasut enemmän kuin laki sanoo. Kovasti kokoonpuristettuina poikkeavat kumminkin happi ja typpi samalla lailla kuin vetykin Mariotten laista. Poikkeamiset ovat kumminkin erittäin vähäiset. Jos puristava paine on erittäin suuri, 1,000—3,000 atmosferia, niin Mariotten laki ei enää pidä paikkaansa. Kaasut joko tiivistyvät nestemuotoon tai, kuten vety, happi ja typpi, eivät puristu kokoon juuri enemmän kuin nesteet.

Ryhdyimme tarkastamaan, mikä on syynä siihen, että kaasun paine tai niinkuin sitä tavallisesti nimitetään jäntevyys (tension, ekspansion) kasvaa samassa suhteessa kuin kaasun täyttämä tila pienenee.

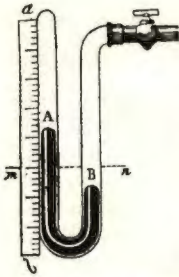
Selityksen tähän antoi jo v. 1738 *Daniel Bernoulli*. Edelleen ovat tätä teoriaa, joka käy nimellä kaasujen *kinetinen teoria* (liikeopillinen teoria) kehittäneet saksalainen *Clausius* ja englantilainen *Maxwell* yhdeksänentoista vuosisadan keskivaiheilla. Kinetinen kaasuteoria sisältää seuraavaa. Kaasujen molekyylit, joiden välimatkat verrattuina kiinteiden aineiden ja nesteiden molekyylien välimatkoihin ovat suuret, ovat yhtämittäisessä liikkeessä. Ne liikkuvat suoraviivaisissa radoissa tasaisella nopeudella. Eri kaasujen molekyylien nopeudet ovat eri suuret. On voitu määrätäkin nämä nopeudet. Miten se tapahtuu, sitä emme tässä voi ryhtyä selittämään, mainitsemme vain muutamia nopeuksia. Paineen ollessa 760 mm ja lämmön 0° Cels. on keskimääräinen nopeus: vety-

kaasumolekylin $1843 \frac{m}{sek.}$, typpimolekylin $492 \frac{m}{sek.}$, happimolekylin $461 \frac{m}{sek.}$, hiilihappomolekylin $392 \frac{m}{sek.}$. Liikkuestaan kohtaavat molekyilit sekä toisiansa että astian seinää. Tällaisen yhteentörmäyksen tapahduttua ponnahtavat molekyilit takaisin kuten kimmoavaiset pallot jatkaen liikettään muuttumattomalla nopeudella, vaikka toiseen suuntaan. Kun ajattelemmme molekylien ääretöntä lukua pienimmässäkin kaasumäärässä ja samalla tuota suurta nopeutta, millä molekyilit liikkuvat, niin ymmärrämme, että tällaisia yhteentörmäyksiä tapahtuu joka silmänräpäys. Mainittakoon tässäkin suhteessa lukuja. Molekyli törmää toista molekyliä tai astian seinää vastaan: vedyssä 9,480, typessä 4,760, hapessa 4,065 ja hiilihapossa 5,510 miljoonaa kertaa sekunnissa. On myös selvää, että se matka, minkä molekyli kulkee kahden törmäyksen välillä, on äärettömän lyhyt. Se on korkeintaan noin 2 kymmentuhannesosaa millimetriä.

Kaasujen jäntevyys on seuraus näistä molekylien syysäyksistä seinää vastaan. Kaasun jäntevyys on siis molekylien liike-energiaa. Kun kaasua puristetaan kokoon, pienenee molekylien väli, molekyilit sattuvat sekä toisiinsa että seiniin useampia kertoja kuin ennen, kaasun jäntevyys lisääntyy. Kun kaasun tila laajenee, on asian laita päinvastainen.

Clausius on laajentanut tämän kinetisen teorian myös nesteisiin ja kiinteihin kappaleihin. Olosuhteet näissä kappaleissa ovat kumminkin niiden suuremman kohesionin vuoksi erilaiset kuin kaasuissa. Molekylien liike niissä ei ole suoraviivainen, vaan liikkuvat molekyilit ainakin kiinteissä kappaleissa suljettuja ratoja tasapainoasemiensa ympäri. Siten pysyvät molekylien välimatkat muuttumattomina. Nesteissä taas kulkevat useimmat molekyilit suljettuja ratoja, mutta osa avonaisiakin ratoja, koskapa molekyilit voivat nesteen haihtuessa irtautua nesteestä. Etenkin lämpöopissa voimme selittää monet ilmiöt yksinkertaisella ja luonnollisella tavalla kinetisen teorian avulla.

Kaasujen jänteveyden mittaamiseen käytettyjä koneita, *manometrejä*, käytetään erilaisia. Pienempien paineiden mittaamiseen käytetään avonaista manometriä, kahta yhtyvää putkea, joista toinen on yhteydessä kaasua sisältävän astian



Kuva 65. Suljettu manometriputki.

kanssa ja toinen ulkoilman kanssa. Putkessa on elohopeaa niin paljon, että se erottaa putket toisistaan, vaikkapa se nouseekin toiseen putkeen ylemmäksi. Kun elohopea molemmissa on yhtä korkealla, on kaasun jännevyys yhtä suuri kuin ulkoilman. Sen mukaan, onko kaasun paine suurempi vai pienempi kuin ulkoilman, nousee elohopea yhteen tai toiseen putkeen ja pylvään korkeus lisättynä barometrikorkeuteen tai siitä vähennettynä ilmoittaa kaasun painetta. Suurempaa painetta mittaamaan käytetään suljettua manometriä. Kone on vallan samanlainen kuin se, jolla Mariotten laki todistettiin, se erona vain, että avonainen putki on yhteydessä kaasua sisältävän astian kanssa ja putkessa ei ole kumiletkua osana. Tavallisesti pykälöidään suljettu putki Mariotten lain mukaan, joten siitä heti voi lukea paineen esim. atmosfereinä. Höyrykattiloissa usein käytetty metallimanometri on ohutseinäinen, joustava metalliputki, joka on kaarevaksi taivutettu. Toinen pää on suljettu, toinen yhteydessä kattilan kanssa. Kun höyryn tai kaasun jännevyys lisääntyy, oikea putki yhä enemmän, sillä kaasu painaa enemmän putken ulkopuolista kuin sisäpuolista seinää syystä, että ulkopuolisen seinän pinta ollen osa suuremmasta ympyrästä on suurempi kuin sisäpuolisen seinän pinta. Putken oikeaminen vaikuttaa viisariin, joka kokeellisesti pykälöidyllä pykälököllä näyttää painetta. Manometriä voi käyttää myös nesteiden paineen mittaamiseen.

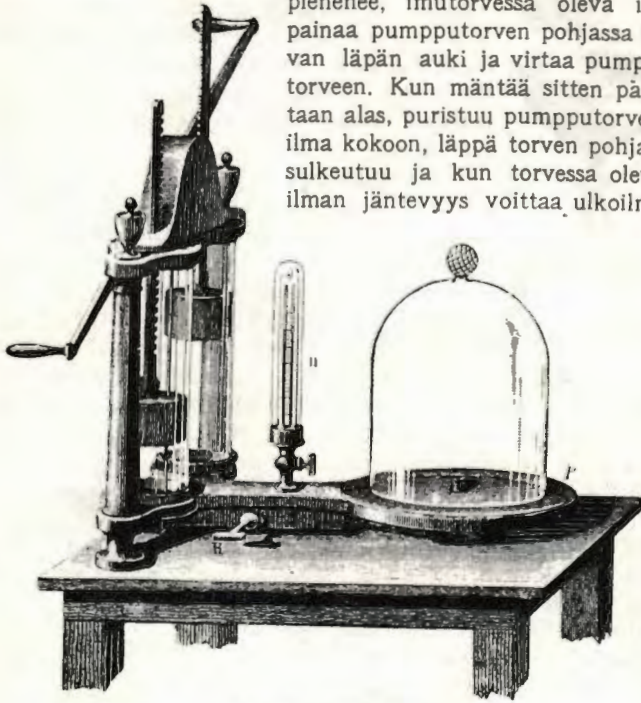
Ilman paineeseen ja Mariotten lakiin perustuu koko joukko sekä tieteellisiä että käytännöllisiä koneita. Ilmapumppu on jo ennen mainittu. Ilmapumpun keksi Magdeburgin pormestari *Otto von Guericke* noin v. 1650. Sitten on ilmapumpun rakenteeseen tehty useita parannuksia. Ilmapumppuun kuuluu pumpputorvi, metallista tai lasista tehty. Siinä liikkuu ylös ja alas ilmaa pitävä mäntä, jossa on ulospäin aukeava läppä. Pump-



Kuva 66. Metallimanometri.

putorven pohjasta johtaa imutorvi astiaan, josta ilma on pois imettävä. Imutorven sulkee pumpputorven pohjassa oleva läppä, joka aukeaa pumpputorveen päin. Kun mäntää vedetään ulos, ohenee ilma männän alla, sen jännevyys

pienenee, imutorvessa oleva ilma painaa pumpputorven pohjassa olevan läpän auki ja virtaa pumpputorveen. Kun mäntää sitten painetaan alas, puristuu pumpputorvessa ilma kokoon, läppä torven pohjassa sulkeutuu ja kun torvessa olevan ilman jännevyys voittaa ulkoilman



Kuva 67. Ilmapumppu.

paineen, virtaa se männässä olevan läpän kautta ulos. Siten poistuu astiasta joka männän vedolla osa ilmasta. Valtan ilmattomaksi ei astiaa kumminkaan voi saada. Kuta ohemmaksi ilma astiassa käy, sitä vähemmän poistuu ilmaa joka männän vedolla. Joskin voisimme jatkaa pumppaamista ääretömiin, niin sittenkään ei tällaisella pumpulla voi ohentaa ilmaa rajattomasti. Mäntää ei nimittäin huolellisimmallakaan valmistuksella voi saada tarkoin sopimaan pumpputorven pohjaan.



Kuva 68. Magdeburgin puolipallot.

Välille jää aina ilmaa, jonka jäntevyys männän ollessa alimmassa asemassaan on yhtäsuuri kuin ulkoilman. Männän noustessa ylös laajenee tämä ilma pumpputorveen. Jos männän ylimmässä asemassa ollessa astiassa olevan ilman jäntevyys ei enää ole suurempi kuin tämän koko pumpputorveen laajenneen ilman, niin ilma ei enää virtaa astiasta pumpputorveen ja pumppuaminen on turhaa.

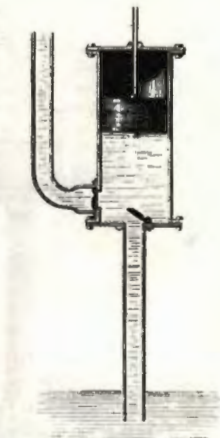
Ilmapumpulla voi tehdä moninaisia keikoita, jotka näyttävät ilman painetta. Ilmapumpun keksijä Guericke näytti Regensburgin valtiopäivillä v. 1654 keisari Ferdinand III:lle ja kokoontuneille ruhtinaille kuuluisan ilmapumppukokeensa, Magdeburgin puolipallot. Hän valmisti kaksi onttoa puolipalloa, joiden reunat sopivat yhteen ilmaa pitävästi. Pallosta imettiin ilma pois ilmapumpulla. Ilman paine puristi silloin puolipallot yhteen niin suurella voimalla, että tarvittiin 16 hevosta vetämään niitä erilleen. Pallon läpileikkaus oli noin $0,4 \text{ m}^2$ ja painoi siis ilma kumpaakin puolipalloa noin 4,000 kg:n painolla. Astia, josta ilmaa pumputaan, on tavallisesti sileäksi tahkotulla lautasella seisova lasikello (resipientti). Kun ilmaa imetään pois, tarttuu kello kiinni lautaseen. Jos kellon alle pannaan palava kynttilä, sammuu se ilman puutteessa. Kokoonpuristettu suljettu rakko paisuu kellon alla pyöreäksi j. n. e.

Jo vanhalla ajalla tunnettiin vesipumput. Niitä on pääasiallisesti kahta lajia: imupumppu ja painopumppu. Imupumppu on rakennettu mitä pumpputorveen, mäntään ja läppiin tulee vallan niinkuin ilmapumppu. Ensinnä imetään ilmaa imutorvesta. Sitä myöten kuin ilman paine pumpussa vähenee nousee vettä ensin imutorveen, sitten pumpputorveen ja vihdoin männän läpi



Kuva 69. Imupumppu.

männän yläpuolelle. Männän mukana nousee sen päällä oleva vesi ylös ja juoksee pois sivutorven kautta. Painopumppu on muutoin samoin rakennettu, vaan männässä ei ole läppää. Pumpputorveen nouseen veden painaa mäntä alaspäin liikkuessaan sivutorveen, joka haarautuu pumpputorvesta lähellä pohjaa ja jonka sulkee sivutorveen päin aukeava läppä. Koska ilman normaalipaine vastaa 10,3 m korkeata vesipylvästä, ei imutorvi saa olla pitempi kuin noin 9,5 m, jos mieli veden aina nousta pumpputorveen. Sitävastoin saa imupumppussa sivutorvi olla kuinka korkealla hyvänsä ja painopumppussa sivutorvi kuinka pitkä hyvänsä, kunhan vaan on kyllin voimaa pumppua käyttämään.



Kuva 70. Painopumppu.

Ilman paineeseen perustuvia koneita mainittakoon vielä pari. *Imujuoksutin* (lappo l. sifoni) on polveksi taivutettu putki. Putken toinen haara tulee astiassa olevaan nesteeseen, toinen astian ulkopuolelle. Ulkopuolella oleva putken pää on oleva alempana kuin nesteen pinta. Ilma imetään putkesta pois, esim. huulilla. Neste nousee silloin putkeen, virtaa polven ohii ja juoksee sitten omasta painostaan alaspäin. Nestettä juoksee nyt putken kautta niinkauan kuin nesteen pinta on ulosvuotoaukkoa ylempänä. Ulkoilma painaa astiassa olevan nesteen pintaa. Samoin painaa se nestettä ulosvuotoaukossa. Molemmat paineet ovat pintayksikölle yhtä suuret. Jos tarkastamme painetta putken ylimmällä paikalla putken poikkileikkauspintaa vastaan, niin on paine astiasta ulospäin ulkoilman paine, vähennettynä sen nestepylvään paineella, jolla on korkeutena polven kohtisuora etäisyys nesteen pinnasta astiassa; ulkoa astiaan päin on paine ulkoilman paine vähennettynä sen nestepylvään paineella, jolla on korkeutena polven ja ulosvuotoaukon kohtisuora väli. Koska ulosvuotoaukko oli astiassa olevan nesteen pintaa alempana, on edellinen paine suurempi; nestettä vuotaa ulospäin niinkauan kuin nestepinta astiassa on ulosvuotoaukkoa ylempänä. Polven kohtisuora etäisyys astiassa olevan



Kuva 71. Imujuoksutin.



Kuva 72.
Nostopilli.

nesteen pinnasta on tietysti sovitettava nesteen laadun mukaan niin, että ilman paine voi nostaa nesteen polveen saakka.

Nostopilli (pipetti) on tavallisesti keskeltä laajennettu putki. Putki pistetään nesteeseen, jolloin neste nousee putkeen. Putken yläpää tuljetaan sormella ja putki nostetaan ylös. Nestettä juoksee nyt ulos, vaan lakkaa neste juoktemasta niinpian kuin ilma putkessa on laajentunut siksi, että sen ynnä putkessa löytyvän nesteeseen paine on ulkoilman paineen suuruinen. Jos putken yläpää taas avataan, juoksee nestettä ulos; kun putki suljetaan, lakkaa neste vuotamasta. Jos pilli on pykälöity, sopii sitä käyttää pienien nestemäärien mittaamiseen.

VIII.

Aaltoliike. Pitkittäinen aalto. Poikittainen aalto. Neste-aallot. Aaltojen yhtyminen. Poikittaisen aallon heijastuminen kiinteästä pisteestä. Kumu. Seisova aalto. Heijastuminen vapaasta pisteestä. Pitkittäisen aallon heijastuminen.

Lukija on varmaankin nähnyt tuulessa aaltoilevan viljavainion. Kun tuulen puuska saapuu vainion laitaan, painaa se ensimmäiset tähkäpäät alas; viljavainion pintaan syntyy siten syvennys. Tuuli kulkee eteenpäin, seuraavat tähkäpäät kumartuvat vuorostaan alas, vaan edelliset nousevat taas korren kimmoavaisuuden vuoksi ylös. Syvennys viljavainion pinnassa on siirtynyt eteenpäin. Ensimmäiset tähkäpäät painuvat taas alas, seuraavat nousevat nyt ylös ja vielä kauempana vainiolla olevat tähkäpäät painuvat alas. Siten kulkee aaltomainen liike vainion yli samalla nopeudella kuin tuuli. Tähkäpäät heiluvat edestakaisin korsiansa päissä, ne eivät kulje tuulen mukana. Meillä on tässä esimerkissä joukko toisiansa seuraavia aineosia, tähkäpäitä, jotka tavallaan muodostavat kokonaisuuden, viljavainion. Ulkonainen voima, tuuli, vaikuttaa kuhunkin aineosaan poistaen sen tasapainoasemastaan. Aineosat palajavat taas takaisin tasapainoasemiinsa toisen voiman, korren kimmoavaisuuden, vaikutuksesta. Ulkonaisen voiman vaikutus etenee yhdestä aineosasta toiseen, joten kukin aineosa joutuu samanlaiseen liikkeeseen tasapainoasemaansa nähden, mutta sitä myöhemmin kuta kauempana se on niistä osista, joihin ulkonainen voima ensin vaikutti.

Emme kumminkaan voi pitää osien muodostamaa kokonaisuutta, viljavainiota, kappaleena, sillä osien välillä ei ole olemassa mitään aineellista yhteyttä. Ulkonaisen voiman vaikutus yhteen osaan ei siis voi siirtyä toiseen osaan, vaan vaikuttaa ulkonainen voima kuhunkin osaan erikseen, pannen sen vuorostaan liikkeelle.

Otamme toisen esimerkin. Asetamme vaakasuoraan uraan pallon. Toisen yhtä raskaan pallon otamme käteen ja heitämme sen uraa pitkin ensimmäistä palloa kohti. Heittävä voima on heitetylle pallolle antanut jonkun liikepaljouden, jonka suuruuden määrää pallon massa ja sen nopeus. Liikkuva pallo sattuu nyt levossa olevaan palloon. Pallot muuttavat muotoansa, litistyvät siinä pisteessä, missä ne koskettavat toisiinsa. Jos pallot ovat kimmoamattomia, jää tämä muodonmuutos pysyväksi. Työntävä pallo ja työnnetty pallo muodostavat nyt yhteensä kappaleen, jonka massa on kaksi kertaa niin suuri kuin työntävän pallon. Liikepaljous ei ole työnnon kautta lisääntynyt eikä vähentynyt. Sama voima, joka pani heitetyn pallon liikkeelle, vaikuttaa nyt kaksi kertaa suurempaan massaan. Molemmat pallot lähtevät liikkeelle, mutta nopeus on vain puolet työntävän pallon nopeudesta.

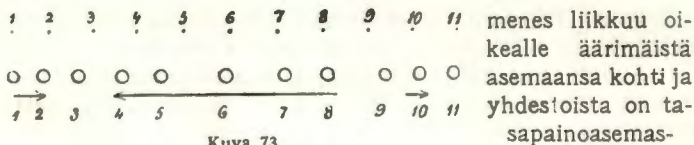
Toisin on asian laita, jos pallot ovat kimmoavia. Ensin tapahtuu työntö kimmoavienkin pallojen välillä kuten äsken kerroimme, pallot puristuvat vastakkain, litistyvät ja työntävä pallo luovuttaa puolet liikepaljoudestaan levossa olevalle pallolle. Pallojen muodonmuutos ei jää nyt kumminkaan pysyväksi, vaan ponnahtavat pallot taas entiseen muotoonsa. Voima, joka aikaansai muodon muutoksen, vaikuttaa vielä kerran. Työntävä pallo menettää liikepaljoudestaan ja työnnetty pallo voittaa liikepaljoutta saman verran kuin pallojen sattuessa yhteen. Työntävä pallo on menettänyt siis koko liikepaljoutensa ja on se tullut levossa olevan pallon hyväksi, toisin sanoen, työntävä pallo tulee lepoon, työnnetty lähtee liikkeelle sillä nopeudella mikä työntävällä oli.

Asetamme nyt uraan koko rivin tällaisia kimmoavia palloja siten, että pallot koskettavat toisiinsa. Uudistamme keemme heittämällä pallon rivin toisessa päässä ensimmäistä palloa vastaan. Työntävä pallo luovuttaa kaiken liikepaljoutensa ensimmäiselle levossa olevalle pallolle. Tämä pallo työntää samassa simänräpäyksessä toista palloa ja luovuttaa sille liikepaljoutensa, se työntää kolmatta j. n. e. pitkin koko riviä. Viimeisen edellinen pallo työntää viimeistä. Sekä ensimmäinen työntävä pallo että koko pallorivi, paitsi viimeinen, jäävät lepoon ja viimeinen pallo lähtee liikkeelle sillä nopeudella, millä työntävä pallo sattui ensimmäiseen rivin päässä.

Ulkonaisen voiman vaikutus siirtyy täten pallosta palloon läpi koko rivin ja kukin yksityinen pallo pysyy paikallaan.

Ajattelemme pallot kiinnitetyiksi kuten tähkäpääät kimmoavien varsien päihin niin, että ne eivät välittömästi kosketa toisiinsa, vaan että ne kumminkin varren heiluessa voivat sattu toisiinsa. Annetaan ensimmäiselle pallolle sysäys pallorivin suuntaan. Pallo lähtee liikkeelle hidastuvalla nopeudella, koska varren kimmoavaisuus vetää sitä sysäyksen vastaiseen suuntaan tasapainoasemaan takaisin. Pallo sattuu seuraavaan palloon, luovuttaa sille liike-energiansa ja pysähtyy. Seuraavassa silmänräpäyksessä lähtee pallo varren kimmoavaisuuden vuoksi takaisin tasapainoasemaansa kohti, liikkuen nyt kiihtyvällä nopeudella, kulkee tasapainoasemansa ohi toiselle puolelle sitä, pysähtyy taas j. n. e. Se heiluu kuten heiluri edestakaisin tasapainoasemansa molemmin puolin. Toinen rivissä oleva pallo lähtee liikkeelle myöhemmin, kolmas vielä myöhemmin j. n. e. Kaikki liikkuvat ne samalla lailla tasapainoasemiensa molemmin puolin.

Tarkastamme pallojen asemaa toisiinsa nähden, kun ulkonaisen voiman vaikutus on ehtinyt edistyä jonkun matkaa pallorivissä. Otaksumme, että sen ajan kuluessa, jossa ensimmäinen pallo on tehnyt yhden heilahduksen edestakaisin tasapainoasemansa molemmin puolin, ulkonaisen voiman vaikutus on ehtinyt edistyä vasemmalta oikealle, olkoonpa yhdenteentoista palloon saakka. Ensimmäinen pallo on juuri tasapainoasemassaan, liikkuen suurimmalla nopeudellaan oikealle. Toinen pallo, joka alkoi liikkeensa myöhemmin, ei ole vielä ehtinyt takaisin tasapainoasemaansa; se on tasapainoaseman vasemmalla puolella liikkuen tasapainoasemaansa kohti. Kolmas pallo on ehtinyt suorittaa $\frac{3}{4}$ heilahduksestaan; se on tasapainoasemansa vasemmalla puolella äärimäisessä asemassaan ja levossa. Neljäs pallo on tasapainoasemansa vasemmalla puolella ja liikkuu vasemmalle; samoin viides pallo, vaikka lähempänä tasapainoasemaansa. Kuudes pallo on ehtinyt tehdä puolet heilahduksestaan, se on siis tasapainoasemassaan ja liikkuu suurimmalla nopeudellaan vasemmalle. Seitsemäs pallo on tasapainoasemansa oikealla puolella liikkuen vasemmalle; samoin kahdeksas. Yhdeksäs pallo on ehtinyt tehdä $\frac{1}{4}$ heilahduksestaan, se on kauimpana oikealla ja levossa. Kym-



Kuva 73.

menes liikkuu oikealle äärimäistä asemaansa kohti ja yhdessä on tasapainoasemaan, ei vielä ole lähtenyt liikkeelle. Jos nyt tarkastamme pallojen asemaa toisiinsa nähden, niin huomaamme, että pallot 1—3 ovat lähempänä toisiansa, pallot 3—9 kauempana toisistaan ja pallot 9—11 taas lähempänä toisiansa kuin lepotilassa. Mitä pallojen liikesuuntaan tulee, niin liikkuvat pallot 1 ja 2 oikealle, pallot 4—8 vasemmalle, pallo 10 oikealle, pallot 3, 9 ja 11 ovat levossa.

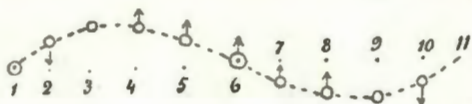
Pallojen asemasta ajattelemme jonkun kimmoavaisen aineen molekylejä. Noiden kimmoavien varsien sijaan saamme silloin ne voimat, jotka yhdistävät kappaleen molekyylit toisiinsa. Kuten tiedämme voivat kappaleen molekyylit liikkua tasapainoasemistaan eri suuntiin, lähestyä toisiansa ja loitota toisistaan niiden välisen yhteyden katkeamatta, kunhan vaan loitoneminen tasapainoasemasta ei mene määrätyn aineen laadusta riippuvan rajan yli. Ajattelemme molekyliriviä. Ensimmäinen molekylillä saa sysäyksen rivin suuntaan. Sysäyksen vaikutus siirtyy molekylistä molekylisiin pitkin riviä valan samalla lailla kuin pitkin palloriviä. Kukin molekylillä värajää edestakaisin tasapainoasemansa molemmiin puolin kulkien suoraviivaista rataa, jolla on sama suunta kuin molekylirivillä. Paikoittain ovat aineen molekyylit lähempänä toisiansa, paikoittain kauempana toisistaan kuin tasapainoasemissaan, aineessa syntyy vuorottaisia tiivistyksiä ja harvennuksia, jotka siirtyvät eteenpäin nopeudella, joka on riippuva aineen laadusta. Tällaista liikettä aineessa nimitetään myös *aaltoliikkeeksi*. Yksityisten hiukkasten liike on *värähdysliike*. Koska hiukkasten liikesuunta on sama kuin aaltoliikkeen etenemissuunta, saa tällainen aaltoliike nimen *pitkittäinen* (longitudinalinen) aaltoliike. Yksityisten hiukkasten äärimäisten asemien väli, niiden kulkeman radan pituus saa nimen *värähdysväli* (amplitudi). Aika, jonka kuluessa hiukkanen suorittaa yhden värähdyksen, kulkee ratansa edestakaisin, on värähdysaika.

Äskeisessä esimerkissä olivat molekyylit 1 ja 11 samassa asemassa, molekyyli 1 oli tehnyt yhden värähdyksen ja alkoi seuraavassa silmänräpäyksessä toista värähdystä, molekyyli 11 alkoi samassa hetkessä ensimmäistä värähdystä. Muut välillä olevat molekyylit olivat suorittaneet suuremman tai pienemmän osan radastaan. Kahden samassa värähdystilassa olevan hiukkasen väli saa nimen *aallonpituus*. Aaltoliike etenee siis yhden aallonpituuden siinä ajassa, jossa hiukkaset suorittavat yhden koko värähdyksen. Jos siis aalto etenee aineessa esim. $1,000 \frac{\text{m}}{\text{sek.}}$ ja hiukkasten värähdysaika on $\frac{1}{10}$ sek., niin etenee aalto yhden aallonpituuden $\frac{1}{10}$ sekunnissa ja 1 sek. 10 aallonpituutta. Jokainen aalto on siis 100 m pitkä. Päinvastoin, jos tiedämme, että aalto on 100 m pitkä, niin voimme laskea värähdysajan. Kun tunnemme värähdysajan, niin tiedämme myös, montako värähdystä hiukkanen tekee 1 sekunnissa. Tätä lukua sanotaan *värähdyslukuksi*. Esimerkissämme on värähdysluku 10.

Pitkittäinen aaltoliike voi syntyä kaikissa aineissa, kiinteissä, nesteissä ja kaasuissa. Kun lyömme tangon päähän sen pituussuuntaan, syntyy tangossa pitkittäisiä aaltoja, jotka kulkevat tangon toiseen päähän. Kun kädellämme teemme nopean liikkeen, syntyy ilmassa pitkittäinen aalto. Kun pumppun mäntä sattuu pumpputorveen nousseen veden pintaan, kulkee tällainen aalto pumpputorven pohjaan.

Järjestämme pallomme hiukan toisella tavalla. Kiinnitämme ne kaikki kimmoavaan lankaan, jonka jännitämme suoraksi. Pallot eivät nytkään välittömästi kosketa toisiinsa. Annamme ensimmäiselle pallolle sysäyksen kohtisuoraan lankaa vastaan, vaikkapa alaspäin. Pallo liikkuu nyt vallan samalla lailla kuin pitkittäisessä aaltoliikkeessä. Sen rata on nyt kumminkin kohtisuora palloja yhdistävää viivaa vastaan. Kun ensimmäinen pallo lähtee liikkeelle alaspäin, vetää se toisenkin pal' on mukanaan, koska pallot olivat yhdistetyt toisiinsa tuolla kimmoavalla langalla. Toinen pallo alkaa kumminkin liikkeensä myöhemmin syystä, että välillä oleva lanka venyy jonkun verran, ennenkuin sen kimmoavaisuus pakottaa toisenkin pallon lepotalastaan liikkeelle. Toinen pallo vie mukanaan kolmannen j. n. e. pitkin koko palloriviä. Oletamme taaskin, että palloja on 11 ja että liike on ehtinyt edistyä tämän matkan pallon

11, kun ensimmäinen pallo on suorittanut yhden värähdyksen. Ensimmäinen pallo on silloin taas tasapainoasemassaan ja liikkuu suurimmalla nopeudellaan alaspäin. Toinen pallo on tasapainoasemansa yläpuolella ja liikkuu alaspäin. Kolmas on ylimmässä asemassaan ja on levossa. Neljäs ja viides ovat tasapainoasemansa yläpuolella liikkuen äärimäistä asemaansa kohti, siis ylöspäin. Kuudes on suorittanut puolet värähdyksestään ja on tasapainoasemassaan liikkuen suurimmalla no-



Kuva 74.

peudellaan ylöspäin. Lanka pallojen 1 ja 6 välillä muodostaa kaaren tasapainoasemasta ylöspäin, sen korkein paikka on

pallo 3. Pallot 7 ja 8 ovat tasapainoasemiensa alapuolella liikkuen ylöspäin. Pallo 9 on alimmassa asemassaan ja levossa. Pallo 10 ei ole vielä ehtinyt alimpaan asemaansa, se liikkuu tasapainoasemastaan alaspäin. Pallo 11 alkaa liikettään. Pallojen 6 ja 11 välillä muodostaa lanka kaaren tasapainoasemasta alaspäin. Syvin paikka on pallo 9.

Tällainen aaltoliike saa nimen *poikittainen* (transversalinen) aaltoliike. Se osa aaltoa, jossa hiukkaset ovat tasapainoasemiensa yläpuolella, saa nimen aallon *harja*, se osa, missä ne ovat tasapainoasemiensa alapuolella, nimen aallon *laakso* eli aallon pohja. Kumpikin on puolet aallon pituudesta. Poikittainen aaltoliike voi syntyä ainoastaan kiinteissä aineissa. Nesteidien hiukkasten välinen kohesionivoima on siksi pieni, että hiukkasen lähtiessä liikkeelle tämän hiukkasen vieressä löytyvät hiukkaset eivät seuraa mukana. Kaasuilla ei kohesiovoimaa laisinkaan olekaan. Tangossa, jota lyömme poikittain, jousella hangatussa viulun kielessä syntyy poikittainen aaltoliike.

On olemassa aaltoliikkeitä, jotka eivät ole pitkittäisiä eikä poikittäisiä. Sellaisen aaltoliikkeen voi kumminkin aina ajatella kokoonpannuksi pitkittäisestä ja poikittäisestä aaltoliikkeestä, jotka yhdistetään liikkeiden suunnikkaan avulla, kuten aikaisemmin on näytetty. Hiukkasten radat ovat silloin ylipäänsä suljettuja viivoja, esim. ympyröitä tai ellipsejä.

Sellainen aaltoliike syntyy esim. nesteissä, kun osa nestettä ulkonaisen voiman vaikutuksesta nousee ylemmäksi kuin nesteen pinta ja sitten painovoiman vaikutuksesta taas painuu alas.

Jos tyyneen veden pintaan heitetään kivi, painuu vesi sillä paikalla alas. Kun vesi kumminkin on aivan vähän koonpuristuva, niin vesihuukkaset väistyvät kiven tieltä sivuille päin. Ympärillä olevat huukkaset estävät kumminkin niiden siirtymistä suoraan sivuille, joten huukkaset sen paikan ympärillä, mihin kivi putoaa, saavat liikkeen viistoon ylöspäin. Vesi nousee renkaan muotoisesti ylös. Painovoima vetää tätä ylösnousutta vettä taas alas. Alas painuessaan sysää se taas ympärillä olevia huukkasia ja keskustassa olevia huukkasia ylös. Jatkuvaisuutensa vuoksi kulkee neste tasapainoasemansa ohi, joten tuon renkaanmuotoisen kohopaikan kohdalle syntyy renkaanmuotoinen syvennys, sen sisäpuolelle kohopaikka ja ulkopuolelle uusi renkaanmuotoinen kohopaikka. Siten nousee ja laskee vesi vuorotellen keskellä, ja pitkin veden pintaa leviää renkaanmuotoisia aaltoja. Vesihuukkasien radat ovat ympyröitä, joiden halkaisija on aallon harjan ja aallon laakson kohtisuora väli. Että huukkasien radat muodostuvat ympyröiksi seuraa siitä, että liike on yhdistetty painovoiman aikaansaamasta liikkeestä luotiviivaa pitkin ja ylösnousseen veden paineesta sivuille päin. Nestehiukkaset eivät kulje aallon mukana, minkä seikan kyllä huomaa nesteen pinnalla kellovasta esineestä. Esine nousee ja laskee aallon mukana ja ellei mikään ulkonainen voima, kuten tuuli, aja sitä eteenpäin, pysyy se samalla paikalla.

Usein tapahtuu, että kaksi aaltoliikettä, jotka alkavat eri paikoista, levitessään tunkeutuvat toistensa alalle. Jos veden pinnalle heitetään kaksi kiveä eri paikkoihin, syntyy kaksi aaltoa, jotka levitessään kulkevat toistensa läpi ja aikaansaavat veden pinnalla verkon kohopaikkoja ja syvennyksiä. Missä aallon harja sattuu samalle paikalle kuin toisen aallon harja, syntyy korkeampi harja, missä laakso yhtyy laaksoon, syntyy syvempi laakso. Missä taas yhden aallon harja ja toisen aallon laakso yhtyvät, syntyy joko matalampi harja tai matalampi laakso tai tulee veden pinta lepoon riippuen kussakin tapauksessa siitä, kumpiko aalto on voimakkaampi tai ovatko ne yhtä voimakkaat, sekä siitä, mikä osa yhden harjasta tai laaksosta

yhtyy toisen laaksoon tai harjaan. Jolleivät aaltojen aallonpituudet ole yhtä suuret, niin vaihtelevat aaltojen yhtymisestä syntyneet ilmiöt yhtämittaa. Ylipäänsä on asianlaita se, että jos useammat samanlaiset tai erilaiset aallot vaikuttavat samaan hiukkaseen, niin hiukkasen lopullinen liike on tulos kaikkien yksityisten aaltojen sille antamista liikkeistä, on niiden resultantti. Kukin aalto antaa hiukkaselle liikkeensä vallan niinkuin toisia aaltoja ei olisikaan. Tässäkin toteutuu voimien riippumattoman vaikutuksen laki. Jos mahtavasti aaltoilevan meren pinnalle tippuu vesipisaroihin soutajan airoista, niin aikaansaavat pisarat uusia aaltoja noiden suurien aaltojen pinnalla, jotka uudet aallot syntyvät vallan niin kuin ne syntyisivät, jos merenpinta olisi tyyni. Tätä lakia sanotaan aalto-opissa värähdysten *päällekkäisperusteeksi* (superpositioniprintsipiksi). Mitä tässä olemme sanoneet nesteaaltoista, koskee vallan muuttumattomana myös poikittaisia ja pitkittäisiä aaltoja. Jälkimmäisissä aaltojen yhtyminen aikaansaa muutoksia yksityisten aaltojen synnyttämissä tiivistyksissä ja ohennuksissa.

Useampien aaltojen yhtymistä sanotaan *interferenssiksi*. Kuitenkin tarkoitetaan tällä sanalla tavallisesti kahden tai useamman *s a m a n l a i s e n* aallon yhtymistä s. o. aaltojen, joilla on sama aallon pituus ja sama etenemisnopeus. Sellaisten aaltojen interferenssin aikaansaamat ilmiöt eivät ole muuttuvia. Jos aallot jollakin paikalla yhtyvät niin, että ne vahvistavat toisiansa, niin ne tällä paikalla aina vahvistavat toisiansa, jos ne jollakin paikalla kumoavat toisensa, jolloin sillä paikalla oleva ainehiukkanen on levossa, niin ne aina kumoavat siinä toisensa niinkauan kuin molemmat aallot kestävät. Jos ajattelemmme kaksi tällaista aaltoa kulkevan samaan suuntaan, niin on selvää, että jos niiden kulkemien matkojen ero on parillinen lukumäärä puolia aaltoja, niin ne joka pisteessä vahvistavat toisiansa, koska silloin aina harja yhtyy harjaan ja laakso laaksoon tai, jos aallot ovat pitkittäisiä, tiivistys tiivistykseen ja ohennus ohennukseen. Jos taas aaltojen kulkemien matkojen ero on pariton lukumäärä puolia aaltoja, niin aallot kaikkialla heikontavat toisiansa, koska nyt kaikkialla harja yhtyy laaksoon, tiivistys ohennukseen. Jos jälkimmäisessä tapauksessa molemmilla aalloilla on yhtä suuri värähdysvälikin,

niin ne kumoavat toisensa kokonaan ja interferenssin seurauksena on hiukkasten lepo.

Olemme tähän saakka olettaneet, että aalto leviää rajattomassa väliaineessa, että aaltoliike syntyy jossakin pisteessä tässä aineessa ja leviää siitä kohtaamatta mitään estettä kulkiessaan. Tarkastamme aaltoliikettä rajoitetussa aineessa. Sitä varten palajamme vielä kerran noihin kimmoaviin palloihin.

Otaksumme, että rivin viimeisen pallon taakse on asetettu joku kiinteä taso, jonka massa siten on äärettömän suuri verrattuna pallon massaan ja joka on kohtisuora palloriviä vastaan. Kulkekoon riviä pitkin pitkittäinen aalto. Kun aalto on saapunut viimeiseen palloon, lähtee pallo liikkeelle ja kohtaa tasoa. Pallo litistyy tasoa vastaan ja pysähtyy. Kun näet tason massaa voimme pitää äärettömän suurena pallon massa verrattuna, niin pallon koko elävä voima kuluu tämän äärettömän massan liikkeelle panemiseen pallon liikesuuntaan, eikä tuo ääretön massa kumminkaan lähde liikkeelle. Kun pallo sitten kimmoavaisuutensa vuoksi saa entisen muotonsa, painuu se kerran vielä tasoa vastaan ja tason vastavaikutus ilmenee vastaisen suuntaisena työntönä palloon. Rivin viimeinen pallo saa siis sattuuksaan tasoon yhtä voimakkaan sysäyksen kuin rivin ensimmäinen pallo sai, mutta vastaiseen suuntaan. Viimeisestä pallosta lähtee siis vallan samanlainen pitkittäinen aalto kulkemaan riviä pitkin kuin ensimmäisestä pallosta, mutta vastaiseen suuntaan. Pallorivin päässä heijastuu aalto takaisin. Tässä tapauksessa, kun viimeinen pallo kohtaa kiinteän esteen, heijastuu pallorivin päässä tiivistys tiivistyksenä, pallorivin päässä vaikuttaa voima vallan samoin kuin ensimmäinen rivin alussa vaikuttanut sysäys.

Toinen on asian laita, jos viimeinen pallo ei kohtaa kiinteätä estettä. Jos pallojen välillä ei ole mitään yhteyttä, lentää viimeinen rivissä oleva pallo tiehensä, kuten jo olemme maininneet. Ajattelempa pallot yhdistetyiksi kimmoavilla kierrejousilla, joten pallot eivät voi poistua rajatonta matkaa tasapainoasemistaan. Rivin viimeinen pallo poistuu tasapainoasemastaan rivin suuntaan kohtaamatta mitään estettä. Sen ja edellisen pallon välinen kierrejousi jännittyy ja pallo vetää mukanaan edellistä palloa. Se vetää vuorostaan edellistä j. n. e.

Pallojen välimatkat tulevat siten suuremmiksi kuin niiden välit olivat tasapainoasemissa, alkuperäisen aallon rivin päässä aikaansaama tiivistys muuttuu täten harvennukseksi, aallon tiivistys heijastuu takaisin ohennuksena.

Olkoon pallorivin aaltoliike poikittainen ja olkoon viimeinen pallo rivissä kiinteä. Rivin ensimmäinen pallo saakoon sysäyksen ylöspäin, aalto kulkee viimeiseen palloon saakka. Viimeisen edellinen pallo pyrkii pallojen väliin jännitetyllä nauhalla vetämään viimeistäkin palloa ylöspäin. Kun kumminkin pallo on kiinteä, ei se voi totella tätä vetoa, vaan seurauksena on, että pallo vetämisen johdosta muuttaa muotoaan venyen ylöspäin. Kun tämä muodon muutos sitten pallon kimmoavaisuuden vuoksi taas häviää, pallo saa entisen muotonsa, niin vaikuttaa se palloon työnnin tavoin ylhäältä päin. Tämä työnti siirtyy pallosta palloon taakse päin. Kiinteään palloon tullut aallonharja heijastuu siitä takaisin aallonlaaksona.

Tässäkin on asianlaita toinen, jos viimeinenkin pallo on vapaa. Silloin viimeinenkin pallo siirtyy ylöspäin ja vetää edellistä palloa mukanaan, se taas edellistä j. n. e. Viimeisestä pallosta leviää aallonharja takaisinpäin ja harja heijastuu siis nyt harjana.

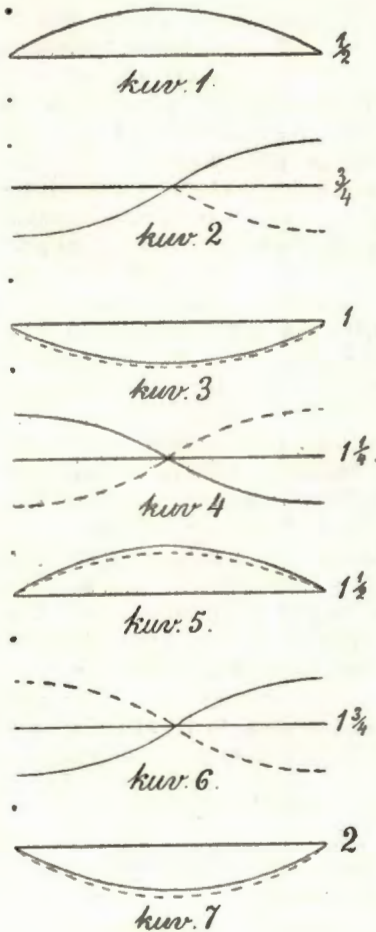
Tarkastamme millaiseen tilaan pallorivimme joutuu sen johdosta, että aalto heijastuu pallorivin päästä. Kun ensimmäinen pallo saa poikittaisen sysäyksen, kulkee poikittainen aalto viimeiseen palloon saakka. Rivin päässä heijastuu aalto. Olkoot rivin päät kiinteät. Silloin heijastuu harja laaksona ja laakso harjana. Tämä uusi aalto kulkee rivin läpi vastakkaiseen suuntaan ja heijastuu taas rivin alussa samalla lailla. Rivin alusta alkaa siis taas uusi aalto, vallan samanlainen kuin tuon ensimmäisen sysäyksen synnyttämä. Kun siis aalto on kulkenut kaksi kertaa rivin läpi, on se taas alkuperäisessä tilaansa. Aalto kulkee siten edestakaisin riviä pitkin ja kulkisi se siten ikuisesti, ellei pallojen liike-energia vähenisi siten, että se osaksi muuttuu lämmöksi ympäröivään aineeseen hankautumisen johdosta, osaksi siirtyy ympäröivässä aineessa syntyvään aaltoliikkeeseen. Värähdysväli pienenee siis yhtämittaa ja vihdoin lakkaa aaltoliike kokonaan, aalto vaimenee.

Otaksumme nyt, että ensimmäiselle pallolle annetaan sysäyksiä yhtämittaa. Siten syntyy yhtämittaa uusia aaltoja,

jotka kulkevat riviä pitkin ja heijastuvat rivin päistä. Rivissä kulkee siis aaltoja molempiin suuntiin, osaksi uusien sysäyksien aikaansaamia, osaksi rivin päistä heijastuneita. Jos sysäykset eivät tapahdu niin, että aalto aina kahden sysäyksen välillä ehtii kulkea yhden tai useampia kokonaisia kertoja rivin päästä päähän, niin alkuperäiset aallot ja heijastuneet aallot sotkeutuvat toisiinsa ja niiden inferenssin johdosta rivissä syntynyt tila vaihtelee yhtämittaa, sillä ne milloin vahvistavat milloin heikontavat toisiansa samalla paikalla riviä. Jos sitävastoin sysäykset annetaan sellaisten väliaikojen kuluttua, että sillä ajalla aalto ehtii kulkea kerran, kaksi kertaa, kolme kertaa j. n. e. edestakaisin rivin päästä päähän tai niin, että sillä aikaa kuin aalto kulkee kerran päästä päähän annetaan yksi, kaksi, kolme j. n. e. sysäystä, niin silloin alkuperäiset ja heijastuneet aallot yhtyvät aina samalla lailla ja pallorivin liiketila ei muutu. Ainoastaan tällä ehdolla vahvistavat alkuperäinen ja heijastunut aalto toisiansa. Vähäpätöisistäkin sysäyksistä voi täten syntyä hyvinkin voimakas aaltoliike, kun jokainen uusi sysäys aina vahvistaa jo ennen syntyntä aaltoliikettä. Tällaista liikkeen kasvamista uudistuvien sysäyksien johdosta huomataan muillakin aloilla. Heiluri, joka saa aina uuden sysäyksen heiluttuaan kerran edestakaisin, tekee yhä laajempia heilahduksia. Galileikin sanoo: »Jo lapsena olen nähnyt, kuinka yksi ainoa mies voi saada mahdottoman suuren kirkonkellon heilumaan antamalla sille sysäyksiä sopivan ajan kuluttua». Sopiva aika on tässä se aika, jonka kuluessa kello tekee yhden heilahduksen. Sitä ilmiötä, että aaltoa synnyttävät värähdykset, sysäykset, ovat sopusoinnussa aallon kulun kanssa edestakaisin rajoitetussa väliaineessa, nimitetään *resonanssiksi, kumuksi*.

Voimme jättää ajattelun pallorivimme ja ryhtyä tarkastamaan näitä ilmiöitä todellisessa aineessa.

Otamme ohuen nuoran, kiinitämme sen toisen pään ja toisen pään otamme joko käteen tai kiinnitämme sen kimmoavaan jouseen. Kädellä tai jousella annamme nuoran päälle poikkittaisia värähdyksiä, jotka olkoot niin nopeita, että aalto ehtii yhden värähdyksen ajalla kulkea nuoran pituuden edestakaisin päästä päähän. Kun nuoran pää on suorittanut puolet värähdyksestään, on aallon harja ehtinyt nuoran toiseen



Kuva 75.

nut aalto kumoavat toisensa nuoran jokaisessa pisteessä, koska ne pyrkivät viemään niitä vastakkaisiin suuntiin. Kaikki pisteet nuoralla ovat tasapainoasemissaan. Taas $\frac{1}{4}$:n värähdysajan kuluttua ovat kaikki nuoran pisteet tasapainoasemiensa

päähän (kuv 1). Se heijastuu laaksona. Kun laakso on ehtinyt paluumatkallaan puoliväliin nuoraa, on nuoran alustakin ehtinyt laakso puoliväliin nuoraa, koska nuoran pää on suorittanut $\frac{3}{4}$ värähdyksestään (kuv. 2). Tässä pisteessä yhtyvät molemmat laaksot. Sitä myöten kuin alkuperäinen aallon laakso etenee nuoran loppua kohti, etenee heijastunut aalto nuoran alkua kohti. Kun nuoran pää on tehnyt yhden koko värähdysajan, on alkuperäisen aallon laakso ehtinyt nuoran loppuun ja heijastuneen aallon laakso nuoran alkuun (kuv. 3). Kaikki nuoran pisteet ovat alapuolella nuoraa ja aallot vahvistavat toisiansa. Kun vielä $\frac{1}{4}$ värähdysajasta on kulunut, on nuoran alusta syntynyt puolet uutta aallon harjaa ja puolet aallon laaksosta on heijastunut harjana nuoran lopusta. Näemme (kuv. 4), että alkuperäinen ja heijastunut

yläpuolella (kuv. 5). Alkuperäinen ja heijastunut aalto vahvistavat toisiansa kaikissa pisteissä. Vielä $\frac{1}{4}$ värähdysajan kuluttua kumoavat aallot toisensa kaikissa pisteissä, kaikki pisteet ovat tasapainoasemissaan (kuv. 6). Kun vihdoin aikaa on kulunut kaksi kertaa värähdysaika, ovat kaikki pisteet alimmassa asemassaan (kuv. 7). Näemme siis, että kaikki nuoran pisteet väräjävät y h t ' a i k ä ä, ne kulkevat yht'aikaa tasapainoasemiensa läpi, ne ovat yht'aikaa ylimmässä ja alimmassa asemassaan. Suurin värähdysväli on nuoran keskellä, väli pienenee molempiin päihin ja nuoran päät ovat levossa. Tosin se pää, josta alkuperäinen aalto syntyy, väräjäy ylös ja alas käden tai jousen liikkeessä, vaan tämä liike tapahtuu ensin aallon aikaansaamista ja sitten aallon ylläpitämistä varten, koska aalto muutoin lakkaisi. Tämäkin pää on kyllä aaltoon nähden kiinteä, sillä siitäkin heijastuu aalto kuten toisestakin päästä eikä aalto voi levitä tätä pistettä kauemmaksi.

Aina puolen värähdysajan kuluttua kulkevat kaikki nuoran pisteet tasapainoasemiensa läpi. Nuoran pituus on p u o l e t alkuperäisen aallon pituudesta.

Tällainen aaltoliike on siis kadottanut kokonaan etenevän aaltoliikkeen luonteen, se on niin sanoaksemme pysähtynyt noiden kahden pisteen, nuoran päiden, väliin. Sellaista aaltoliikettä sanotaankin senvuoksi *seisovaksi aaltoliikkeeksi*. Nuo pisteet, nuoran päät, jotka ovat levossa, saavat nimen *värähdysolmut* ja se paikka, missä värähdysväli on suurin, saa nimen *värähdyskupu*.

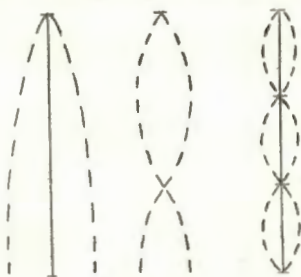
Kun nuora väräjäy niin, että kummassakin päässä on solmu ja keskellä kupu, sanotaan nuoran tekevän perusvärähdyksensä. Voimme kumminkin saada nuoran muullakin tavalla väräjäämään.

Jos annamme nuoran päälle niin nopeita värähdysä, että yhden koko värähdysen aikana aalto ehtii nuoran toiseen päähän, niin syntyy seisova aalto, jonka aallonpituus on puolet nuoran pituudesta. Syntyy siis solmuja, paitsi nuoran molempiin päihin, myös nuoran keskelle. Nuora jakautuu kahteen kupuun. Antamalla nuoran päälle sellaisia värähdysä, että aalto ehtii nuoran toiseen päähän ajassa, jossa toinen pää suorittaa $1\frac{1}{2}$ värähdystä, jakautuu nuora kolmeen kupuun j. n. e. Ylipäänsä tulee, jos mieli saada nuora seisovaan

aaltoliikkeeseen, värähdysajan olla sellainen, että nuoran pituus on kokonainen lukumäärä värähdyksistä syntyneen etenevän aaltoliikkeen puolia aallonpituuksia. Ellei niin ole, ei synny seisovaa aaltoa, sillä etenevän ja heijastuneen aallon yhtymisestä syntyneen aallon värähdyskuvut ja solmut sattuvat joka hetki eri paikkoihin nuoralla.

Kun nuora jakaantuu niin, että syntyy sillä yksi, kaksi, kolme j. n. e. solmua, paitsi solmuja nuoran päihin, niin nuora tekee ensimmäisen, toisen, kolmannen j. n. e. ylivärähdyksensä.

Olisi vielä tarkastettava sitä tapausta, että nuoran toinen pää olisi vapaa eikä kiinteä. Voimme ajatella nuoran riippuvassa asemassa. Kun nyt aalto etenee kiinteästä päästä ja saapuu vapaaseen päähän, niin, kuten jo ennen olemme nähneet, aallonharja heijastuu harjana, tämä sitten kiinteässä päässä laaksona, tämä taas vapaassa päässä laaksona ja se vihdoin kiinteässä päässä harjana. Siis näemme, että vasta sitten kun aalto on kulkenut nuoran pituuden neljä kertaa, se taas lähtee kiinteästä päästä samanlaisena kuin se alkujaan oli. Jotta nuora tekisi perusvärähdyksensä, tulee siis värähdysajan olla sellainen, että aalto sillä ajalla kulkee neljä kertaa nuoran pituuden. Silloin kulkevat alkuperäisen ja heijastuneen aallon harjat ja laaksot yhdessä nuoran päästä toiseen vahvistaen toisiaan.



Kuva 76.

Samalla tavalla joutuu toisesta päästä kiinnitetty sauvakin seisovaan aaltoliikkeeseen ja onkin sauva tässä tapauksessa luonnollisempi kuin nuora. Nuoran tai sauvan kiinteässä päässä on solmu ja vapaassa päässä kupu. Nuoran pituus on $\frac{1}{4}$ alkuperäisen ja $\frac{1}{2}$ seisovan aallon pituudesta. Ensimmäinen ylivärähdys syntyy, kun nuora tai sauva jakautuu niin, että kiinteässä päässä on solmu, $\frac{2}{3}$ sauvan pituudesta taas solmu ja vapaassa päässä kupu. Pituus on siis $\frac{3}{2}$ seisovan ja $\frac{3}{4}$ alkuperäisen aallon pituudesta. Kun nyt, kuten jo näimme, aallon tulee seisovan aallon syntymistä varten kulkea päästä päähän neljä kertaa ja nuora tai sauva oli $\frac{3}{4}$ aallon pituudesta, niin neljä kertaa kul-

kemiseen kuluu 3 kertaa värähdysaika. Ensimmäinen ylivärähdys syntyy siis, jos värähdysaika on $\frac{1}{3}$ siitä ajasta, joka aikaansai perusvärähdyksen. Samoin huomaamme toisen ylivärähdyksen syntyvän, jos värähdysaika on $\frac{1}{3}$ j. n. e. Sen ajan, jossa aalto kulkee päästä päähän 4 kertaa, tulee siis olla **p a r i t o n** kerronnainen värähdysajasta.

Kahta vapaata päätä emme voi saada nuoralle, mutta tangon voimme kiinnittää keskeltä. Tätä tapausta voimme käsitellä edellisen nojalla, pitämällä puolta tankoa yhdestä päästään kiinnitettynä ja toisesta päästään vapaana tankona. Perusvärähdys syntyy siis, jos puolet tangosta on $\frac{1}{4}$ aallon pituudesta tai siis koko tanko $\frac{1}{2}$ aallonpituudesta.

Myös pitkittäisistä aalloista syntyy seisovia aaltoja. Pitkittäisiä seisovia aaltoja syntyy sauvassa, jonka yhteen päähän lyömme sauvan suuntaan, neste- ja kaasupylväissä, joita äkkiä puristamme kokoon pylvään suuntaan.

Ajattelemme kaasuputkea, joka on ilmalla täytetty ja molemmista päistään suljettu. Sen pituus olkoon 140 m. Lähelle molempia päitä on tehty pieni reikä ja reiän eteen asetettu kynttilän liekki. Putken toinen pää on varustettu pienellä kautsukki-pallolla. Puristamme äkkiä tätä palloa kokoon. Putkessa olevassa ilmassa syntyy tiivistys, jonka huomaamme siitä, että tuon pienen reiän eteen asetettu liekki heilahtaa. Tiivistys kulkee putken toiseen päähän, jonka taas huomaamme siellä olevan liekin heilahduksesta. Suljetussa päässä heijastuu tiivistys tiivistyksenä ja kulkee taas putken toista päätä kohti. Liekki ilmoittaa milloin tiivistys saapuu sinne. Siellä heijastuu se taas tiivistyksenä ja kulkee siten edestakaisin putken päästä päähän kunnes se vihdoin vaimenee. Jos kumminkin silloin, kun tiivistys saapuu putken alkupäähän, taas puristamme palloa ja uudistamme tämän joka kerta kun liekki siinä putken päässä heilahtaa, niin syntyy putkeen seisova pitkittäinen aalto. Tarkastamme aikaa, jonka kuluttua liekki heilahtavat. Huomaamme, että kukin liekki heilahtaa yhden sekunnin kuluttua. Aalto kulkee siis putken päästä päähän puolessa sekunnissa. Etenevän aallon pituus on siis $2 \cdot 140 = 280$ m ja seisovan aallon 140 m. Putkessa oleva ilma tekee nyt perusvärähdyksensä. Putken molemmissa päissä olevat hiukaset ovat aina levossa. Päissä syntyy vuorotellen tiivistys ja

ohennus ja siten, että yhdessä päässä on tiivistys ja toisessa samalla hetkellä ohennus. Keskellä putkea on ilman tiheys muuttumaton. Putken päässä on hiukkasten liike pienin, keskellä suurin. Molempiin päihin syntyvät siis värähdysolmut, keskelle putkea kupu. Solmuissa on siis ilma tiheämpää tai ohempaa kuin luonnollisessa tilassaan ja hiukkasten liike pienin, kuvuissa on ilmalla luonnollinen tiheydensä ja on niissä hiukkasten liike suurin.

Jos putken toinen pää olisi avonainen, niin putken suljetusta päästä saapunut tiivistys heijastuisi siinä ohennuksena, se taas putken suljetusta päästä ohennuksena, tämä avonaisuudessa päässä tiivistyksenä ja tämä vihdoin suljetussa päässä tiivistyksenä. Siis vasta sitten kun aalto on kulkenut putken neljä kertaa, on alkuperäinen tila uudistunut. Seisovan aallon pituus on siis tässä tapauksessa kaksi kertaa putken pituus ja etenevän neljä kertaa sama pituus. Putken suljetussa päässä on solmu ja avonaisuudessa päässä kupu. Myös molemmista päistään avonaisuudessa putkessa syntyy seisova aaltoliike. Silloin täytyy molempiin päihin syntyä kuvut ja keskelle solmu. Kun näet ilma putken sisällä putken avonaisuudessa päässä on suoranaudessa yhteydessä ulkoilman kanssa, niin täytyy avonaiseen päähän syntyä kupu, koska siinä ei voi syntyä tiivistystä eikä ohennusta. Yhdestä päästä avonaisen, toisesta suljetun putken perusvärähdyksen aalto on siis neljä kertaa putken pituus; molemmista päistään avonaisen putken kaksi kertaa putken pituus.

Ensimmäinen ylivärähdys syntyy yhdestä päistään avonaisuudessa putkessa siten, että putken suljetussa päässä on solmu, avonaisuudessa kupu ja niiden välillä yksi solmu. Se on tietysti $\frac{2}{3}$ putken pituudesta suljetusta päästä lukien ja $\frac{1}{3}$ avonaisuudesta. Sen aalto on siis $\frac{4}{3}$ putken pituudesta eli putki on $\frac{3}{4}$ aallonpituudesta. Toinen ylivärähdys saadaan, kun putki on $\frac{5}{4}$ aallonpituudesta; silloin on putken päiden välillä kaksi solmua j. n. e. Molemmista päistään avonaisen putken ensimmäinen ylivärähdys syntyy, kun putken sisällä on kaksi solmua. Putken pituus on siis aallonpituus. Toinen ylivärähdys, kun putkessa on kolme solmua, putken pituus on $\frac{3}{2}$ aallonpituudesta j. n. e.

IX.

Äänen synty. Äänen voimakkuus. Äänen nopeus. Sävelet. Sävelen korkeus. Sävelen kovuus. Aallon taipuminen. Aallon heijastuminen. Kaiku. Aallon taittuminen. Dopplerin peruste. Sointuisat ja epäsointuisat sävelet. Sävelen sointi. Soittokoneet. Ihmisääni. Kuuloelin.

Ryhdyimme nyt tarkastamaan ilmiötä, jonka syynä on värähdyksiin liike ja sen aikaansaama aaltoliike. Tämä ilmiö on ääni, jonka kuuloelimillämme käsitämme.

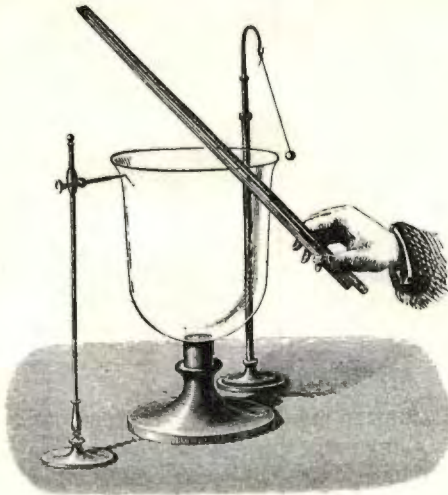
Kun näppäämme viulun kieltä, kun lyömme kellon laitaan t. m. s., niin kuulemme äänen. Jokainen väräjävässä liikkeessä oleva kappale synnyttää, jos värähdyksien luku on määrättyjen rajojen välillä ja jos värähdykset tavalla tai toisella saapuvat korvaamme, äänen.

Tarkastamme ensin muutamia yleisiä ääntä koskevia seikkoja, ennenkuin ryhdymme tarkastamaan erilaisia ääniä.

Väräjävä kappale synnyttää sitä ympäröivässä aineessa vuorottaisia tiivistyksiä ja ohennuksia. Kappaleen väräjämisen johdosta syntyy siis aineeseen pitkittäinen aaltoliike. Tämä aalto leviää kaikkiin suuntiin ja on se pinta, jolle aallon vaikutus kunnakin hetkenä ulottuu, pallon pinta, jonka keskipisteessä väräjävä kappale on. Kuta suurempi pallon säde on, sitä suurempi on sen pinta. Kun säde



Kuva 77. Väräjävä jousi.



Kuva 78. Väräjävä lasimalja lykkää sitä koskettavan kevyen pallon pois.

on 2, 3, 4 j. n. e. kertaa suurempi, on pinta 4, 9, 16 j. n. e. kertaa suurempi. Tästä seuraa, että aalto välimatkan väräjävästä kappaleesta kasvaessa heikkenee samassa suhteessa kuin välimatka itsellään kerrottuna kasvaa, koska niiden ainehiukasten luku, joita aallon tulee panna liikkeelle, kasvaa samassa suhteessa kuin pinta, jolla ne ovat.

Tavallisesti on ilma se aine, jossa ääniaalto leviää, mutta voi se levitä myös nesteissä ja kiinteissä kappaleissa. Joka tapauksessa tulee väräjävä kappaleetta ympäröidä jonkun painollisen aineen, sillä tyhjässä tilassa ei ääniaalto voi levitä. Sen voimme näyttää yksinkertaisella kokeella. Ilmapumpun kellon alle pannaan kello, johon vasara lyö pannen kellon soimaan. Kun ilma imetään pois, lakkaa kellon ääni kuulumasta, vaikka vasara yhä lyö kelloon. Kokemus osoittaa, että kaikki äänet leviävät samassa aineessa samalla nopeudella. Jollei niin olisi, niin olisi kaikki soitanto mahdotonta. Nyt kuulemme kumminkin matkan päästäkin kaikki soitetut sävelet samassa järjestyksessä ja samassa tahdissa kuin ne soitettiinkin. Poikkeuksen tästä säännöstä tekevät erittäin voimakkaat ääniaallot, sellaiset, jotka syntyvät tykinlaukauksista ja räjähdyksistä. Ne leviävät ainakin sen paikan läheisyydessä, missä ne syntyvät, kaksi jopa kolme kertaa suuremmalla nopeudella kuin tavalliset ääniaallot.

Pitkittäisen aallon etenemisnopeus jossakin aineessa on riippuva kahdesta seikasta: aineen kimmoavaisuudesta ja

aineen tiheydestä. Kuta suurempi kimmoavaisuus, sitä suurempi nopeus; kuta suurempi tiheys, sitä pienempi on nopeus. Jos aine, jossa aalto leviää, on kaasua, niin ulkonainen paine vaikuttaa, kuten tiedämme, suuresta määrin tiheyteen. Mutta samalla kaasun puristuessa kokoon lisääntyy kimmoavaisuuskin samassa suhteessa kuin tiheys. Aallon leviämisenopeus kaasuissa on siis riippumaton paineesta, joka kaasua puristaa. Barometrin vaihtelu ei siis vaikuta laisinkaan äänen nopeuteen ilmakehässä. Lämmön vaihtelu vaikuttaa sitävastoin huomattavasti nopeuteen. Tulemme vastedes näkemään, että kaikki kappaleet laajenevat lämmön vaikutuksesta ja kaasut enimmänsä. Kun kaasua puristetaan kokoon, lämpiää se ja lämpiämisen seurauksena on, että kaasun jäntevyys kasvaa suuremmaksi kuin kokoonpuristaminen yksinään ilman lämpiämistä vaikuttaisi. Jos kokoonpuristaminen tapahtuu hitaasti, ehtii syntynyt lämpö levitä ympäristöön ja jänteveyden ja sen mukana kimmoavaisuuden muuttuminen tapahtuu Mariotten lain mukaan. Ilmiö on, kuten sanotaan, *isoterminen*, samalämpöinen. Jos sitävastoin kokoonpuristuminen tapahtuu äkkiä, kuten asian laita on ääniaalloissa, niin syntynyt lämpö ei ehdi tasoittua ympäristöön. Jänteveyden ja kimmoavaisuuden lisääntyminen on siis suurempi kuin Mariotten lain mukaan. Ilmiö on nyt, kuten sanotaan, *adiabatinen*. Kokeuskin todistaa nämä seikat.

Sanoimme seisovista pitkittäisistä aalloista puhuessamme, että aallon nopeus ilmalla täytetyssä putkessa oli $280 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$. Hitaan kokoonpuristumisen vuoksi oli ilmiö isoterminen. Jos taas määräämme kokeellisesti äänen leviämisenopeuden vapaassa ilmassa, huomaamme sen olevan melkoista suuremman. Ilmiö on näet nyt adiabatinen.

Äänen ilmassa saavuttaman nopeuden määrääminen on vallan yksinkertainen asia. Henkilö asettuu mitatun matkan kumpaankin päähän. Toinen ampuu pyssynlaukauksen ja toinen määrää kellon avulla ajan, joka kuluu valoilmion ja äänen kuuluminen välillä. Jos tuuli on vastainen tai myötäinen, on koe tehtävä molempiin suuntiin ja otettava keskiarvo, koska ääni kulkee nopeammin tuulen suuntaan. Kosteassa ilmassa kulkee ääni nopeammin kuin kuivassa, koska kostea ilma on harvempaa. Vallan kuivassa ilmassa ja 0°C . lämmössä

on nopeus $331 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$. Joka asteelta yli 0 lisääntyy nopeus noin $0,6 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$. Nopeus ei siis ole kovinkaan suuri. Moni joka-päiväinen ilmiö on seuraus tästä. Salaman ja jyrinän välillä kuluu monasti useita sekunteja ja voimme täten määrätä kuinka kaukana salama on. Höyrylaivan tai veturin pillistä virtaavan höyryn näemme ennen kuin kuulemme vihellyksen j. n. e.

Äänen leviämisenopeus nesteissä on melkoista suurempi. Tosin nesteet ovat tiheämpiä kuin kaasut, mutta niiden kimmoavaisuus on paljo suurempi kuin kaasujen. Jo v. 1827 määräsivät *Colladon* ja *Sturm* Geneven järvellä äänen nopeuden vedessä olevan $1,435 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$. He upottivat veteen kellon, johon vasara löi ja samalla hetkellä syytti veden pinnan yläpuolella ruutikasa. Veteen upotetun torven kautta saapui ääni matkan toisessa päässä olevan kuulijan korvaan.

Kiinteissä aineissa on nopeus jo mainitsemistamme syistä vieläkin suurempi. Se on noin 5—15 kertaa niin suuri kuin ilmassa. Äänen leviämistä kiinteissä aineissa on meillä tilaisuus huomata paljo useammin kuin nesteissä. Painamalla korvamme maata vastaan kuulemme lähestyvän junan jyrinän, tykinlaukaukset y. m. paljon pitempiä matkoja kuin ilman kautta. Rakennuksissa tunkeutuu ääni seinien ja välikattojen läpi. Lankatelefooni, kaksi yhdestä päästään ohuella kalvolla, esim. rakolla, suljettua torvea ja kalvojen väliin kiinnitetty lanka, perustuu äänen johtumiseen kiinteässä aineessa, langassa. Kun yhteen torveen puhutaan, kuuluu ääni jotenkin selvään toisessa noin sadan metrin pituisen matkan.

Mainitsimme jo, että väräjävässä liikkeessä olevan kappaleen aiheuttama aaltoliike tekee kuuloelimemme sen vaikutuksen, jota nimitämme ääneksi, jos värähdyksien luku on määrättyjen rajojen välillä ja, voisimme lisätä, jos värähdyksillä on kylliksi suuri värähdysväli. Jos molemmat, värähdysluku ja värähdysväli, pysyvät muuttumattomina, niin kuuloelimemme käsittää äänenkin muuttumattomana sikäli kuin on sama väräjävä kappale kysymyksessä. Sellaista ääntä sanotaan *säveleksi*. Jos sitävastoin yksi tai toinen tai molemmatkin mainitsemamme seikat muuttuvat hetkestä toiseen, syntyy epäsäännöllinen ääni, jonka laatua osoittamaan kielessä löytyy runsas sanavarasto, esim. kolina, jyrinä, rätiäminen, vinku-

minen y. m. s. Ainoastaan sävelet tulevat fysiikassa tarkastettaviksi.

Värahdysluvusta riippuu se sävelen ominaisuus, jota nimitämme sävelen *korkeudeksi*. Ajatelkaamme vain urkuja. Pitkät uruntorvet antavat matalan sävelen, lyhyet korkean. Että on olemassa alin raja, jonka alle värahdysluku ei saa laskeutua, jos mieli ääntä syntyä, sen huomaamme esim. heilurin liikkeestä. Liikkuessaan edestakaisin synnyttää heilurikin vuorottaisia tiivistyksiä ja ohennuksia ympäröivässä ilmassa, mutta ääntä ei synny. Heilahdukset ovat liian hitaita. Alimman rajana voimme pitää 16 värahdystä sekunnissa. Mutta vasta värahdysluvusta 30 alkaen voimme erottaa sävelen korkeuden; kuulemme kyllä äänen jo 16 ja 30 värahdyksen välillä, mutta kaikki ne sävelet kuuluvat yhtä korkeilta. Värahdysluvun ylin raja on taas suuressa määrin riippuva kuulevasta henkilöstä ja henkilön vanhetessa alenee raja paljonkin. Muutamat tutkijat ovat saaneet ylimmäksi rajaksi 40,000—50,000, toiset ainoastaan 20,000 ja vanhemmille henkilöille alle 12,000. On kuitenkin huomattava, että ylin raja näyttää olevan suuressa määrin riippuva äänen kovuudesta. Erittäin koville sävelille voinee siis pitää ylimpänä rajana 50,000 värahdystä sekunnissa. Sävelet, joiden värahdysluku on lähellä tätä rajaa, aikaansaavat korvassa tuskallisen pistävän tunteen.

Että sävelen korkeus on riippuva värahdysluvusta, voi kokeellisesti näyttää n. s. sireenillä. Sireeni on metallilevy, jossa on ympyrän muotoinen rivi reikiä yhtä kaukana toisistaan. Levy pannaan pyörimään akselin ympäri ja putkella puhalletaan ilmaa reikäriviä vastaan. Joka kerta kun reikä sattuu putken kohdalle, menee ilmavirta levyn läpi ja syntyy tiivistys ilmassa. Jos levyssä on 16 reikää ja levy pyörii kerran ympäri sekunnissa, syntyy alin kuuluva sävel. Kuta nopeammin levy pyörii, sitä korkeampi on sävel. Alimman sävelen aallonpituus on, olettamalla, että äänen nopeus ilmassa on $340 \frac{\text{m}}{\text{sek.}}$, $340: 16 = 21 \frac{1}{4}$ m, korkeimman $340: 50,000 = 0,007$ m = 0,7 cm.

Värahdysvälistä taas riippuu toinen sävelen ominaisuus, nimittäin sävelen *kovuus*. Kuta suurempi värahdysväli on, sitä kovempi on sävel siten, että 2, 3, 4 j. n. e. kertaa laajempi värahdysväli antaa 4, 9, 16 kertaa kovemman sävelen, edellyt-

täen, että värähdysluku on yllämainittujen rajojen välillä. Kokemuskin osoittaa tämän. Heikko lyönti kellon laitaan, heikko näppäys viulun kielelle, heikko ilmavirta urkutorvessa antavat heikon äänen, kova lyönti, voimakas näppäys, väkevä ilmavirta antavat kovan sävelen

Usein kyllä väräjävän kappaleen synnyttämä aaltoliike on niin heikko, että säveltä on vaikea kuulla. Niinpä jännitetty



Kuva 79. Sävelen vahvistaminen kumulla.

kieli ja äänirauta antavat sävelen, joka ei kauaksi kuulu, ellei säveltä vahvisteta. Vahvistaminen tapahtuu niin, että väräjävään kappaleeseen yhdistetään toinen kappale, joka myös joutuu värähdysliikkeeseen. Tietysti tulee tämän toisen kappaleen olla sellainen, että sen värähdykset ovat sopusoinnussa väräjävän kappaleen perusvärähdysten tai jonkun sen ylivärähdysten kanssa, sillä muutoin väräjävän kappaleen vä-

rähdykset eivät, kuten jo olemme nähneet, voi aikaansaada tuossa toisessa kappaleessa seisovaa aaltoa. Soittokoneissa jännitetään kieli kumualustalle, äänirauta kiinnitetään kumulaatikoon j. n. e. Kumualustan laadusta riippuu suuressa määrin soittokoneella soitettujen sävelien kauneus ja sointi.

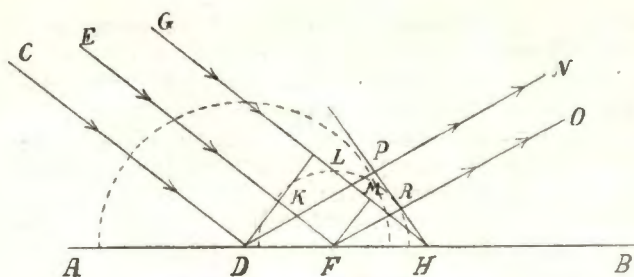
Kun ääniaalto levitessään kohtaa jonkun esteen, heijastuu se siitä takaisin ja esteen takana syntyy n. s. äänivarjo s. o. tila, johon ääni tosin tunkeutuu mutta heikommin. Että ääni-

aalto leviää esteen takanakin olevaan tilaan, on seurauksena siitä, että aaltoliike leviää myös sivuillepäin, ei vain suoraviivaisesti eteenpäin. Jos ajattelemme näet suoran viivan väräjäystä kappaleesta vedetyksi niin, että se koskettaa aaltoliikettä estävän kappaleen rajaa, niin tällä viivalla olevat tiivistykset ja ohennukset aikaansaavat tiivistyksiä ja ohennuksia myös siinä ilmassa, mikä on estävän esineen takana. Jokaisesta tiivistyksestä ja ohennuksesta tällä viivalla leviää siis pitkitäinen aalto esineen takana olevaan tilaan. Nämä eri pisteistä leviävät aallot yhtyvät keskenänsä ja siten nuo sivulle päin leviävät aallot heikkenevät. Kuta lyhempi aaltoväli on, sitä nopeammin heikkenevät aallot, koska yhtymys lyhyiden aaltojen välillä tapahtuu useammin kuin pitkien aaltojen välillä aallon kulkiessa saman matkan. Estävä esine heikentää siis korkeita säveliä enemmän kuin matalia. Tätä ilmiötä, että aalto leviää vaikka heikentyneenä esineen taaksekin, sanotaan aallon *taipumiseksi* (diffraktioniksi).

Olemme jo nähneet, että aalto kun se sattuu johonkin kiinteään esteeseen kohtisuorasti, heijastuu takaisin samaan suuntaan. Jos aalto kohtaa heijastavaa pintaa vinossa suunnassa, niin heijastuu se silloinkin takaisin, mutta suuntaan, joka pintaa vastaan vedetyn kohtisuoran kanssa muodostaa yhtäsuuren kulman kuin tulevan aallon suunta, siten että kohtisuora pintaa vastaan jakaa tulevan ja heijastuneen aallon välisen kulman kahtia.

Tarkastamme tätä tapausta lähemmin. Tarkastuksemme on riippumaton aallon laadusta, soveltuu sekä pitkittäiseen että poikittaiseen aaltoon.

Olkoon AB (kuv. 80) heijastava pinta ja CD, EF ja GH kolme yhdensuuntaista suoraa, joita pitkin aalto kulkee. Jos nimittäin piste, josta aalto on lähtenyt, on kyllin kaukana pinnasta AB, niin voimme pitää lähekkäin olevia viivoja, joita pitkin aalto leviää, *säteitä*, yhdensuuntaisina ja niiden välistä osaa aallosta tasona, vaikka se oikeastaan on osa pallonpintaa. Kun sädettä CD kulkeva aallonosa sattuu pintaan, on sädettä EF kulkeva osa pisteessä K ja sädettä GH kulkeva pisteessä L. Tällä hetkellä alkaa pisteestä D levitä uusi pallomainen aalto takaisin pinnan yläpuolella olevaan aineeseen. Kun sädettä EF kulkeva aalto kohtaa pintaa pisteessä F, on pisteestä D



Kuva 80. Aallon heijastuminen.

levinnyt aalto, jonka säde on väli KF ja sädettä GH kulkeva aalto on ehtinyt pisteeseen M. Kun tämä aalto kohtaa pintaa pisteessä H, on pisteestä D levinnyt aalto, jonka säde on LH ja pisteestä F aalto, jonka säde on MH. Näillä kahdella pallopinnalla olevat hiukkaset sekä piste H ovat siis kaikki samassa värähdystilassa. Jos nyt pisteen H kautta asetamme tason sivuamaan palloja, niin tällä tasolla olevat hiukkaset P, R ja H ovat kaikki samassa värähdystilassa ja taso esittää siis heijastunutta aaltoa sekä suorat DN ja FO heijastuneita säteitä. Nämät säteet muodostavat pinnan AB kanssa yhtä suuria kulmia kuin säteet CD ja EF ja siis myös yhtä suuria kulmia pisteisiin D ja F vedettyjen kohtisuorien kanssa.

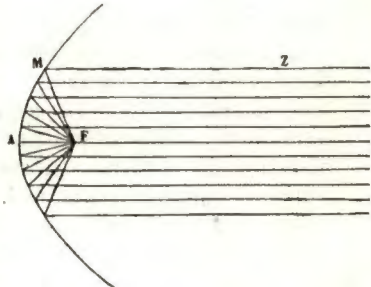
Kulma, minkä tuleva säde muodostaa heijastuspisteessä pintaa vastaan vedetyn kohtisuoran kanssa, saa nimen *tulokulma* ja saman kohtisuoran ja heijastuneen säteen välinen kulma *heijastuskulma*. Voimme siis lausua aallon heijastuslain myös niin, että tulo- ja heijastuskulma ovat yhtäsuuret.

Äänen heijastumisen tuntee jokainen lapsikin, jokainen on kuullut *k a i u n*. Kaiku syntyy, kun ääni heijastuu takaisin jostakin pinnasta, seinästä, vuoren- tai metsänrinteestä ja saapuu takaisin korvaamme. Ihmisen kuuloelin ei voi kumminkaan erottaa kahta ääntä eri ääninä, jos ne kohtaavat korvaa lyhemmän ajan kuin $\frac{1}{10}$ sek. kuluttua. Ääntä heijastavan pinnan tulee siis olla paikasta, missä ääni syntyy, vähintään niin kaukana, että äänen kulkemiseen edestakaisin kuluu vähintään $\frac{1}{10}$ sek. Olettamalla äänen nopeuden olevan $340 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$, saamme lyhimmäksi väliksi heijastavaan pintaan 17 m

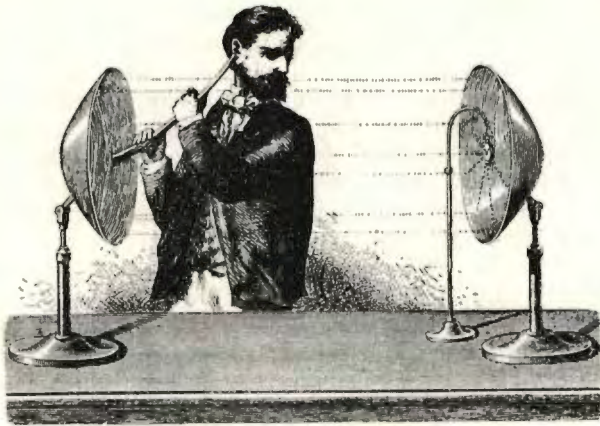
Silloin voi kaiku kerrata yhden tavun. Jos lausutaan kaksitavuinen sana, kuluu sen lausumiseen noin $\frac{1}{10}$ sek. joka tavulle. Ensimmäinen tavu ehtii siis palata kaikuna toista lausutaessa. Kaksitavuista kaikua varten tulee siis etäisyyden pintaan olla vähintään 34 m j. n. e. Usein huomataan moninkertainen kaiku. Silloin löytyy useampia heijastavia pintoja ja ääni heijastuu yhdestä ensin, toisesta myöhemmin tai heijastuu se edestakaisin toistamiseen pintojen välillä. Löytyy paikkoja, jotka ovat kuuluisat moninkertaisesta kaiustaan. Lähellä Milanoa olevan huvilinnan Simonettan molempien sivurakennusten välillä heijastuu ääni kuuluvasti 50 kertaa, Lurleinkallion luona Rheinvirran rannalla on 20 kertainen kaiku.

Suurissa huoneissa huomataan myös kaikua, n. s. kajahdusta. Se vaikuttaa usein hyvinkin haitallisesti huoneessa pidettyyn puheeseen ja soittoon. Jos huoneella on sopiva muoto, kuuluu ääni hyvin kaikkiin paikkoihin huoneessa. Niinpä parabelin (heittoviivan) muotoinen seinä puhujan tai soittajan takana heijastaa äänen yhtä hyvin kaikkialle huoneessa, jos esiintyjä seisoo parabelin polttopisteessä. Jos taas huoneella on soikea ellipsin muoto, niin yhdestä polttopisteestä lähtevät aallot heijastuvat seinistä toiseen polttopisteeseen. Heikoin kuiskaus kuuluu siten yhdestä polttopisteestä toiseen; välillä olevissa pisteissä ei kuule mitään. Lähellä Syrakusaa on sellainen luola, nimeltään Dionysoksen korva; samanlainen on mormonien temppele Salt Lake Cityssä Amerikassa.

Kokeellisestikin voi näyttää äänen heijastumista. Jos metallilevy taivutetaan osaksi pallonpintaa ja asetetaan esim. taskukello pisteeseen, joka on tämän pallon keskipisteen ja pallon pinnan keskivälillä, niin kaikki ääniaallot heijastuvat pinnasta yhdensuuntaisina. Jos nämä aallot sitten kohtaavat toista samanlaista pintaa, yhtyvät ne heijastuttuaan siitä yh-



Kuva 81. Äänen heijastuminen heittoviivan muotoisesta seinästä.



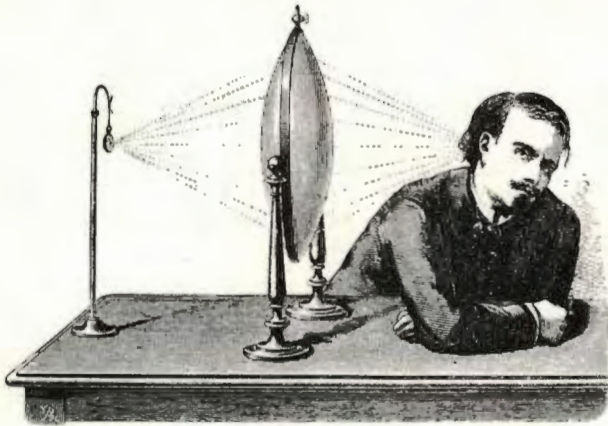
Kuva 82. Äänen heijastuminen.

teen pinnan edessä olevaan pisteeseen. Tässä pisteessä oleva korva kuulee kellon käynnin selvään, vaikka muissa pisteissä läheisyydessä sitä ei kuulu.

Puhetorvi, jota käytetään pitkän matkaa puhuessa, ja kuulotorvi, jolla heikkokin ääni kuuluu, perustuvat myös äänen heijastumiseen. Puhetorven seinät heijastavat äänen torven suuntaan ja estävät ääniaaltoja leviämästä. Noin 2 m pituisella puhetorvella, jommoista laivoissa käytetään, kuuluu puhe 1,500—2,000 m. Kuulotorveen saapuneet ääniaallot heijastuvat sen seinistä ja tunkeutuvat siten kaikki korvaan.

Myös ilmakerrokset, joilla on eri tiheys, heijastavat ääntä. Päivällä, jolloin ilmakerroksilla on eri paikoilla epätasaisen lämpiämisen vuoksi erilainen tiheys, kantaa ääni lyhemmän matkan kuin yöllä, jolloin ilmalla on tasaisempi lämpö ja ilmakerrokset siis jotenkin yhtä tiheitä. Osa aallosta heijastuu näet takaisin aallon kulkiessa yhdestä ilmakerroksesta toiseen, joka on joko tiheämpää tai harvempaa.

Kulkeeko aalto sitten suoraviivaisesti noiden kerroksien läpi? Jokapäiväisessä elämässä on vaikea huomata, onko asiaan laita niin vai eikö ole. Kokeellisesti voimme kumminkin näyttää, että aalto, siis myös ääniaalto, kulkiessaan kahden eri tiheän aineen rajapinnan läpi, muuttaa suuntaansa, aalto *taittuu*.

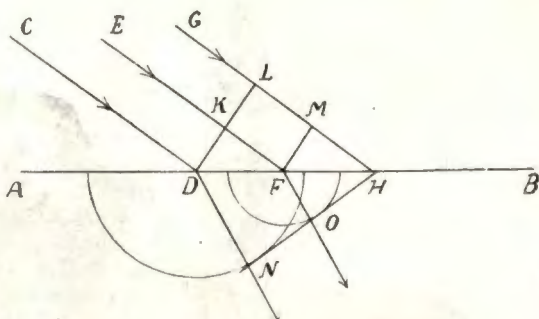


Kuva 83. Äänen taittuminen.

Koe tehdään niin, että ohutseinäinen pallo, esim. saippua-kupla tai kolloidiumipallo, täytetään hiilihapolla tai valokaa-sulla, pallon yhdelle puolen ripustetaan taskukello ja toiselle puolen asettaa kuulija korvansa. Siirtämällä korvaa edestakaisin löydetään piste, missä kellon ääni kuuluu. Jos korva siirretään tästä pisteestä pois puolelle tai toiselle, lakkaa ääni kuulumasta. Pallon läpi kulkeneet ääniaallot yhtyvät siis yhteen pallon toisella puolella.

Äsken opimme tuntemaan syyn aallon heijastumiseen kahden aineen rajapinnasta. Nyt on meidän tarkastettava syytä aallon taittumiseen. Kuten jo tiedämme on aallolla eri suuri etenemisnopeus eri aineissa. Kuta tiheämpää aine on, sitä pienempi on nopeus, jos kimmoavaisuus on sama. Tämä eri suuri nopeus on juuri syynä aallon taittumiseen.

Olkoon AB (kuv. 84) kahden aineen rajapinta ja olkoon sen yläpuolella oleva aine harvempaa ja alapuolella tiheämpää. Olkoot CD, EF ja GH kolme yhdensuuntaista sädettä. Kun aalto kohtaa pintaa pisteessä D, on sädettä EF kulkeva aalto pisteessä K ja sädettä GH kulkeva pisteessä L. Kun aalto kohtaa pintaa pisteessä F, on pisteestä D levinnyt pinnan alapuolella olevaan aineeseen pallomainen aalto, jonka säde on p i e n e m p i kuin väli KF, koska aallon nopeus pinnan alapuolella olevassa ai-

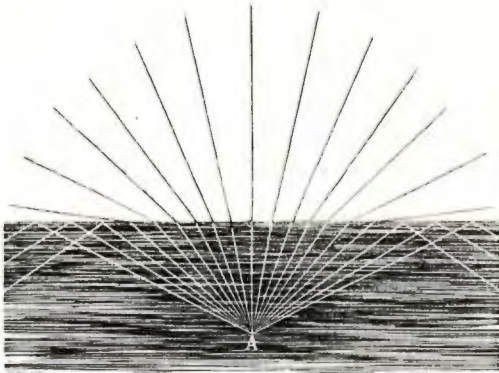


Kuva 84. Aallon taittuminen.

neessa oli pienempi. Olkoon nopeus tiheämmässä aineessa esim. $\frac{3}{4}$ nopeudesta harvemmassa. Pisteestä D levinneen aallon säde on siis $\frac{3}{4}$ välistä KF. Kun aalto kohtaa pintaa pisteessä H, on pisteestä D levinneen aallon säde $\frac{3}{4}$ välistä LH ja pisteestä F levinneen $\frac{3}{4}$ välistä MH. Asetetaan pisteen H kautta taso sivuamaan näitä palloja. Pisteet N, O ja H ovat nyt samassa värähdystilassa. Pinnan läpi kulkeneet säteet ovat DN ja FO. Aalto on taittunut alaspäin alkuperäisestä suunnastaan. Pintaa vastaan vedetyn kohtisuoran ja tulevan säteen välinen kulma on *tulokulma*, saman kohtisuoran ja taittuneen säteen välinen kulma saa nimen *taitekulma*. Kun aalto kulkee aineesta, jossa sen nopeus on suurempi, aineeseen, jossa sen nopeus on pienempi, taittuu se niin, että tulokulma on suurempi kuin taitekulma eli, kuten on tapa sanoa, kohtisuoraan päin.

Jos taas aalto kulkee päinvastaiseen suuntaan, aineesta, jossa sen nopeus on pienempi, aineeseen, jossa nopeus on suurempi, niin huomaamme, että aalto taittuu päinvastoin, tulokulma on pienempi kuin taitekulma eli aalto taittuu kohtisuorasta pois päin.

Taittumisen suuruus, tulo- ja taitekulman keskinäinen suuruus, on riippuva yksinomaan rajapinnan molemmilla puolilla olevien aineiden laadusta aallon kulkuun nähden. Jos määrrämme tiettyä tulokulmaa vastaavan taitekulman, niin voimme laskea jokaista muutakin tulokulmaa vastaavan taitekulman aallon taittuessa samojen väliaineiden rajapinnassa. Luku,



Kuva 85. Kokonaisheijastus.

joka lausuu tulo- ja taitekulman keskinäistä suuruutta, saa nimen *taite-eksponentti*. Tämä luku on aallon etenemisnopeuksien suhde kysymyksessä olevissa aineissa.

Kun aalto kulkee aineesta, jossa nopeus on suurempi, aineeseen, jossa se on pienempi, on taitekulma pienempi kuin tulokulma. Suurin tulokulma on suorakulma eli 90 astetta. Tätä vastaa taitekulma, joka on pienempi kuin suora. Aalto voi siis aina taittua ohuemmasta aineesta tiheämpään. Aallon kulkiessa päinvastaiseen suuntaan on suurin taitekulma suora. Sitä vastaa tulokulma, joka on pienempi kuin suora. Jos tulokulma on vieläkin suurempi, niin aalto ei voi enää taittua rajapinnan läpi harvempaan aineeseen, vaan heijastuu aalto silloin rajapinnasta kokonaan takaisin. Ilmiötä sanotaan *kokonaisheijastukseksi*.

Niinkauan kuin väräjävän kappaleen ja kuulijan korvan etäisyys pysyy muuttumattomana, saapuu joka sekunti sama lukumäärä aaltoja korvaan ja sävelen korkeus pysyy muuttumattomana. Mutta jos väräjävä kappale liikkuu kuulijaa kohti tai kuulijasta pois päin tai päinvastoin kuulija liikkuu, niin sävelen korkeus muuttuu. Jos nimittäin välimatka yhtämittaa suurenee, saapuu korvaan joka sekunti pienempi lukumäärä aaltoja kuin saapuisi molempien ollessa paikoillaan, sävel muuttuu matalammaksi; jos taas välimatka pienenee, muuttuu sävel korkeammaksi. Tämän seikan lausui v. 1841 *Doppler*

ja käy se nimellä Dopplerin peruste (prinsipi). Jos nopealla junalla kuljemme soivan kellon ohitse, niin sinä hetkenä, jolloin kuljemme kellon ohitse, muuttuu kellon ääni huomattavasti matalammaksi.

Kun kahta säveltä soitetaan yht'aikaa, tekevät ne korvaan joko mieluisan tai vastenmielisen vaikutuksen, sävelet ovat *sointuisia* (harmonisia) tai *epäsointuisia* (disharmonisia). On huomattu, että tuo mieluisa tai vastenmielinen vaikutus, minkä kaksi yht'aikaa kuultua säveltä tekevät korvaan, on riippuva sävelien värähdyslukujen suhteesta, siten että kuta yksinkertaisempi luku tämä suhde, sävelien *intervalli*, on, sitä sointuisampia ovat sävelet. Voimme sanoa, että kaksi säveltä ovat sointuisia, jos niiden värähdyslukujen suhteen voi lausua kahdella kokonaisella luvulla, jotka eivät ole lukua *k u u t t a* suuremmat, jota vastoin kaksi säveltä, joiden värähdyslukujen suhdetta lausumaan tarvitaan suurempia lukuja kuin 6, ovat epäsointuisia. Enin sointuisia on kaksi säveltä, kun siis toisen värähdysluku on 2 kertaa niin suuri kuin toisen, niiden intervalli on $\frac{2}{1}$. Ne ovat perussävel ja sen korkeampi oktavi. Mutta näiden kahden sävelen välillä on vielä muitakin säveliä, jotka ovat täydellisesti sointuisia, vaikka tosin ei niin täydellisesti. Lähinnä oktavia sointuisin sävel on se, jonka värähdysluku on $\frac{3}{2}$ perussävelen värähdysluvusta. Sitä seuraavan intervalli on perussäveleeseen nähden $\frac{4}{3}$. Edelleen $\frac{5}{4}$ ja $\frac{6}{5}$. Sointuisia säveliä on siis kuusi. Niiden nimet ja intervallit ovat, kun perussävelen värähdysluku merkitään 1:llä seuraavat:

<i>Primi</i>	<i>terssi</i>	<i>kvartti</i>	<i>kvintti</i>	<i>seksti</i>	<i>oktavi</i>
1,	$\frac{5}{4}$,	$\frac{4}{3}$,	$\frac{3}{2}$,	$\frac{5}{3}$,	2.

Jo vanhin kreikkalainen soitto tunsii näistä primin, kvartin, kvintin ja oktavin. Aina Orpheuksen aikoihin saakka oli heidän soittokoneensa, lyyry, viritetty näillä sävelillä. Sävelmien muodostamiseen eivät nämä sävelet vielä riittä, vaan riittävät ne kyllä sanelun säestämiseen. Kreikan kukoistusaikalla käytettiin jo kahdeksankielistä lyyryä ja oli se viritetty seuraavilla intervaleilla 1, $\frac{9}{8}$, $\frac{81}{64}$, $\frac{4}{3}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{27}{16}$, $\frac{243}{128}$, 2. Säveljaksossa on siis 4 epäsointuista säveltä. Heidän soittonsa oli kumminkin yksiääninen, kahta säveltä ei soitettu

yh'täikää. Nykyajan soitantoon, joka pääasiallisesti perustuu yh'täikää soitettuihin soitintuisiin säveliin n. s. *sointuihin* (akkordeihin), ei tämä n. k. Pythagoralainen säveljakso sovellu. Se säveljakso, jota nykyajan soitannossa käytetään, on saksalaisen tiedemiehen *Chladni* († 1827) laatima ja sisältää, oktavien lukuunottamatta, seitsemän säveltä, nimittäin jo maimitsemiemme viiden soitintuisan sävelen lisäksi kaksi, sekundin, primin ja terssin välillä, intervalli $\frac{9}{8}$, ja septsimin, sekstin ja oktavin välillä, intervalli $\frac{16}{9}$. Tämä on niin sanottu *diatoninen Dur-asteikko*. Sävelet sekundi ja septimi eivät ole täydellisesti soitintuisia perussäveleeseen nähden.

Kysymys sävelien soinnista ja epäsoinnista on vanhoista ajoista ollut laajaperäisten mietteitten esineenä. »Kaikki on luonnossa järjestetty määrättyjen yksinkertaisten lukusuhteitten mukaan, kaikki on luonnossa sopusoinnussa», se oli vanhan ja keskiajankin pääväite kaikista luonnonilmiöistä. Kunhan vaan jossakin ilmiössä voi löytää nämä yksinkertaiset lukusuhteet, niin se oli sen ajan mielipiteen mukaan kyllin riittävä selitys ilmiölle, sillä olihan ilmiö silloin sopusoinnussa koko luontoa hallitsevan lain kanssa. Kuuluisa matematikko *L. Euler* († 1783) koetti myös selittää tätä samaa seikkaa. Hänen ajatuksensa on lyhyesti seuraava. Meitä miellyttää aina kaikki, missä me voimme huomata täydellisyyttä. Kaikki, mikä on yksinkertaista, on samalla täydellistä. Jos kahden sävelen värähdyslukujen suhde on yksinkertainen luku, niin sävelten kuuleminen synnyttää meissä iloa ja mieluisia tunteita, jota vastoin monimutkaisempi suhde synnyttää päinvastaisia tunteita. Eulerin opin heikko kohta on kumminkin juuri se, että useimmat henkilöt tuskin tietävätkään, että sävelet syntyvät värähdyksistä ja vielä vähemmin tietävät he, että sävelten soitintuisuus riippuu värähdyslukujen suhteesta. Kuitenkin huomaavat he kahden sävelen soitintuisuuden ja epäsoinnin.

Selvän ja kumoamattoman selityksen tälle seikalle on antanut *H. v. Helmholtz*.

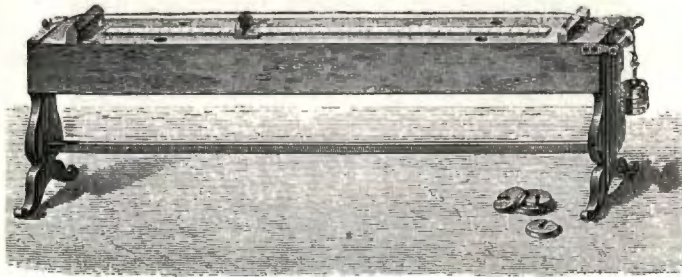
Paitsi sävelen korkeutta ja kovuutta on näet huomattava vielä sävelen *sointi*. Kun samaa säveltä soitetaan eri soitokoneilla, niin tekee se erilaisen vaikutuksen korvaan. Tottunut korva voi huomata samanlaisellakin soitokoneella soitetuissa sävelissä soitokoneen yksilöllisen laadun aiheuttamaa eroa,

vieläpä eri henkilöiden samalla soittokoneella soittamissa sävelissä. Syyn tähän on juuri Helmholtz selittänyt. Syy on se, että soitettu sävel ylipäänsä ei ole yksi ainoa yksinkertainen aalto, vaan on yhdistetty useammista aalloista, joilla on eri värähdysluvut; nämä aallot päällekkäisperusteen mukaan muodostavat sen aallon, joka aikaansaa sävelen. Väkevin aalto on ylipäänsä perusvärähdyksen aikaansaama ja se määrää sävelen korkeuden, muut värähdykset antavat tälle sävelle sen oimittaisen soinnin. Näiden perussäveltä seuraavien ylääänien kuuleminen vaatii jonkunmoista harjoitusta ja tarkkaavaisuutta. Tarkemmin kuin korvalla voi ne huomata n. s. resonatoreilla (kumuttimilla), joita Helmholtzkin tutkimuksissaan käytti. Tehdään eri pitkiä sylinterimäisiä torvia, yhdestä päästään suljettuja; toisesta avonaisia. Tiedämme, että tällaisen torven perussävelen aalto on 4 kertaa torven pituus. Jos valmistamme koko joukon tällaisia torvia ja sitten soitamme jonkun sävelen ja pidämme torven suljetussa päässä olevaa ohutta torvea korvassamme, niin soi pi torvi räikeästi, jos soitetussa sävelessä on joko perussävelenä tai ylisävelenä torven perussävel.

Jos kaksi säveltä, joiden värähdysluvut eroavat toisistaan vain vähän, soitetaan yht'aikaa, niin aallot välistä vahvistavat välistä heikontavat toisiaan. Olkoon yhden sävelen värähdysluku esim. 512, toisen 508 ja sattukoot aallot jossakin silmänräpäyksessä yhteen niin, että molemmista tiivistys kohtaa korvaa. Sävel kuuluu silloin korvaan kovemmalta. Tämä värähdystila uudistuu taas $\frac{1}{4}$ sek. kuluttua, sillä tällä ajalla on ensimmäinen kappale tehnyt 128 ja toinen 127 värähdystä. Sitä vastoin on $\frac{1}{8}$ sekunnissa ensimmäinen tehnyt 64 ja toinen 63 $\frac{1}{8}$ värähdystä. Silloin sattuu edellisen aallon tiivistys yhteen jälkimäisen ohennuksen kanssa ja päinvastoin. Ääni on heikompi tai, jos aallot ovat yhtä voimakkaita, lakkaa se kokonaan. Korva kuulee siis äänen sekunnin kuluessa vahvistuvan ja heikkenevän 4 kertaa, ääni väräjä 4 kertaa sekunnissa. Tällainen äänen väräjäminen tekee korvaan vastenmielisen vaikutuksen vallan samanlaisen kuin epätasainen väräjävä valo tekee silmään.

Ääni väräjä 4 kertaa sekunnissa kuin sävelten värähdyslukujen ero on, jollei tämä ero ole suurempi kuin noin

130. Hitaat värähdykset eivät tee korvaan vastenmielistä vaikutusta, ääni nousee ja laskee pitkinä sävelaaltoina. Mutta kun värähdysten luku kasvaa yhä suuremmaksi, syntyy tuo vastenmielinen vaikutus ja on se, jos sävelet ovat kyllin korkeita, suurin värähdysten luvun ollessa noin 30—40 sekunnissa. Epäsointi vähenee sitten ja värähdysten luvun ollessa noin 130 ei korva enää voi niitä huomata. Sävelien epäsointi syntyy siis sävelten aikaansaamista värähdyksistä, kuitenkin niin, että sävelten ollessa matalia epäsointi lakkaa pienemmässä värähdysluvussa ja korkeammassa sävelissä korkeammassa. Ylipäänsä loppuu epäsointi, jos sävelien värähdyslukujen suhde on suurempi kuin $\frac{9}{8}$; silloin soivat sävelet rinnakkain synnyttämättä värähdyksiä.



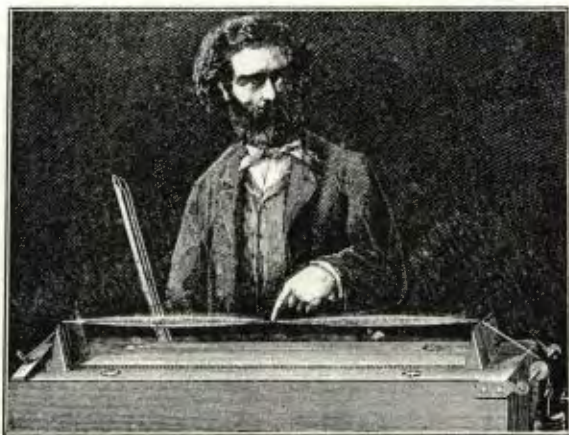
Kuva 86. Virsikannel (monokordi).

Kahden sävelen täydelliseen sointiin vaaditaan, etteivät ainoastaan perussävelet, vaan myös niiden ylisävelet sekä keskenänsä että molempien perussävelien kanssa ovat sointuisia. Soittokoneita rakennettaessa tulee tämä seikka ottaa huomioon, aina kuudenteen ja seitsemänteen ylisäveleeseen saakka.

Säveliä aikaansaadaan soittokoneilla. Soittokoneet voi jakaa kahteen ryhmään: soittokoneet, joiden ylisävelet ovat perussävelen kanssa sointuisia, ja soittokoneet, joiden ylisävelet ovat perussävelen kanssa epäsointuisia. Edelliseen lajiin kuuluvat viritetyt kielet ja puhallussoittimet, jälkimäiseen sauvat, levyt, kellot ja jännitetyt kalvot.

Viritettyjen kielten värähdyksien tutkimiseen käytetään kumualustalle jännitettyjä kieliä, virsikannelta (monokordia). Kielen perussävel syntyy, kun kieli väräjä kokonaisena,

solmut molemmissa päissä ja kupu keskellä. Kuta pitempi siis kieli on, sitä pitempi on perussävelen aalto ja sitä matalampi on sävel. Perussäveltä seuraavat yliäänit syntyvät siten, että kieli jakautuu kahteen, kolmeen j. n. e. yhtä pitkään osaan, solmu osien välillä ja kielen päissä. Se muoto, mikä väräjäväällä kielellä on, on siis hyvinkin monimutkainen viiva. Jos kosketamme kieltä jostakin paikasta, niin kaikki ne värähdykset, joilla ei ole solmua sillä paikalla, lakkaavat ja ainoastaan ne, joilla on solmu siinä, jäävät jäljelle. Niinpä kieltä keskeltä



Kuva 87. Ensimmäinen ylimmäni.

kosketettaessa perussävel lakkaa; samoin kaikki ne sävelet, joiden aallot jakavat kielen parittomiin osiin. Panemalla pieniä taivutettuja paperipalasia kielelle voi näyttää, missä solmut ovat, niille paikoille jäävät paperipalat kielen värätessä, kuvuilta lentävät ne pois.

Sille paikalle, mistä kieltä näpätään tai hangataan, syntyy tietysti kupu ja kaikki ne sävelet, joilla siinä paikassa on solmu, jäävät siis pois. Kielen antaman sävelen laatu, sen sointi, riippuu siis myös siitä, miltä paikalta kieleen kosketetaan sitä väräjäämään pantaessa.



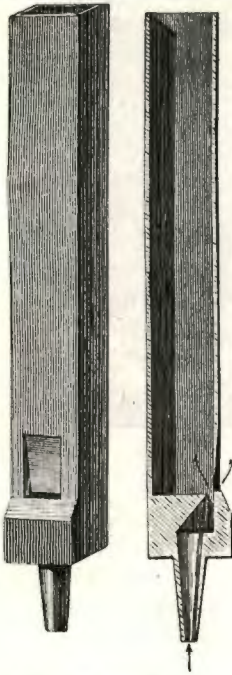
Kuva 88. Toinen ylläni.

Paitsi kielen pituutta vaikuttaa kielen antamaan säveleen kielen paksuus ja aineen laatu, mistä kieli on tehty. Kuta paksumpi kieli on, sitä matalampi on sävel. Kuta kevyempää ainetta kieli on, sitä korkeampi on sävel. Suolikieli antaa korkeamman sävelen kuin yhtä pitkä ja paksu metallikieli, mutta on suolikielen sävel pehmeämpi syystä, että sen pienempi kimmoavaisuus pian vaimentaa korkeammat ylisävelet.

Vihdoin vaikuttaa kieltä virittävä voima sen perussävelen korkeuteen. Kun kieli viritetään 4, 9, 16 j. n. e. kertaa suuremmalla painolla, on sen perussävelen värähdysluku 2, 3, 4 j. n. e. kertaa suurempi.

Soittokoneita, joissa viritettyjä kieliä käytetään, on runsaasti, piano, viulu, kitara, mandolini, kannel, harppu y. m.

Puhallussoittimia ovat erilaiset torvet. Torvia on kahta lajia, avonaisia molemmista päistään ja yhdestä päästä suljettuja. Olemme jo aikaisemmin käsitelleet seisovaa aaltoa molemmissa tapauksissa. Avonaisen torven perussävelen aalto on kaksi kertaa torven pituus, suljetun neljä kertaa. Jos molempien tulee antaa sama perussävel, tulee suljetun torven pituuden olla puolet avonaisen torven pituudesta. Sävel torvissa syntyy eri tavoilla. Löytyy kahta lajia torvia mitä äänen



Kuva 89. Huulitorvi.

syntymiseen tulee, huulitorvia ja kieli-
torvia. Ensimmäiseen lajiin kuuluvat huilu
ja yksi laji urkutorvia, toiseen lajiin myös
laji urkutorvia, klarinetti ja fagotti.
Huulitorvissa puhalletaan ohut ilmavirta
kapeasta raosta terävää särmää, huulta,
vastaan. Kun ilmavirta kohtaa huulta,
syntyy torvessa olevassa ilmassa päästä
päähän edestakaisin kulkeva aalto. Huu-
len kohdalla liikkuu torvessa oleva ilma
vuorotellen ulospäin ja sisäänpäin. Kun
ilma virtaa sisäänpäin, taipuu puhallettu-
kin ilmavirta torven sisään ja puristaa
enemmän ilmaa torveen, kun ilma huulen
kohdalla pyrkii ulospäin, taipuu puhal-
lettukin ilma ulospäin ja imee torvesta
enemmän ilmaa. Puhallettu ilmavirta
väräjäy siten samalla lailla kuin torvessa
oleva ilma.

Kielitorvissa on kim-
moavalla kielessä peitetty
aukko, jonka kautta puhal-
lettu ilma kielen värätessä
vuorotellen tunkeutuu, vuo-
rotellen estetään tunkeutu-
masta torveen.

-Soittokuntien käyttämissä metallitorvissa ja
metsästystorvessa ei ole mitään huulta eikä kieltä.
Puhaltajan huulet korvaavat ne. Torvea vastaan
puristetut huulet väräjävät, joten torvessa oleva
ilma joutuu aaltoliikkeeseen. Jos torvessa ei ole
läppiä, antaa se vaan perussävelensä, mutta pu-
haltaja voi jännittämällä enemmän tai vähem-
män huuliaan saada ylääänit niin kuulumaan, että
eri säveliä voi syntyä. Käyttämällä torvessa läp-
piä, joiden avaaminen muuttaa torven pituutta,
voi saada muitakin säveliä. Sävelen voima ja kau-
neus kärsivät siitä kumminkin, sillä ne voimakkaat
värähdykset, jotka näissä torvissa syntyvät, vaati-
vat ehyitä seiniä.

Kuva 90.
Kielitorvi.

Ilmapylväiden värähdykset torvissa voi kokeellisestikin näyttää monella eri tavalla esim. Kundtin putkella. Lasiputki suljetaan molemmista päistään korkilla. Toisen korkin läpi pistetään lasitanko, jonka päässä putken sisällä on korkki. Tämä korkki ei täytä koko putkea. Putkeen pannaan jotakin kevyttä jauhoa esim. korkkijauhoa tai harakanvarpaan siemenjauhoa. Kun lasitankoa hangataan pituussuuntaan, aikaansa sen päässä oleva korkki putkessa olevassa ilmassa seisovan aallon. Jauho kokoutuu silloin solmuille. Siten voi mitata seisovan aallon pituuden.

Ääniraudan ylisävelet ovat epäsointuisia perussävelen kanssa, etenkin jos lyödään kovemmin rautaan. Ääniraudan haarojen liikkussa toisiansa kohti syntyy välillä tiivistys ja ulkopuolilla ohennus, niiden liikkussa toisistaan poispäin ovat tiivistykset ulkopuolilla ja ohennus välillä. Nämä tiivistykset ja ohennukset leviävät ympäristöön ja kumoavat paikottain toisensa. Jos rautaa kierretään akselinsa ympäri, huomataan äänen heikkonevan neljä kertaa. Äänirautaa käytetään soitannossa jonkun määrätyn sävelen aikaansaamista varten. V. 1885 Wienissä pidetyssä kansainvälisessä kokouksessa määrättiin virityssäveleksi sävel, jonka värähdysluku on 435. Nuottikirjoituksessa on se sävel yksiviivainen a. Äänirautoja, jotka tarkkaan antavat tämän sävelen, on kaupassa.

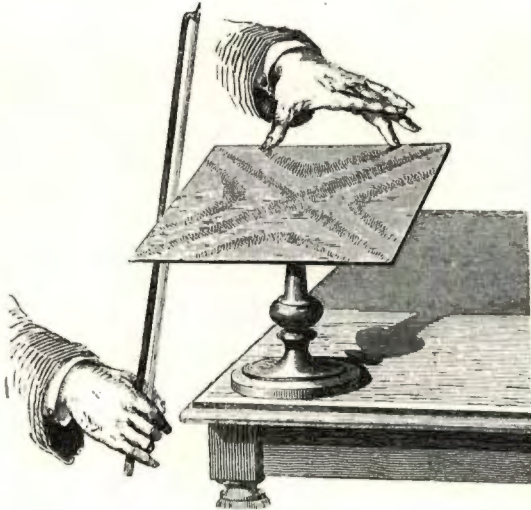
Sauvanmuotoisia soittokoneita on muitakin. Soittokunnissa käytetty kolmio on sellainen. Lasista, puusta ja metallista tehtyjä eri pitkiä sauvoja, sauvaharmonikkaa, xylofonia y. m., käytetään soittokunnissa.

Kimmoavat levyt antavat, kun niitä lyödään tai niiden reunaa hangataan viulunjousella, säveliä. Hieno hiekka, jota sirotetaan levyille, kokoutuu niille paikoille, jotka ovat levossa, solmuviivoille, muodostaen levyille erilaisia kuvioita aina sen mukaan, mistä paikasta levy on kiinnitetty ja mistä paikasta sitä hangataan. Kuvioita nimitetään Chladnin sointikuvioiksi.

Kellotkin ovat levyjä. Kellon äänen kauneus riippuu sen yliäänistä. Kellon valamisen taidon päämäärä onkin kokemuksen nojalla antaa kellolle sellainen muoto, että ainakin sen ensimmäiset yliäänit ovat sointuisia perussävelen kanssa.

Ihmisiäni syntyy kurkunpäässä olevien äänijänteiden väräjämisestä, kun keuhkoista tuleva ilma kulkee niiden välillä

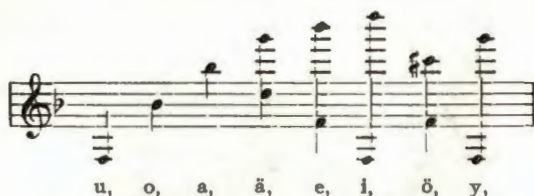
olevan ääniraon kautta. Rustot, joihin äänijänteet ovat kiinnitetyt, voivat lähestyä toisiansa ja loitota toisistaan ja siten jännittää äänijänteitä vähemmän tai enemmän. Nielu, suu ja nenäontelo ovat kumuttimia, joiden kautta äänijänteiden antama sävel muodostuu, saaden sen soinnin mikä sillä milloinkin tulee olla. Kaunis puheääni ja lauluääni edellyttävät juuri sekä äänijänteiden että näiden kumuttimien hyvää rakennetta ja oikeata käyttämistä. Äänen korkeus on eri henkilöillä hy-



Kuva 91. Sointikuvio.

vinkin vaihteleva. Miesäänissä ilmoitetaan korkeutta nimityksillä basso, baritoni ja tenori, naisäänissä alto ja soprano. Alin bassoääni on noin 80 värähdystä ja ylin soprano 1,024 värähdystä. Korkeampiakin säveliä aina 2,048 värähdykseen tavaan harvinaisina poikkeuksina.

Puhe syntyy myös siten, että suontelo kielineen muodostuu kumuttimeksi, valiten äänijänteiden antamasta sävelestä ne äänet, jotka tarvitaan kunkin äänten muodostamiseen. Nuottikirjoituksena ovat eri ääntiöt Helmholtzin mukaan kokoonpannut seuraavista sävelistä:

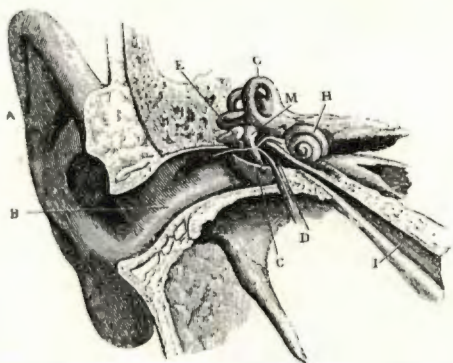


Ohuet kimmoavat levyt ovat erittäin tunnokkaita värähdyksille ja voivat mukautua monimutkaisinkin, useista sävelistä kokoonpannun äänen mukaan, joka niitä kohtaa. Tätä seikkaa käytti *Edison* hyväkseen fonografin rakentamisessa. Ohueen metallilevyyn, joka on suppilomaisen torven pohjana, kiinnitti hän terävän metallineulan. Lähellä neulan kärkeä on kovalla vahakerroksella päällystetty sylinteri, joka pyöriessään ympäri siirtyy akselinsa suuntaan kärjen ohitse. Kun torveen puhutaan tai lauletaan, piirtää kärki vahakerrokseen aina levyä kohdanneen äänen vaihtelun mukaan syvennyksiä. Jos nyt sylinteri kierretään takaisin alkuasemaansa, niin kärki sylinterin pyöriessä seuraa noita syvennyksiä ja levy joutuu samanlaisiin värähdyksiin kuin torveen puhuttaessakin ja torvesta kuuluu ääni uudelleen kaikkine korkeuden ja soinnin vaihteluineen. Fonografia on sittemmin paljon parannettu ja on se nykyään hyvinkin täydellinen kone. Toisessa koneessa, gramfonissa, käytetään sylinterin asemasta ympyränmuotoista levyä, jolle viistoon asetettu kärki piirtää aaltomaisen viivan levyn pyöriessä ympäri.

Kuuloelimessä, korvassa, huomaamme kolme osaa: ulkokorvan, josta alkava kuulokanava päättyy tärykalvoon, keskikorvan, joka putken kautta on yhteydes-



Kuva 92. Fonografi.



Kuva 93. Korva. A ulkokorva. B kuulokanava. C tärykalvo. D keskikorva. I putki suuonteloon. G, H sisäkorva. E, M kuuloluita.

sä suuontelon [kanssa, ja kokonaan suljetun sisäkorvan, joka on täytetty vesimäisellä nesteellä. Ääni kohtaa ensin tärykalvoa pannen sen väräjämään, siitä johtuu ääni keskikorvassa olevien kuuloluiden kautta sisäkorvaan. Sisäkorvan nesteessä löytyvät kuuloherron päät, luvultaan noin 3,000, jotka ovat jännitetyt vierekkäin löyhästi toisiinsa yhdistettyinä. Jokainen korvaa kohdannut sävel panee muutamia näistä jänteistä väräjämään, nimittäin ne, joiden värähdykset ovat sopusoinnussa äänivärähdysten kanssa. Eri sävelet vaikuttavat eri jänteisiin. Ainoastaan lähekkäin olevat sävelet, joiden värähdyslukujen ero on verrattain pieni, panevat osaksi samat jänteet väräjämään. Siitä oletetaan syntyvän äänen väräjämisen, josta olemme puhuneet, ja sävelet ovat epäsointuisia. Kauempana toisistaan olevat sävelet eivät vaikuta samoihin jänteisiin, ne eivät aikaansaa värähdyksiä äänessä, vaan kuulee korva ne niin sanoaksemme vierekkäin, ne ovat sointuisia säveliä.

X.

Lämpö. Lämmön mittaaminen. Lämpömittarit. Aineiden laajeneminen. Kaasujen laajeneminen. Absolutinen nollapiste. Lämmön luonne. Mekaninen lämpöoppi. Nesteiden laajeneminen. Kiinteiden aineiden laajeneminen.

Edellisen luvun lopetimme tarkastamalla äänen vaikutusta kuulohermoon. Tämän luvun voimme alottaa erään toisen luonnonilmiön vaikutuksella toisiin hermoihin. Luonnonilmiö on lämpö ja hermot, joihin se vaikuttaa, tuntohermot. Kun kosketamme jonkun kappaleen pintaa, emme ainoastaan tunne millainen pinta on, vaan myös muutakin, jota tunnetta ilmoitamme eri sanoilla, kylmä, lämmin, kuuma, polttava, tulinen. Nämä sanat ilmoittavat samalla eri asteita siitä tunteesta, mitä me nimitämme lämmöksi.

Jo edellisessä olemme usein olleet pakotetut käyttämään sanaa lämpö, olemme yhtä ja toista ilmiötä tarkastaessamme maininneet, että löytämämme laki on oikea, jos lämpötila on se tai tämä, olemme sanalla sanoen huomanneet, että aniharva tarkastamamme ilmiö on riippumaton lämpötilasta. Meidän tulee aina luonnon moninaisia ilmiöitä tarkastaessamme ottaa huomioon lämmön vaikutus ja sen vuoksi onkin vaikea oppia luonnonilmiöistä esitettäessä antaa lämmölle sopivaa paikkaa esityksessä. Sen pitäisi olla ensimmäinen voima, johon tutustumme, koska monien muiden voimien vaikutus on siitä tavalla tai toisella riippuva, sen pitäisi olla viimeinen, koska meidän lämpöä oikein käsittääksemme tulisi tuntea kaikki muut luonnon voimat. Luonnonvoimat ovat niin monella tavalla toisistaan riippuvia, että asettipa yhden toisen edelle tai jälkeen, niin aina edellisen käsittely jää yhdessä tai toisessa suhteessa myöhemmin esitettävistä seikoista riippuvaksi.

Se tieto kappaleen lämpötilasta, minkä me saamme tuntohermoillamme, on kumminkin hyvin vähän luotettava, niinkin epäluotettava, että kaksi kappaletta, joiden lämpötila on sama, tuntuvat meistä eri lämpimiltä. Kaadamme kahteen astiaan yhtä lämmintä vettä, toiseen pistämme yhden sormen, toiseen koko käden. Vesi siinä astiassa, johon pistämme vaan sormen, tuntuu lämpimämmältä. Jos pistämme yhden käden kuumaan veteen ja toisen kylmään ja sitten molemmat haaleaan, niin haalea vesi tuntuu kädestä, joka oli kuumassa vedessä, kylmältä, toisesta kädestä lämpimältä. Tuntohermomme voivat siis vielä tottuakin johonkin lämpötilaan, jolloin siitä lämpötilasta eriävän lämpötilan arvosteleminen tuntohermojen avulla antaa vallan erehdyttävän tuloksen.

Voidaksemme luotettavalla tavalla arvostella kappaleen lämpötilaa tulee meidän siis turvautua johonkin muuhun lämmön vaikutukseen kuin sen vaikutukseen tuntohermoihimme, turvautua johonkin sellaiseen vaikutukseen, jonka voimme huomata muulla ja tarkemmalla aistillamme kuin tuntoaisti on. Sellainen lämmön vaikutus löytyykin.

Kappaleen lämpötilan muuttuessa muuttuu nimittäin kappaleen tilavuus ja ylipäänsä niin, että kuta enemmän sitä mitä me nimitämme lämmöksi, kappaleeseen tulee, sitä suuremmaksi käy kappaleen tilavuus. Kappaleiden tilavuuden muuttumisessa on siis meillä silmin nähtävä mitta kappaleiden lämpötilan muuttumiselle. Tämä edellyttää kumminkin, että yhtä suuria lämpötilan muutoksia vastaa myös yhtä suuret muutokset kappaleen tilavuudessa. Tulemme kyllä näkemään, että niin ylipäänsä ei ole. Kuitenkin löytyy koko joukko kappaleita, joiden tilavuuden muuttuminen on ainakin määrättyjen rajojen välillä verrannollinen lämpötilan muuttumiseen ja joita siis hyvin voi käyttää sellaisten koneitten valmistamiseen, joilla kappaleen lämpötila mitataan. Koneita, joilla mitataan kappaleen lämpötilaa, temperaturia, sanotaan *lämpömittareiksi* (termometreiksi).

Jo Galilei käytti jonkunlaista lämpömittaria ja on hänen koneensa säilynyt meidän aikoihimme saakka. Yläpäästä palloksi puhalletun lasiputken avonainen alapää on pistetty vesiastiaan. Putkessa olevaa ilmaa on ensin hiukan lämmitet-

ty. Kun se jäähtyy, nousee vesi jonkun verran putkeen. Vesipylyvään nouseminen ja laskeminen putkessa ilmaisee kyllä pallon lämpötilan vaihteluita, vaan mittauksiin ei tämä kone sellaisenaan kelpaa. Galilein konetta paransi v. 1643 jesuiitta *Kircher*. Hän asetti tuon osaksi ilmalla osaksi nesteellä täytetyn pallon putken alapäähän. Putki kulkee pallon läpi nesteesen. Hän oli myös ensimmäinen, joka käytti koneessaan elohopeaa. Seuraava askel parannukseen oli pallossa olevan ilman pois jättäminen ja lämpömittarin rakentaminen yksinomaan nesteen laajenemisen perusteella. Sellaisen lämpömittarin valmisti ensin ranskalainen lääkäri *Rey* († 1645) ja hänestä riippumatta Toskanan herttua *Ferdinand II*. Täyttämiseen käytettiin väkiviinaa ja lämpömittari oli varustettu asteikollakin, jonka asteet olivat merkityt lasiputkeen kiinnisulatetuilla valkeilla ja mustilla emaljipalloilla. Asteikko oli kumminkin mielivaltainen, pallo ja putki olivat niin valitut, että neste liikkui putken päästä päähän talven lämmöstä kesän lämpöön. Näin kaus oli kone kehittynyt, kun Firenzen akademikot ryhtyivät sitä parantamaan.

Lähin tarkoitus oli löytää kaksi määrättyä lämpötilaa vastaavaa pistettä asteikolla. Yhdeksi valitsivat he lumen lämpötilan kovimmalla pakkasella, toiseksi ihmisruumiin lämpötilan. On kuitenkin selvää, ett'ei tällä ollut paljon voitettu. Suuren askeleen eteenpäin teki lämpömittarin kehitys, kun danzigilainen taitava lasinpuhaltaja *Fahrenheit* (†1736) yhdeksi vakaaksi pisteeksi otti veden kiehumapisteen ja samalla huomasi tämän pisteen riippuvaisuuden ilman paineen vaihtelusta. Toiseksi pisteeksi otti hän jään, veden ja salmiakin sekoituksen lämpötilan. Täytteenä käytti hän ensin väkiviinaa, sittemmin elohopeaa.

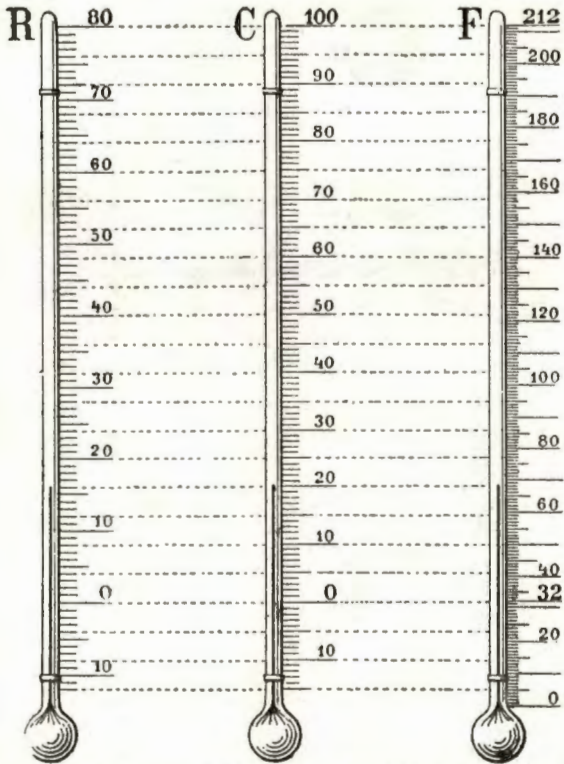
Eläintieteen tutkija *Réaumur* (†1757) työskenteli myös samalla alalla. Suuremman laajenemisen vuoksi otti hän taas väkiviinan täytteeksi. Hän luuli huomanneensa, että kun väkiviinaa lämmitetään sulavan jään lämpötilasta kiehuvan veden lämpötilaan, niin se laajenee 0,080 alkuperäisestä koostaan. Hän jakoi senvuoksi näiden pisteiden välin 80 osaan. *Réaumur* teki kumminkin useampia virheitä määrittessään asteikkonsa peruspisteitä. Asiaa mietittiin sinne ja tänne. Yksi ehdotus, jonka v. 1742 teki Upsalan professori

Celsius, on muutetussa muodossa saanut laajan käytännön. Hän ehdotti yhdeksi peruspisteeksi jään sulamispisteen ja toiseksi veden kiehumispisteen. Edellistä merkitsi hän 100:lla, jälkimäistä 0:lla ja jakoi välin sataan osaan. Hänen virkaveljensä *Strömer* vaihtoi kumminkin peruspisteiden merkitsemisluvut ja sellaisena on lämpömittari sitten tullut käytäntöön kaikissa tieteellisissä mittauksissa ja jokapäiväisessä elämässä etupäässä pohjoismaissa. Réaumurin lämpömittaria, jonka Deluc myöhemmin oikaisi käyttämällä siinäkin elohopeaa, käytetään Keski- ja Etelä-Europassa; Fahrenheitin lämpömittaria Englannissa ja Amerikassa.

On tapana merkitä asteita alemman peruspisteen yläpuolella merkillä + ja asteita siitä alaspäin merkillä —. Jokapäiväisessä elämässä sanotaan edellisiä asteita lämpöasteiksi, jälkimäisiä kylmä- eli pakkasasteiksi. Mitään sellaista eroa ei fysiikan kannalta katsoen ole olemassa, kaikki asteet lämpömittariasteikolla ilmaisevat jotakin lämpötilaa; kun lämpö lisääntyy, nousee lämpömittari, kun lämpö vähenee, laskeutuu se. Että lämpömittarin elohopeapylvään pää kulkee jonkun mielivaltaisella numerolla merkityn, tiettyä lämpötilaa vastaavan asteviivan ohi, ei tietysti merkitse enempää kuin pylvään pään kulkeminen minkä muun asteviivan ohi hyvänsä.

Noiden kolmen lämpömittariasteikon peruspisteet ja peruspisteiden välin jako ovat siis seuraavat. Celsiusuksen: jään sulamispiste merkitty 0:lla ja veden kiehumispiste 100:lla, Réaumurin samat peruspisteet, merkityt 0:lla ja 80:llä, Fahrenheitin 0-piste on alempi, vastaa $-17\frac{7}{8}$, Celsiususta, joten Celsiusuksen 0-piste on Fahrenheitin asteikolla $+32^\circ$ ja veden kiehumispiste 212° . Siis on $100^\circ \text{C.} = 80^\circ \text{R.} = 180^\circ \text{F.}$

Kun nyt lämpömittarista olemme saaneet koneen, jolla kappaleen lämpötilaa voi mitata, jatkamme tarkasteluamme kappaleiden laajenemisesta lämmön vaikutuksesta. Sekä jokapäiväinen kokemus että yksinkertaiset kokeet näyttävät, että kaikki kappaleet laajenevat lämmön vaikutuksesta. Toisin on tämä laajeneminen monessa tapauksessa niin vähäinen, ettemme voi odottaakaan, että voisimme vaan pelkällä silmämitalla huomata kappaleen tilavuuden muutoksia. Muutamia esimerkkejä ja kokeita. Kun seppä raudoittaa kärryn



Kuva 94. Reaumurin, Celsiuksen ja Fahrenheitin lämpömittarit.

pyörää, panee hän raudan kumana paikoilleen; jäädyttyään puristuu rauta tiukasti pyörän ympäri. Rautatiekiskojen päät eivät välittömästi kosketa toisiinsa, niillä tulee olla tilaa pitentyä, muutoin ne katkeaisivat. Pullon kaulaan tartunut lasikorkki irtautuu helposti, jos pullon kaulaa lämmitetään. Väkiivin ja elohopean laajenemisen lämpömittarissa olemme nähneet. Osaksi ilmalla täytetty rakko paisuu pyöreäksi, kun sitä lämmitetään. Metallipallo, joka kylmänä mahtuu renkaan läpi, ei mahdu sen läpi; jos palloa lämmitetään. Jos tunnokkaan vaa'an yhtä vartta lämmitetään, pai-



Kuva 95. Lämmitettynä ei pallo mahdu renkaan läpi.

nuu siinä riippuva vaakakuppi alas, koska lämmitetty varsi pitenee. Ontto metallipallo, joka juuri ui kylmässä vedessä, uppoaa pohjaan lämpimässä, koska pallon kokoinen määrä lämmintä vettä veden laajenemisen vuoksi painaa vähemmän kuin sama määrä kylmää vettä. Jos ilmalla täytetyn korkin läpi pistämme lasiputken ja putken pään veteen, niin ilma pulloa lämmitettäessä poistuu pullosta kuplina.

Otamme ensin tarkemmin tarkastettavaksi kaasujen laajenemisen, sillä ovathan kaasut tavallaan aineen yksinkertaisin olomuoto ja on siis luultavaa, että tämäkin ilmiö niissä esiintyy yksinkertaisimmassa muodossaan. Niin onkin asian laita.

Kaasujen laajenemista koskevan lain ensimmäinen keksijä on ranskalainen *Amontons* († 1705). Hänen keksintönsä jäi kumminkin vallan huomaamatta. Laki käykin nimellä *Gay-Lussacin* (†1850) laki, vaikka Gay-Lussac itse keksijänä mainitsee *Charlesin* (†1823). Lakinsa julkaisi Gay-Lussac 1807. Kaikessa yksinkertaisuudessaan kuuluu tämä tärkeä laki: jokainen kaasu, olkoonpa sen kokoomus mikä hyvänsä, laajenee, kun sen lämpö määrä nousee 1°C . $\frac{1}{273}$ osan tilavuudestaan, joka sillä oli lämpötilan ollessa 0°C . Jos siis jonkun kaasun tilavuus 0° :ssa C. on esim. 1 m^3 ja sitä lämmitetään 273° , niin on sen tilavuus 2 m^3 j. n. e., kaikki tämä sillä edellytyksellä, että kaasua puristava voima ei muutu, että kaasu on saman muuttumattoman paineen alaisena.

Päinvastoin, jos kaasua, jonka lämpötila on $+ 273^{\circ} \text{C.}$, jäähdytetään nollaan asteeseen, niin täyttää se, paineen ollessa sama, vain puolet siitä tilavuudesta, minkä se täytti. Jos siis tilavuus oli 2 m^3 , niin on tilavuus 0° :ssa C. vain 1 m^3 . Jos kaasua yhä edelleen jäähdytetään, supistuu se yhä pienempään tilaan ja on selvää, että, jos joku kaasu jäähdytetään aina $- 273^{\circ} \text{C.}$, niin sen tilavuuden pitäisi olla nolla, s. o. kaasun tiheys on äärettömän suuri. Lämpötilan laskeutuminen alle tämän temperaturin ei siis voi enää aikaansaada mitään muutosta aineen tilavuudessa, aineen pienimmät osat, molekyylit, ovat puristuneet niin lähelle toisiansa kuin ne voivat, ne eivät enää voi tästä asemastaan siirtyä, mitään fysikaalisia tai kemiallisia ilmiöitä ei tässä aineessa voi enää tapahtua, aine on silloin kuollutta. Tätä lämpötilaa, $- 273^{\circ} \text{C.}$, sanotaan *absolutiseksi nollapisteeksi*. Tieteellisissä tutkimuksissa on tapana lukea lämpötilaa (temperatura) tästä pisteestä ja sanotaan näin laskettua lämpötilaa *absolutilämpötilaksi*. Jään sulamispiste on siis näin laskettuna $+ 273^{\circ} \text{C.}$ ja veden kiehumispiste $+ 373^{\circ} \text{C.}$

Jo vuonna 1703 oli Amontons ehdottanut tätä pistettä lämpömittarin nollapisteeksi. Hän tuli tulokseensa vallan samanlaisen ajatuksen juoksun kautta kuin me yllä olemme tulleet, vaan koska hänen aikansa vallitsi toinen mielipide lämmön luonteesta kuin nyt, niin hänen ehdotuksensa ei saanut kannatusta. Hänen absolutinen nollapisteensä oli sitä paitsi virheellinen, $- 239,5^{\circ} \text{C.}$

Voimmeko siis todellakin jäähdyttää jonkun kaasun niin, että sen lämpötila vastaa tätä absolutista nollapistettä. Aina nykyaikaan saakka on pidetty mahdottomana päästä edes lähellekään tätä pistettä ja on tuota pistettä pidetty vaan tietisperäisenä pisteenä ja luultu, että kaasut eivät edes lähellekään tätä pistettä noudata samoja lakeja kuin muissa lämpötiloissa, vaan että se luku, joka lausuu kaasun tilavuuden riippuvaisuutta kaasun lämpötilasta, äsken löytämämme luku $\frac{1}{273}$ eli kaasun *laajenemiskoeffisientti*, on kyllä oikea kohtuullisten rajojen välillä, mutta muuttuu, kun lämpötila lähestyy äärimäisiä rajojaan, olkoonpa sitten hyvin alhaista tai korkeaa lämpötilaa. Tavallinen elohopealämpömittari ei kelpaa käytettäväksi, kun on kysymys näiden äärimäisten

lämpötilojen mittaamisesta. Jo -39° C. lämpötilassa jäähmettyy elohopea ja kiehuu $+357^{\circ}$ C. lämmössä. Koska kaasut ainakin hyvin laajojen rajojen välillä laajenevat verrannollisesti lämpötilan kanssa, niin on luonnollisinta käyttää juuri jotakin kaasua lämpömittarin täyteaineena. Tähän soveltuu kyllä ilma, mutta paremmin vetykaasu. Aivan viime aikoina on vedyn sijasta aljettu käyttää heliumkaasua. Tällainen lämpömittari rakennetaan niin, että pallo, joka on täytetty esim. kuivalla ilmalla, yhdistetään avonaisen manometriputken lyhempään haaraan. Putkeen kaadetaan elohopeaa. Pallo on vastaiseksi pienen läpän kautta yhteydessä ulkoilman kanssa ja asettuu siis elohopea molemmissa putken haaroissa yhtä korkealle johonkin lyhemmässä haarassa olevaan merkkiin saakka. Pallossa olevalla ilmalla on sama jäntevyys kuin ulkoilmalla, joka jäntevyys määrätään tarkastamalla barometriä. Olkoon barometrikorkeus 760 mm. Nyt ympäröidään pallo sulavalla jäällä. Pallossa on ilmaa, jonka lämpötila on 0° C. ja jänteys 760 mm. Pallon ja ulkoilman välinen läppä suljetaan nyt ja pallo asetetaan kiehuvaan veteen. Ilma pallossa laajenee ja painaa elohopeaa manometriputken pitempään haaraan. Jos nyt kaadetaan avonaiseen putkeen elohopeaa kunnes pinta lyhemmässä putkessa on taas merkin kohdalla ja sitten tarkastetaan molempien pintojen eroa, huomataan sen olevan $100/273$ barometrikorkeudesta. Pallossa olevan ilman *jäntevyys* on siis lämmittämisessä lisääntynyt ja on se lisääntynyt samassa suhteessa kuin lämpötilakin, kun kaasun tilavuus on pysynyt muuttumattomana.

Mariotten laki, jonka jo tunnemme, koskee kaasun jäntevyyden ja tilavuuden riippuvaisuutta toisistaan, kun lämpötila ei muutu. Nyt löytämämme laki koskee taas jäntevyyden ja lämpötilan riippuvaisuutta toisistaan, kun tilavuus ei muutu. Nämä molemmat lait yhdessä määräävät täydelleen kaasun olotilan mikäli se on riippuva jäntevyydestä, tilavuudesta ja lämpötilasta.

Kaasujen laajenemiskoeffisientti on siis samalla niiden *jänteveyskoeffisientti*, sillä jäntevyys lisääntyy joka asteelta mikä kaasua lämmitetään $1/273$ siitä, mikä jäntevyys oli 0° C lämpimässä. Tästä seuraa, että jos kaasua jäähdy-

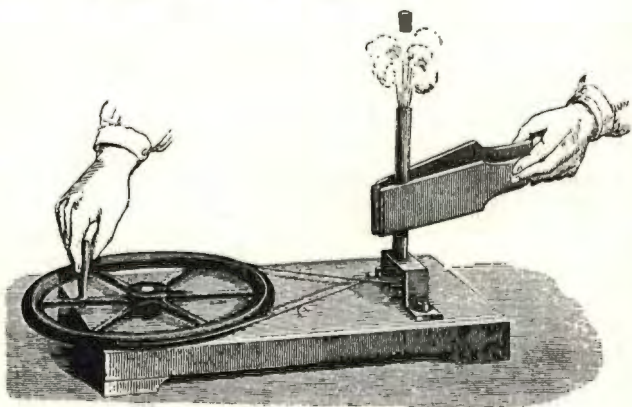
tettäisiin aina absolutiseen nollapisteeseen, olisi sen jännevyys nolla, kaasulla ei olisi mitään jännevyyttä.

Kaasun lämpötilaa voimme siis mitata mittaamalla sen jännevyuden ja sillä tavalla mitataankin lämpötilaa ilmalämpömittarilla. Tilavuus pidetään mitattaessa muuttumattomana ja barometrikorkeus otetaan huomioon. Tällaisilla lämpömittareilla voi saada erittäin tarkkoja lämpötilan määräyksiä mitattaessa hyvinkin alhaisia ja korkeita lämpötiloja. Niinpä vetykaasulämpömittarin poikkeus — 240° lämpötilassa on vaan noin $+ 0,2^{\circ}$ ja $+ 1000^{\circ}$ lämpötilassa $+ 0,05^{\circ}$. Vielä alemmaa lämpötilaa mitattaessa käytetään heliumlämpömittaria. Alkaen — 260° huomataan tämän ja vetylämpömittarin välillä selvä ero.

Se vähäinen ero, joka huomataan käytettäessä eri kaasuja lämpömittarin täytteenä, ja se poikkeus, joka myös huomataan saman kaasun todellisessa ja Gay-Lussacin lain mukaan lasketussa jännevyudessa, on seuraus siitä, ettei ole mitään kaasua, joka täydelleen noudattaisi mainittua lakia. Eri kaasujen laajenemiskoeffisientit eivät ole siis vallan täydelleen yhtä suuret, eikä myös niiden laajenemis- ja jännevyyskoeffisientit ole vallan sama luku. Ei mikään kaasu ole täydellinen »ihannekaasu», joka noudattaisi täydelleen sekä Mariotten että Gay-Lussacin lakia. Kuta suurempi kaasua puristava paine on ja kuta alhaisempi kaasun lämpötila on, sitä suurempi on ylipäänsä poikkeus näistä laeista. Kuta pienempi paine on ja kuta korkeampi lämpötila, sitä enemmän lähestyvät kaasut tuota ihannekaasua.

Kun kaasua jäädytetään, supistuu se kokoon ollessaan muuttumattoman paineen alaisena. Lämmön poistaminen kaasusta vaikuttaa siis vallan samalla lailla kuin joku ulkonainen voima, joka puristaisi kaasua kokoon. Me voimme laskea kilogrammametreinä sen työn, joka toimitetaan, kun kaasu on jäähtyessään supistunut kokoon, työn, joka tarvitaan saattamaan kaasun molekylejä lähemmäksi toisia. Jokaisen mekanisen työn toimittamiseen kuluu vastaava määrä energiaa. Lämpö on kappaleesta hävinnyt ja sen sijaan on ilmennyt mekanista työtä. Vallan luonnollinen seuraus tästä on oletaminen, että lämpö on energiaa muodossa tai toisessa.

Ensimmäinen, joka selvästi lausui tämän ajatuksen, lienee lääkäri *Cardano* († 1576). Hän lausui sen ajatuksen, että lämpö on liikettä. Mutta kului kokonaista kaksisataa vuotta ennenkuin tämä mielipide voitti vallitsevan mielipiteen lämmön luonteesta. Vallitseva mielipide oli näet se, että lämpö on ainetta, äärettömän ohutta painotonta ainetta. Tämän lämpöaineen otaksuttiin kappaleen lämmittessä ikäänkuin imeytyvän kappaleeseen ja kappaleen jäähtyessä taas virtaavan pois siitä. Tällaisten painottomien nesteiden avulla koetettiin useinkin ennen aikaan selittää ilmiöitä, joiden syynä painollinen aine ei voinut olla.



Kuva 96. Lämpöä syntyy hankaantumisesta.

Uudenaikaista mielipidettä lämmön luonteesta edustaa ensimmäisenä *Benjamin Thompson* (1753—1814), tunnettu ehkä paremmin nimellä kreivi *Rumford*. Jo v. 1778 oli hän huomannut, että löyhät laukaukset kuumentavat tykkiä enemmän kuin luodilla ammutut. Turhaan koetti hän selittää ilmiötä tuon oletetun lämpöaineen avulla. Vasta v. 1798 jatkoi hän tutkimuksiaan saadakseen selville sen seikan, mistä tuo kaikissa mekanisissa ilmiöissä esiintyvä lämpö aiheutui. Kokeensa teki hän niin, että tylsää tykkiporaa kierrettiin vartta vastaan tykkimetallista tehdyssä kaavassa. Sekä pora että kaava lämpisivät silloin hyvinkin tuntuvasti.

Vakuuttaakseen itsensä siitä, ett'ei lämpö tullut ympäröivästä ilmasta, uudisti hän kokeensa upottamalla koneensa veteen. Tulos oli sama. Kun kokeen jatkaminen synnytti yhä lisää lämpöä ja ei porassa eikä kaavassa mitään muutosta voitu huomata, niin ainoa selitys oli otaksua, että lämpö syntyy poran liikkeestä, sen hankautumisesta kaavaa vastaan. Muutkin tutkijat tekivät samanlaisia kokeita. *Humphry Davy* hankasi kahta jääpalasta vastakkain ilmapumpun kellon alla ja sai ne sulamaan. Nämä kokeet eivät voineet kumminkaan kumota vallitsevaa mielipidettä ja monet etevät oppineet työskentelivät päinvastaiseen suuntaan koettaen antaa tukea vallitsevalle katsantokannalle.

Yhdeksännentoista vuosisadan ensimmäisellä neljänneksellä sai lämpö arvaamattoman suuren käytännöllisen merkityksen juuri mekanisen työn toimittajana, silloinhan keksittiin höyrylaivat ja veturit.

Näissä jos missään ilmenee lämmön ja työn keskinäinen yhteys. Niinkauan kuin höyrykone toimittaa mekanista työtä, täytyy siihen tulla lämpöä ulkoapäin. Ranskalainen insinööriupseeri *Sadi Carnot* (†1832) koetti saada tätä seikkaa selville. Hän huomautti, että vesihöyry höyrykoneessa, kun höyryä kuumennetaan, laajenee ja toimittaa laajetessaan työtä pannen koneen käymään. Käytetty höyry, joka koneesta poistuu, on kylmempää. Hän sanoo: »Vesiputouksen työkyky on riippuva putouksen korkeudesta ja vesimäärästä, joka siitä putoaa; lämmön työkyky on riippuva lämpöpaljoudesta ja 'lämpöputouksen' korkeudesta s. o. niiden kappaleiden lämpötilojen eroista, joiden välillä lämpö kulkee». Toisin sanoen, kuta enemmän lämpöä käytetään, sitä suurempi työ tulee toimitetuksi. Tosin erehtyi Carnot siinä, että hän oletti lämmön, joskin se toimitti työtä, pysyvän vähentymättömänä, niinkuin vedenkin, joka on pudonnut putouksesta alas.

Robert Mayer oli, kuten jo ennen olemme maininneet, se, joka v. 1842 julkaisemassaan teoksessaan lausui, että lämpö toimittaessaan työtä vähenee, muuttuu työksi, ja että tietyllä lämpömäärällä voi toimittaa tietyn määrän työtä ja päinvastoin. Olemme jo ennen kertoneet Mayerin työstä yleisen energiaopin kehitykseen nähden; olemme myös kertoneet, että

Mayerin teokset eivät saavuttaneet sitä huomiota, minkä ne kyllä ansaitsivat.

Saksalainen *Clausius* (†1888), joka v:sta 1850 alkaen on ahkerasti työskennellyt tällä alalla, on pidettävä n. k. *mekanisen lämpöopin* (termodynamiikan) perustajana.

Mekaninen lämpöoppi sisältää lyhyesti sen, että lämpö on kappaleen molekyylien liikettä, on niiden liike-energiaa. Tämä otaksuminen selittää luonnollisella tavalla kaikki lämpöopin alalla tapahtuvat ilmiöt. Tosin emme voi tätä liikettä nähdä, mutta me voimme sen tuntea. Liikkuessaan sysäävät molekyylit tuntohermojamme ja siitä syntyy se tunne, jota nimitämme lämmöksi. Tarkastaessamme eri ilmiöitä lämpöopin alalla olemme tilaisuudessa sovittamaan tämän opin kuhunkin niistä. Tarkastamme oppia tässä vaan pääpiirteissään.

Olemme jo aikaisemmin puhuneet kaasujen kinetisestä teoriasta ja sen avulla selittäneet kaasujen jäntevyyden ja sen muuttumisen Mariotten lain mukaan. Edellyitimme silloin, että kaasun lämpötila pysyy muuttumattomana. Jos nyt kaasua lämmitetään, kasvaa sen molekyylien liikenopeus. Molekyylit sattuvat sekä toisiinsa että astian seiniin useampia kertoja kuin ennen saman ajan kuluessa. Kaasun jäntevyys kasvaa, jos pidämme kaasun tilavuuden muuttumattomana. Lämpö muuttuu kaasun molekyylien eläväksi voimaksi. Mitään työtä ei lämpö ole tässä toimittanut ja senvuoksi kasvaakin molekyylien elävä voima, kaasun jäntevyys, samassa suhteessa kuin lämpö. Jos taas kaasua saa vapaasti laajeta paineen pysyessä muuttumattomana, niin kuluu osa lämpöä sen työn toimittamiseen, jonka ulkonaisen paineen voittaminen kaasun laajetessa vaatii. Tästä on välitön seuraus, että tarvitaan enemmän lämpöä lämmittämään esim. 1 kg kaasua johonkin tiettyyn lämpötilaan silloin kun kaasun jäntevyys pysyy muuttumattomana ja tilavuus suurenee, kuin siinä tapauksessa, että tilavuus pysyy muuttumattomana ja jäntevyys kasvaa.

Kun taas kaasua jäähdytetään, saattamalla se yhteyteen toisen kappaleen kanssa, jonka molekyyleille kaasumolekyylit luovuttavat osan liike-energiaansa, vähenee kaasun molekyylien liikenopeus, kaasun jäntevyys pienenee, jos tilavuus pidetään muuttumattomana ja pienenee samassa suhteessa kuin

kaasusta poistunut lämpö. Jäähdytettynä absolutiseen nollapisteeseen ovat kaasun molekyilit luovuttaneet kaiken liike-energiansa ja ovat levossa, kaasun jäntevyys on nolla.

Olemme tarkastaneet mekanista lämpö-oppia kaasuihin nähden ja huomanneet sen täydelleen selittävän ne tulokset, joihin tähän saakka olemme tulleet lämmön vaikutuksesta kaasuihin. Voimme yhtä hyvin saman opin avulla selittää myös lämmön vaikutukset nesteisiin ja kiinteisiin kappaleihin. Nesteiden ja kiinteiden kappaleiden molekyylien välillä vaikuttavat, kuten tiedämme, n. s. molekylivoimat, jotka sitovat molekyilit toisiinsa. Molekyyleillä on, näissä aineissa määrätty tasapainoasemansa, joista ne ainoastaan ulkonaisien voimien vaikutuksesta voivat poistua ja joihin ne voiman lakattua vaikuttamasta taas palajavat. Molekyilit eivät kumminkaan näissäkään aineissa ole tasapainoasemassaan levossa, vaan ovat ne nopeassa värähdysliikkeessä. Tämä molekyylien väräjäminen, niiden elävä voima, on kappaleessa oleva lämpö. Kun kappaletta lämmitetään, joutuvat molekyilit yhä nopeampaan värähdysliikkeeseen, värähdysväli kasvaa samalla, molekyilit vaativat liikkeelleen suurempaa tilaa ja tunkevat toisensa kauemmaksi uusiin tasapainoosiin; kappaleen tilavuus suurenee. Seurauksena molekyylien loittonemisesta on vihdoin niiden välisen kohesionivoiman heikkeneminen siihen määrään, että kiinteä aine muuttuu nesteeksi, kappale sulaa.

Molekyylien välisen kohesionivoiman voittamiseen tarvitaan työtä, siihen kuuluu lämpöä. Lämpö toimittaa silloin työn, jota sanotaan *sisäiseksi työksi*. Tähän sisäiseen työhön kulunut lämpö ei korota kappaleen lämpötilaa.

Aineen muututtua nesteeksi ovat molekyilit yhä edelleen liikkeessä. Koska kohesionivoima on nyt aivan vähäinen, niin tapahtuu, että pinnalla olevat molekyilit, jotka liikkuaan poistuvat nesteen molekyleistä niin kauaksi, että kohesioni ei enää voi pidättää niitä nesteen yhdeytystä, irtautuvat pinnasta. Nämä kahleensa katkaisevat molekyilit muodostavat nesteestä syntyvän höyryn. Ja nyt olemme taas tulleet takaisin aineen kaasumaiseen olomuotoon, josta lähdimme. Jatkamme kappaleiden laajenemisen tarkastamista. On vielä tarkastettava nesteiden ja kiinteiden aineiden laajenemista

Nesteiden, samoin kuin kaasujenkin, laajenemista tarkastettaessa tulee ottaa huomioon, että astiakin, jossa neste tai kaasu on, myös laajenee. Jos kapeakaulaiseen lasipulloon kaadetaan nestettä ja pulloa lämmitetään, niin nesteen näennäinen laajeneminen on nesteen todellisen ja lasiastian laajenemisen ero. Saadaksemme nesteen todellisen laajenemisen tulee siis tuntea astian laajeneminen. Astian laajenemisen saa määrättyä käyttämällä ensin jotakin nestettä, jonka todellinen laajeneminen on tunnettu. *Dulong* ja *Petit* määrasivät (1818) elohopean todellisen laajenemisen käyttämällä yhtyviä putkia. Toinen putki oli sulavassa jäässä, toinen kiehuvässä vedessä. Lämpimämpi pylväs on korkeampi, koska siinä oleva elohopea laajenemisensa vuoksi on kevyempää. Pylväiden pituudesta voi laskea elohopean ominaispainon 100° lämpötilassa verrattuna sen ominaispainoon 0° lämpötilassa. Ominaispainot taas suhtautuvat kuten tilavuudet, kun tässä on sama aine kysymyksessä. Tällainen laajenemisen määräys on tietenkin riippumaton lasiputken laajenemisesta, koska putkien laajuus ei vaikuta pylväiden korkeuteen. *Dulong* ja *Petit* huomasiivat, että elohopea laajenee lämmitettäessä 0 asteesta 100 asteeseen $0,181$ tilavuudestaan. Elohopean laajeneminen 1 asteeseen lämmittämisestä on siis $0,00181$ eli $\frac{1}{5500}$, joka luku on elohopean laajenemiskoeffisientti mainittujen lämpötilojen välillä.

Jonkun astian laajeneminen saadaan kaatamalla astiaan elohopeaa. Määrätään sitten elohopean näennäinen laajeneminen. Se on pienempi kuin sen todellinen, koska astia laajenee. Ero lasketun ja näennäisen laajenemisen välillä on astian laajeneminen.

Elohopea on yksi niitä harvoja aineita, joiden laajeneminen on jotenkin tasainen, se laajenee jotenkin yhtä paljon yhden asteen lämpötilan korotuksesta eri korkeissa lämpötiloissakin. Useimmat nesteet laajenevat epätasaisesti, ylempässä lämpötilassa enemmän kuin alemmassa. Mainittakoon tässä muutamien nesteiden laajeneminen. *Oliviöljy* $0,080$, *petroleumi* $0,100$ rajojen 0° ja 100° välillä, *väkiiviina* $0,097$ rajojen 0° ja 80° välillä, *eetteri* $0,054$ 0° ja 33° välillä. Nesteiden laajeneminen tapahtuu suurella voimalla. Astia, joka on vallan täynnä nestettä, särkyi, kun sitä lämmitetään.

Neste, jonka laajeneminen on omituisesti epätasainen, on vesi. Kun vettä lämmitetään 0° lämpötilasta pienenee sen tilavuus. Tilavuuden pieneneminen jatkuu aina $+ 4^{\circ}$ C. lämpötilaan, josta alkaen vesi taas laajenee saaden saman tilavuuden kuin 0° lämpötilassa noin $+ 8^{\circ}$ C. lämmössä. Seuraava taulu antaa käsityksen veden laajenemisesta rajojen 0° ja 100° välillä, olettamalla, että veden tilavuus $+ 4^{\circ}$ lämmössä on $1,000 \text{ cm}^3 = 1 \text{ litr.}$

0° C. tilavuus	$1,000,12 \text{ cm}^3$	9° C. tilavuus	$1,000,19 \text{ cm}^3$
1 » »	$1,000,07$ »	10 » »	$1,000,27$ »
2 » »	$1,000,03$ »	20 » »	$1,001,74$ »
3 » »	$1,000,01$ »	30 » »	$1,004,33$ »
4 » »	$1,000,00$ »	40 » »	$1,007,73$ »
5 » »	$1,000,01$ »	50 » »	$1,012,05$ »
6 » »	$1,000,03$ »	60 » »	$1,016,98$ »
7 » »	$1,000,07$ »	80 » »	$1,028,85$ »
8 » »	$1,000,12$ »	100 » »	$1,042,99$ »

Yksi litra vettä on siis lämpötilasta 4° C. lämpötilaan 100° C. laajentunut 43 cm^3 . Jos punnitaan yhtä suuret kuutiomäärät vettä eri lämpötiloissa, niin ne eivät paina yhtä paljon. Enin painaa tietty kuutiomäärä $+ 4^{\circ}$ C. lämpimänä, kylmempänä sekä lämpimämpänä vähemmän. Senpä vuoksi, kun jonkun toisen aineen painoa verrataan veden painoon, kuten aineiden ominaispainoa määrätessä, on vedellä oleva määrätty lämpö, joksi on valittu juuri $+ 4^{\circ}$ C., jossa lämpötilassa vesi on raskainta. Yksi litra sellaista vettä painaa, kuten tiedämme, 1 kg. Syytä tähän veden omituiseen laajenemiseen ei tiede tunne.

Luonnossa on tällä veden epäsäännöllisellä laajenemisellä hyvin suuri merkitys. Kun vesi järvissä ja joissa talven tullen alkaa jäähtyä, tapahtuu jäähtyminen pinnalta. Jäähtynyt kylmä vesi ollen raskaampaa uppoaa ja lämmin vesi nousee pinnalle. Se jäähtyy taas vuorostaan ja uppoaa. Sellaista kiertokulkua kestää kunnes vesi läpeensä on $+ 4^{\circ}$ C. Kun vesi nyt pinnalla edelleen jäähtyy, laajenee se eikä, ollen nyt kevyempää kuin $+ 4^{\circ}$ C. lämmin vesi, enää uppoakaan. Jäähtyminen jatkuu siis ainoastaan pinnalla kunnes vihdoin vesi pinnalla on 0° C. ja jäätyy. Syvemmillä oleva

vesi on yhä edelleen + 4° C. ja pysyy, joll'ei järvi ole kovin matala, siinä lämpötilassa koko talven. Jos vesi jäähtyesään supistuisi yhtämittaa aina 0 asteeseen, niin kaikki vesi järvestä kävisi nolla-asteiseksi ja järvi jäätyisi pohjaan saakka.

Kiinteiden aineiden laajeneminen on niin pieni, että sen huomaamiseen täytyy käyttää aivan erityisiä keinoja. Laajenemista voi ilmoittaa joko niin, että lausutaan miten suuren osan kappaleen tilavuus suurenee tilavuudesta 0° C. lämmössä, kun kappaleen lämpötila lisääntyy 1° C., tai niin, että lausutaan, miten suuren osan aineesta tehty tanko pitenee siitä pituudesta, mikä sillä on 0° C. lämmössä, kun senkin lämpötila lisääntyy 1° C. Edellistä lukua sanotaan *tilavuuden laajenemiskoeffisientiksi*, jälkimäistä *pituuslaajenemis-* eli *venymiskoeffisientiksi*.

Myös kiinteiden aineiden laajeneminen on epätasainen, korkeammassa lämpötilassa suurempi. Ylipäänsä on venyminen joka suuntaan yhtä suuri, mutta on aineita, jotka venyvät eri suuntiin eri paljon. Sellaisia ovat monet kiteet ja aineet, joilla on syinen rakenne. Onpa olemassa aineita, jotka yhteen suuntaan venyvät, toiseen hiukan supistuvat esim. kalkkisälpä.

Mainittakoon tässäkin muutamia venymiskoeffisienttejä. Luvut koskevat venymistä lämpötilan 0° C. ja 100° C. välillä.

Lasi	0,000008	Hopea	0,000019
Platina	0,000009	Tina	0,000023
Teräs	0,000011	Lyijy	0,000028
Kupari	0,000017	Sinkki	0,000029

Kiinteiden aineiden laajeneminen tapahtuu melkein vastustamattomalla voimalla. Täytyy aina ottaa huomioon tämä laajeneminen. Rautasiltoja rakennettaessa, höyrykattiloita sijoitettaessa muurin sisälle j. n. e. on aina jätettävä riittävä tila laajenemiselle.

Tarkoissa mittauksissa on huomattava, että mittatangon pituus vaihtelee lämpötilan mukaan ja kaikissa muissakin mittauskoneissa on lämmön vaikutus koneen osiin otettava huomioon.

Eri aineiden eri suurta laajenemista käytetään myös hyväksi eri tarkoituksiin. Yhdestä aineesta tehdyn kellon-heilurin pituus vaihtelee lämpötilan mukaan. Sellainen kello ei käy oikein, ellei sitä pidetä aina samassa lämpötilassa. Jos kellon

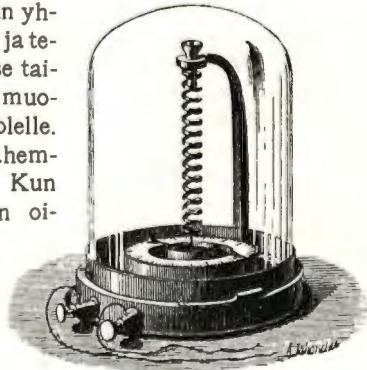


Kuva 97.
Kompensati-
on-heiluri.

jäähtyy, käyristyy se taas kokoon. Liikkeen mukaan kääntyy viisari, joka elohopealämpömittariin vertaamalla saadulla asteikolla näyttää lämpötilaa.

lämpötilan vaihtelusta huolimatta tulee käydä oikein, täytyy heilurin olla niin rakennettu, että sen pituus pysyy samana, lämmön vaikutus heiluriin olla tasattu, heilurin tulee olla n. s. tasaushheiluri (kompensationsheiluri). Tasaus voi tapahtua eri tavoilla, esim. seuraavalla. Heilurin varsi on tehty viidestä yhdensuuntaisesta tangosta, joista äärimäiset ja kekimäiset ovat rautaa, niiden välillä olevat sinkkiä. Äärimäisten tankojen alapäävät ovat yhdistetyt poikkitangolla, poikkitangosta ylöspäin ovat sinkkitangot asetetut niin, että niiden yläpäävät ovat yhdistetyt poikkitangolla ja siihen kiinnitetty keskimäinen rautatanko, joka kulkee alemman poikkitangon läpi. Kun rautatangot pitenevät, laskeutuu heilurin paino alemmaksi, mutta kun sinkkitangot samalla pitenevät nousee heilurin paino ylöspäin. Koska sinkki laajenee enemmän kuin rauta, niin noiden lyhempien sinkkitankojen piteneminen on, jos tankojen pituus on oikein valittu, yhtä suuri kuin keskimäisen ja äärimäisten rautatangojen piteneminen yhteensä. Siten pysyy pendelin pituus muuttumattomana.

Myös lämpömittarin voi rakentaa käyttämällä eri metallien eri suurta laajenemista. Juotetaan yhteen esim. kuparinen ja teräksinen nauha ja se taivutetaan kierukan muotoon, kupari sisäpuolelle. Teräs laajenee vähemmän kuin kupari. Kun nauhaa lämmitetään oikeenee se, kun se



Kuva 98. Metallilämpömittari.

XI.

Kappaleiden lämpövarautumiskyky. Ominaislämpö. Atomi-
lämpö. Molekyylilämpö. Sulaminen. Jähmettyminen. Höyrysty-
minen. Höyryn jäntevyys. Kyllästetty ja kyllästämätön höyry.
Kiehuminen. Tiivistyminen. Tislaus. Rajalämpötila. Rajapaine.
Kaasujen tiivistäminen. Höyrykone. Lämmön työarvo.

Olemme nähneet, että kappaleen lämpötilan korottami-
seen vaaditaan lämpöä. Kappaleeseen on ulkoapäin tuleva
energiaa muodossa tai toisessa, joka energia kappaleessa muut-
tuu sen molekyylien kasvavaksi liike-energiaksi tai on kappaleen
sisäisessä rakenteessa tapahtuva sellainen muutos, että sen
aineosissa piilevä energia muuttuu molekyylien liike-energiaksi.
Jos haluamme korottaa eri aineiden yhtä suurien painomää-
rien lämpötilaa yhtä paljon, niin voimme kysyä: tarvitaanko
siihen aina sama määrä lämpöä, energiaa? Vastauksen
kysymykseemme antaa yksinkertainen koe. Tehdään eri
aineista samanpainoisia kappaleita; painakoot ne kaikki esim.
1 kg. Kappaleet lämmitetään kaikki samaan lämpötilaan,
vaikkapa panemalla ne kiehuvaan veteen. Otamme pun-
nitun määrän vettä, esim. 1 kg, ja mittaamme sen lämpö-
tilan. Se olkoon 0°C . Nyt panemme kappaleet kunkin täl-
laiseen veteen ja sitten, kun veteen asetettu lämpömittari
ei enää nouse, merkitsemme veden lämpötilan. Kappaleet
ovat kukin luovuttaneet vedelle lämpöä ja, jos ne ovat luovut-
taneet yhtä paljon, täytyy lämpömittarin kaikissa astioissa
näyttää samaa lämpötilaa. Huomaamme, että niin ei ole. Ol-
koot kappaleet esim. aluminiumia, rautaa, kuparia, hopeaa ja
elohopeaa. Veden lämpötilan huomataan astioissa olevan otet-
tuina samassa järjestyksessä: $+ 17,^{\circ}6$, $10,^{\circ}2$, $8,^{\circ}4$, $3,^{\circ}2\text{C}$. Koska
1 vesikilogramman lämmittämiseen 1 asteen C. tarvitaan ai-
nakin näin ahtaitten rajojen välillä sama lämpömäärä, niin

naemme ylläolevista luvuista, että kappaleet ovat jäähtyessään luovuttaneet vedelle hyvinkin eri suuria lämpömääriä. Alumiini on luovuttanut enemmän kuin viisi kertaa niin paljon lämpöä kuin sama painomäärä samaan lämpötilaan lämmitettyä elohopeaa. Sitä lämpömäärää, joka kohottaa jonkun kappaleen lämpötilan 1° C., sanotaan kappaleen *lämpövarautumiskyvyksi* (lämpökapasiteetiksi).

Lämpömäärän mittaamista varten tulee meidän hankkia tälle käsitteelle joku yksikkö. Yksikkö on tietysti itsekin joku lämpömäärä. Lämpöyksikkö on se lämpömäärä, joka tarvitaan korottamaan 1 kg:n *vettä* lämpötilaa 0 asteesta 1 asteeseen Celsiuksen lämpömittariasteikolla, kun vesi on tavallisen ilman paineen alaisena. Tätä lämpöyksikköä nimitetään *kaloriaksi* (merkitään kal.). Koska käytetään toistakin pienempää lämpöyksikköä, joka saadaan kilogramman asemasta käyttämällä grammaa, olisi ensinmainittua yksikköä nimitettävä kilogrammakaloriaksi ja jälkimäistä grammakaloriaksi. Kappaleen lämpövarautumiskyky mitataan nyt jommallakummalla näistä yksiköistä. Yhden kilogramman lämpövarautumiskykyä lausuttuna kilogrammakalorioina sanotaan aineen *ominaislämpöksi*. On selvää, että saadaan vallan sama luku, jos kilogramman asemasta käytetään grammaa ja kilogrammakalorian asemasta grammakaloriaa. Aineen ominaislämpö on siis aineen lämpövarautumiskyky verrattuna veden lämpövarautumiskykyyn yksikkönä. Ominaislämpö on, kuten ominaispainokin, verrannollinen suure.

Aineiden ominaislämmön määrääminen voi tapahtua monellakin tavalla. Koneita, joita sen määräämiseen käytetään, sanotaan kalorimetreiksi. Kiinteiden aineiden ja nesteiden ominaislämpöjen määrääminen tapahtuu vallan yksinkertaisesti noudattamalla menettelyä, jolla äsken näytimme, että yhtä suuret painomäärät eri aineita sisältävät eri suuria lämpömääriä samassa lämpötilassa. Tietty painomäärä kyseessä olevaa ainetta lämmitetään tiettyyn lämpötilaan. Kappale muutetaan sitten punnittuun määrään vettä, jonka lämpötila on tunnettu. Kun vedessä oleva lämpömittari lakkaa nousemasta, merkitään sen lämpötila. Lämpömäärä, minkä vesi on voittanut, on yhtä suuri kuin se lämpömäärä, minkä kappale on menettänyt. Siitä lasketaan aineen ominaislämpö.

Olkoon esimerkin vuoksi kappale kuparia, sen paino 1 kg ja lämpötila + 100° C. Veden paino olkoon myös 1 kg ja lämpötila + 10° C. Veden lämpötila sitten, kun kappale on siihen laskettu ja lämpötila vakaantunut, olkoon + 17,8° C. Veden lämpötila on noussut 7,8° ja kun vettä oli 1 kg, on siihen tullut 7,8 kal. lämpöä. Kuparin lämpötila on laskeutunut 82,2° luovuttaessaan mainitut 7,8 kal. Siis tarvitaan yhden kuparikilogramman lämpötilan korottamiseen 82,2° C. lämpöä 7,8 kal. ja korottamaan sen lämpötilaa 1° C. tarvitaan 7,8: 82,2 = 0,095 kal. Kuparin ominaislämpö on siis 0,095.

Ylipäänsä kasvaa aineiden ominaislämpö lämpötilan kasvaessa, muutamien aineiden hyvinkin tuntuvasti. Niinpä hiilen (grafitin) ominaislämpö lämpötilassa 10° C. on 0,113, lämpötilassa 250° C. 0,325 ja lämpötilassa 980° C. on se 0,459. Seuraava taulu sisältää muutamien kiinteiden aineiden ja nesteiden ominaislämmöt, nimittäin keskimääräiset 0° ja 100° C. välillä:

Vesi	1,000	Kupari	0,095
Alkoholi.....	0,566	Sinkki	0,095
Aluminiumi	0,214	Hopea	0,057
Rauta	0,114	Tina	0,056
Nikkeli	0,109	Elohopea	0,033

Kaasujen ominaislämpöä määrätessä on huomattava, saako kaasu vapaasti laajeta vai pysyykö sen tilavuus muuttumattomana. Kuten jo ohimennen huomautimme, toimittaa lämpö, kun kaasu saa vapaasti laajeta, työtä voittaessaan kaasua puristavan ulkonaisen paineen. Tähän työhön kuluu lämpöä ja on siis kaasun ominaislämpö paineen pysyessä muuttumattomana suurempi kuin saman kaasun ominaislämpö tilavuuden pysyessä muuttumattomana. Edellinen on keskimäärin 1,41 kertaa niin suuri kuin jälkimäinen. Kaasujenkin ominaislämpö on korkeammassa lämpötilassa suurempi kuin alemmassa. Ainoastaan »ihannekaasun» ominaislämpökin olisi lämpötilasta riippumaton. Sellaisessa kaasussa aikaansaisivat yhtä suuret lämpömäärät yhtä suuren lämpötilan, tilavuuden ja paineen lisäyksen. Enin lähestyvät ihannekaasua vety- ja heliumkaasut ja senvuoksi soveltuvatkin ne parhaiten lämpötilojen mittaamiseen.

Kaasun ominaislämmön paineen pysyessä muuttumattomana voi määrätä niin, että kaasu saa ensin virrata putken läpi, joka on ympäröity esim. kiehuvalle vedellä, ja sitten putken läpi, jonka ympärillä on kylmää vettä. Kylmän veden lämpötilan kohoamisesta voi sitten, kun läpivirranneen kaasun paino on tunnettu, laskea kaasun ominaislämmön samalla lailla kuin kiinteiden aineiden ja nesteiden.

Kaasujen ominaislämpöä tilavuuden pysyessä muuttumattomana ei voi suorastaan määrätä. Astiaan suljetun kaasun paino on näet astian painoon nähden niin pieni, että sitä lämpöä, mikä tarvitaan kaasun lämmittämiseen, ei voi määrätä sen lämmön ohella, joka kuuluu astian lämmittämiseen. Voi kumminkin määrätä kaasujen molempien ominaislämpöjen suhteen ja siitä ominaislämmön tilavuuden pysyessä muuttumattomana. Muutamien kaasujen ominaislämmöt muuttumattoman paineen alaisina ovat mainitut seuraavassa taulussa.

Vety	..... 3,409	Happi	..... 0,218
Typpi	..... 0,244	Hiilihappo	.. 0,202
Ilma	..... 0,237		

Vedyn ominaislämpö on siis lähes $3\frac{1}{2}$ kertaa niin suuri kuin veden.

Että aineiden eri suuri ominaislämpö riippuu aineiden pienimpien osien ominaisuuksista, sen voimme olettaa varmaksi. Tiedämme, että eri aineiden atomeilla on eri suuri paino. Onhan luonnollista, että tarvitaan eri suuria energiamääriä saattamaan atomit, joilla on eri suuri paino, samanlaiseen liikkeeseen, toisin sanoen korottamaan eri aineiden lämpötilaa yhtä paljon. Tämän mukaan tulisi niiden aineiden, joiden atomipaino on pieni, ominaislämmön olla myös verrattain pieni. Niin ei kuitenkaan ole, jos tarkastamme kaikkia alkuaineita ja sen osoittavat ne luvutkin, joita olemme edellä maininneet. Vedyn atomipaino on pienin kaikista atomipainoista, jonka vuoksi se otetaan aineiden atomipainojen yksiköksi. Kuitenkin on vedyn ominaislämpö suurempi kuin minkään muun aineen. Mutta jos tarkastamme vain kiinteitä aineita ja niistäkin etupäässä vain metalleja, niin huomaamme ominaislämmön kyllä olevan riippuvan aineiden atomipainoista. *Dulong* ja *Petit* lausuvat 1819 sen lain, että kiinteiden aineiden atomipainon ja

ominaislämmön tulo on sama vakituinen luku, olkoonpa aine mikä hyvänsä. *Regnault* on kyllä sittemmin näyttänyt, että laki pitää paikkansa etupäässä metalleihin nähden. Otamme tähän muutamia metalleja atomipainoineen ja ominaislämpöineen sekä näiden kahden luvun tulon, jota nimitetään aineen *atomilämmöksi*.

Atomipaino.		Omin. lämpö.	Tulo.
Litium	7,0	0,914	6,60
Nikkeli	58,5	0,109	6,38
Hopea	107,9	0,057	6,15
Lyijy	206,9	0,031	6,49
Urani	239,0	0,028	6,65

Tulot ovat siis jotenkin yhtä suuret. Tämän tulon keskiarvoksi on 45 alkuaineelle saatu luku 6,26. Kiinteiden aineiden etenkin metallien atomilämmöt ovat siis yhtä suuret, atomipainoilla lausutut painomäärät näitä aineita vaativat samaa lämpötilan korotusta varten yhtä paljon lämpöä.

Mitä kaasuihin tulee, niin voimme niillekin löytää yhteisen lain tässä suhteessa. Avogadron lain mukaan sisältävät yhtä suuret kuutiomäärät kaasuja samoissa olosuhteissa yhtä monta molekyyliä. Kaasujen ominaispainot ovat siis samoja lukuja kuin niiden verrannolliset molekylipainot. Jos nyt kerrotaan kaasun ominaispaino ja ominaislämpö, löydetään kaikille kaasuille sama luku 6,82. Yhtä suuret tilavuudet eri kaasuja vaativat siis samaa lämpötilan korotusta varten saman lämpömäärän. Tätä lukua sanotaan kaasun *molekyli-
lämmöksi*.

Aineen kolme olomuotoa, kiinteä, nestemäinen ja kaasumainen, riippuvat kuten jo olemme nähneet kappaleen molekyleihin vaikuttavan lämmön ja näiden molekyylien välillä vaikuttavien voimien keskinäisestä taistelusta. Kun kiinteän aineen kohesionivoima on siihen määrin heikontunut, että sen molekyylit eivät enää pysy määrättyissä tasapainoasemissaan, vaan alkavat liikkua toisiinsa nähden siirtyen uusiin asemiin, joskin niiden välillä on vielä olemassa heikko kohesioni, silloin alkaa kiinteä kappale muuttua nesteeksi, se s u l a a. Eri aineiden sulaminen alkaa hyvinkin eriävissä lämpötiloissa, jota lämpötilaa sanotaan aineen sulamispisteeksi. Muutamien ai-

neiden sulamispiste on hyvinkin korkea, niinkin korkea, ettemme voi ainetta sulattaakaan. Sellainen aine on hiili, jota siis emme tunne sulassa muodossa. Toisten aineiden on taas niin alhainen, että vasta viime aikoina on voitu saada näitä aineita kiinteään muotoon. Muutamien tavallisten aineiden sulamispisteet ovat:

Platina	1,775° C.	Tina.....	230° C.
Takorauta	1,600 „	Rikki	115 „
Valurauta	1,200 „	Vaha	62 „
Kupari	1,080 „	Stearini ..	60 „
Kulta	1,070 „	Voi	32 „
Hopea	968 „	Jää	+ 0 „
Sinkki	418 „	Elohopea .	— 39 „
Lyijy	328 „		

Tulemme vastedes tuntemaan vieläkin alempia sulamispisteitä.

Jos pakkasilmalla otamme ulkoa lunta astiaan ja panemme siihen lämpömittarin, näyttää se jotakin lämpötilaa alle 0°. Lämmitämme nyt astiaa. Lämpömittari nousee ja näyttää nyt kohta lämpötilaa 0°. Silloin alkaa lumi sulaa. Lämpömittari näyttää yhä edelleen 0° ja lämmitimmepä astiaa kuinka paljon hyvänsä, näyttää lämpömittari tätä lämpötilaa aina siihen saakka kunnes kaikki lumi on sulanut. Lämpö kuluu lumen sulattamiseen, kiinteän aineen, lumen, molekyylien saattamiseen siihen keskinäiseen asemaan, joka niillä sulassa aineessa, vedessä, tulee olla. Kuinka paljon tähän kuluu lämpöä, on helppo määrätä. Otamme 1 kg 0° C. lämmintä lunta tai jäätä ja 1 kg 80° C. lämmintä vettä ja sekoitamme ne. Kun lumi on sulanut, on sekoituksen lämpötila 0° C. Koe sanoo siis, että 1 kg lunta on sulaessaan kuluttanut 80 kal. lämpöä. Jään *sulamislämpö*, se lämpömäärä, minkä 1 kg jäätä, kun se ensin on lämmitetty sulamispisteeseensä, vaatii sulaakseen, on siis 80 eli tarkemmin 80,025 kal. Muutamien muiden aineiden sulamislämmöt ovat: sinkin 28,1, hopean 29,1, tinan 14,2, lyijyn 5,3 j. n. e.

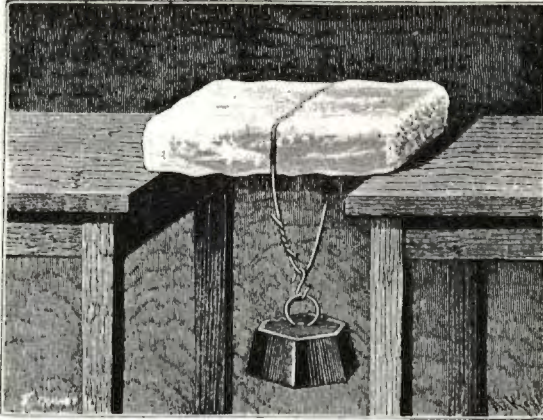
Kiinteän aineen sulamispiste ei ole sekään vallan muuttumaton, joskin se vaihtelee jotenkin ahtaiden rajojen välillä. Sulamispisteeseen vaikuttaa näet paine, jonka alaisena sulava

kappale on. Kuta suurempi ulkonainen paine on, sitä suurempi sisällinen työ täytyy lämmön tehdä kappaleessa, ennenkuin kappaleen molekyylit ovat saatetut siihen keskinäiseen asemaan, että kappale sulaa. Ulkonaisen paineen lisääntyminen vaikuttaa siis ylipäänsä sulamispisteen ylenemisen. Aineet, jotka tavallisen paineen alaisina olisivat sulassa muodossa, ovat kovan paineen alaisina kiinteät, vaikkakin lämpötila on niin korkea, että aineet tavallisessa paineessa jo sulaisivat. Maapallon sisäosissa vallitsee lämpötila, jossa kaikki ne aineet, joista maapallo on kokoonpantu, varmaankin olisivat sulassa muodossa. Kuitenkin on hyvin luultavaa, että maapallon sista tästä korkeasta lämpötilasta huolimatta, on kiinteässä muodossa. Sen vaikuttaa tuo ääretön paine, mikä siellä vallitsee, estäen aineiden sulamista. Missä tämä paine on pienempi, kuten tulivuorien aukoissa, siellä aine onkin sulassa muodossa.

On muutamia aineita, joiden sulamispisteeseen ulkonainen paine vaikuttaa vallan päinvastoin alentaen sulamispistettä. Sellainen aine on jää. Yhden atmosferin paineessa on jään sulamispiste 0°C . Jokaiselta atmosferin paineelta alenee sulamispiste $0,0075^{\circ}\text{C}$. Kovan paineen alaisena pysyy siis vesi sulana paljon alle 0° . On huomattu, että veden lämpötila meren syvyyksissä on usein alle nollan. Noin 10 m korkuinen vesipylväs vastaa kuten tiedämme yhden atmosferin painetta. Tämän mukaan laskettuna pysyy vesi vielä sulana 3,000 m syvyydessä — $2,25^{\circ}$, 5,000 m syvyydessä — $3,75^{\circ}$ ja 8,000 m syvyydessä — 6° lämpötilassa.

Kokeellisesti voi jään sulamispisteen alenemisen näyttää siten, että jääpalan poikki pannaan rautalanka, jonka molempiin päihin ripustetaan raskaat painot. Nähdään, kuinka rautalanka syöpyy jääpalan läpi, vaikka ympäristön lämpötila onkin alle 0°C . Sulamisesta syntynyt vesi jäätyy sitä myöten kuin lanka syöpyy jääpalan läpi ja on jääpala ehyt, vaikkakin lanka on painunut sen läpi. Ilmiötä sanotaan uudestaan jäätymiseksi. Samanlainen ilmiö huomataan alppijäätiköissä, jotka maaperän epätasaisuuksista huolimatta valuvat jäävirtana alppien rinteitä alas. Jäävirtaa kohtaavat esteet syöpyvät jään läpi ja vesi jäätyy taas esteen takana.

Paitsi sulamalla muuttuu kiinteä aine nestemuotoon liukenemalla. Myös liukenemiseen kuuluu lämpöä ja ellei siihen



Kuva 99. Uudestaan jäätyminen.

tarvittava lämpö tule ulkoapäin, niin neste, jossa liukeneminen tapahtuu, jäähtyy luovuttaessaan liukenemiseen tarvittavan lämmön. Etenkin monet suolat liuotessaan alentavat tuntuvasti liuotusnesteen lämpötilaa. Kourallinen salpietaria pantuna vesilasiin aikaansaa useamman asteen lämpötilan alenemisen. Salpietarihappoinen ammoniakki liuotettuna painonsa vettä alentaa lämpötilaa kakonaista 27°C . Jos veden asemasta käytämme lunta tai jäätä, alenee lämpötila vieläkin enemmän. Suolan liukeneminen ja jään sulaminen vaativat molemmat lämpöä. Kolme osaa hienonnettua jäätä ja yksi osa keittosuolaa antaa sekoituksen, jonka lämpötila on -21°C ., yksi osa jäätä ja kaksi osaa k'orkalsiumia -42°C ., laimennettun rikkihapon ja lumen sekoitus -50°C . Että jää näissä sekoituksissa sulaa, johtuu siitä, että suola- tai happoliuosten sulamispiste on paljon alempi kuin puhtaan veden, ne pysyvät sulina paljon alle 0°C . Merivesikin pysyy sulana vielä lämpötilassa alle 0° .

Aineen sulaessa tapahtuu äkillinen tilavuuden muutos ja useimmat aineet laajenevat sulaessaan. Vesi tekee tästäkin yleisestä säännöstä poikkeuksen; se supistuu sulaessaan. Jos sulatamme $1,000\text{ cm}^3$ 0°C . lämmintä jäätä, saamme vain 910 cm^3 0°C . lämmintä vettä. Supistuminen on siis $\frac{1}{11}$. Jää on kevy-

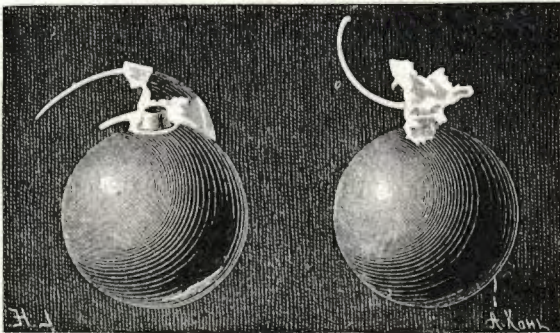
empää kuin yhtä suuri määrä vettä, sen ominaispaino on 0°C . lämpötilassa vain 0,917. Tällä seikalla on luonnossa myös suuri merkityksensä. Jää ollen vettä kevyempää ainetta ui veden pinnalla. Jos asianlaita olisi päinvastainen, uppoaisi jää pohjaan, uutta jäätä muodostuisi pinnalle, se uppoaisi pohjaan; meret, järvet ja joet täyttyisivät kokonaan jäällä, joka vain pinnalta kesän aikana jonkun verran muuttuisi vedeksi. Jokainen ymmärtää, mikä seuraus tästä olisi kaikelle elämälle maan pinnalla.

Kappaleen sulamisen päinvastainen ilmiö on kappaleen jähmettyminen, sen muuttuminen sulasta muodosta kiinteään. Jähmettyminen tapahtuu samassa lämpötilassa kuin sulaminenkin, jähmettymispiste ja sulamispiste ovat samat. Kumpi ilmiö kulloinkin tapahtuu, se tietysti riippuu siitä, onko kappaleen ympäristön lämpötila yli tai alle tämän pisteen, saataanko kappaleeseen lisää lämpöä, vai poistetaanko siitä lämpöä. Jos jähmettyvään nesteeseen pannaan lämpömittari, näyttää se samaa lämpötilaa siksi kunnes kaikki neste on jähmettynyt. Kappaleen sulamiseen kului lämpöä, kappaleen jähmettyessä tulee taas sama määrä lämpöä vapaaksi. Se energiamäärä, mikä kului kappaleen sulattamiseen tarvittavaan sisäiseen työhön, muuttuu taas jähmettyessä takaisin energiaksi, lämmöksi. Yksi kg 0° lämmintä vettä luovuttaa siis jähmettyessään 80 kal. lämpöä, saman lämpömäärän, mikä kuluikin 1 kg 0° lämmintä jäätä sulattamiseen. Ne suuret määrät lämpöä, jotka vapautuvat veden järvissä, joissa ja merissä jäätyessä, vaikuttavat tietysti tuntuvasti ilmanalaan syksyaltvella.

Samat seikat, jotka vaikuttivat kappaleen sulamiseen, vaikuttavat myös sen jähmettymiseen. Paineen lisääntyminen aikaansaa jähmettymisen jo korkeammassa lämpötilassa, paitsi niissä aineissa, joiden sulamispiste alenee paineen lisääntyessä; lisätty paine estää niiden jähmettymistä. Nesteeseen liuotetut suolat ja siihen sekoitetut hapot estävät jähmettymistä. Voipa myös erityisiä varokeinoja käyttämällä jäähdyttää nesteen alle sen jähmettymispisteen nesteen jähmettymättä. Jos veden pinnalle kaadetaan kerros öljyä, joka estää ilman pääsemästä veden yhteyteen, ja vesi asetetaan kovaan pakkaseen, niin alenee lämpömittari vedessä -8° vieläpä -10° eikä vesi jäädy. Mutta jos hiukan pudistetaan astiaa tai heitetään veteen

pieni jääpalanen, niin jäätyy heti osa vettä ja lämpömittari nousee äkkiä nollaan jäätymisessä vapautuneen lämmön vaikutuksesta. Sulatetaan lasiputkessa alarikkihapokkeista natrionia. Se sulaa 48°C . ja jos putken annetaan seistä koskematta, niin laskeutuu lämpötila aina huoneen lämpöön eikä neste jähmety. Putkea pudistettaessa tapahtuu jähmettyminen ja lämpömittari nousee äkkiä sulamispisteeseen.

Jähmettyessään supistuvat useimmat aineet. Vesi, valurauta ja vismuti sitävastoin laajenevat, kuten olemme jo ennen maininneet. Se voima, millä vesi jäätyessään laajenee, on hyvinkin suuri ja murtaa se lujimmatkin esteet. Kun vesi kal-



Kuva 100. Jäätyvän veden halkaisemia pommeja.

lion halkeamissa jäätyy, murtuvat kalliot; vesijohtoputket halkeavat, kun vesi niissä joskus jäätyy. Paksuseinäiset pommitkin särkyvät, jos ne täytetään kylmällä vedellä ja vettä jäähdytetään. Vesi laajenee silloin ja painaa yhä kasvavalla painolla seiiniä. Paine estää kyllä vettä jäätymästä. Lämpötilassa -7°C . on paine seiiniin jo 1,000 atmosferiä. Pommi halkeaa ja vesi ruiskahtaa ulos sekä jäätyy samassa silmänräpäyksessä usein hyvinkin omituisiksi muodostuksiksi.

Mitä aineen muuttumiseen kaasumaiseen olomuotoon tulee, niin tapahtuu tämä muuttuminen jokaisessa lämpötilassa. Yksin kiinteäkin olomuoto muuttuu välittömästi kaasumaiseen olomuotoon muuttumatta välillä nesteeksi. Vieläpä niinkin kiinteät aineet kuin metallit muuttuvat jonkun verran

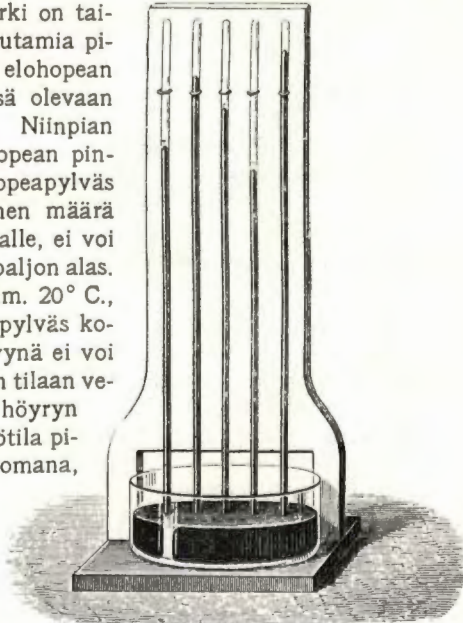
kaasumaiseen muotoon, jonka seikan huomaamme omituisesta metallihajusta. Jää muuttuu samoin välittömästi vesihöyryksi.

On selvää, että sulan aineen muuttuminen kaasumaiseen tilaan alkaa aineen pinnalta, missä aineen molekyylit vain yhdeltä puolen ovat yhteydessä muiden molekyylien kanssa ja missä molekyyliliike voipi irroittaa molekyylit aineen yhteydestä. Tällainen pinnalta tapahtuva kaasutilaan muuttuminen saa nimen *höyrystyminen* ja tapahtuu se, kuten sanottu, jokaisessa lämpötilassa. Mutta kuta korkeampi haihtuvan nesteen lämpötila on, kuta laajempia ratoja sen molekyylit kulkevat, sitä helpommin irtautuvat ne nesteen yhteydestä, sitä useampia molekyylia erkanee nesteestä jonkun määrätyn ajan kuluessa. Kuta lämpimämpi siis höyrystyvä neste on, sitä nopeammin haihtuu se. Kuumalla säällä haihtuu vesi nopeammin kuin kylmällä.

Paitsi haihtuvan nesteen lämpötilaa vaikuttaa haihtumisen nopeuteen nesteen vapaan pinnan suuruus. Kuta suurempi pinta on, sitä useampia molekyylejä irtautuu siitä. Laajasta astiasta haihtuu enemmän nestettä kuin ahtaasta, jos molemmissa nesteen lämpötila on sama. Jos nesteen pinnan yläpuolella on jotakin kaasua, esim. ilmaa, niin haihtuvasta nesteestä syntyneen höyryn molekyylit sekoittuvat ilmamolekyylien kanssa. Höyrymolekyylien leviäminen ilmaan tapahtuu, jos ilma pinnan yläpuolella on levossa, aivan vähitellen ja hitaasti, jonka vuoksi pinnan läheisyydessä olevaan ilmaan kokoutuu yhä enemmän höyryä. Vihdoin lähinnä pintaa oleva ilma on höyryä täynnä. Tällaisen tilan tulee meidän ajatella syntyvän niin, että haihtuminen kyllä jatkuu yhä edelleen, molekyylit irtautuvat nesteen pinnasta, mutta samalla toiset aikaisemmin irtautuneet molekyylit palajavat takaisin nesteeseen ja, kun jonkun ajan kuluessa poistuneiden ja takaisin palanneiden molekyylien luku on yhtä suuri, silloin ei höyrymäärä enää lisäännä eikä nestekään vähene, höyry ja neste ovat niin sanoaksemme tasapainossa. Jos ilma pinnan läheisyydessä on liikkeessä, poistuu höyry ilnavirran mukana ja haihtuminen jatkuu yhä edelleen. Tuulisella säällä kuivaa kaikki nopeammin kuin tyynellä.

Tarkastamme nesteen haihtumista tyhjässä tilassa. Tätä tarkoitusta varten käytämme Torricellin putkea. Annamme

imupillistä, jonka kärki on taivutettu ylöspäin, muutamia pisaroita vettä nousta elohopean läpi putken yläpäässä olevaan ilmattomaan tilaan. Niinpian kuin vesi tulee elohopean pinnalle, laskeutuu elohopeapylväs putkessa. Se vähäinen määrä vettä, joka jää pinnalle, ei voi painaa pylvästä niin paljon alas. Jos lämpötila on esim. 20°C ., niin painuu elohopeapylväs kokonaista 17 mm. Syynä ei voi olla muu kuin tyhjäan tilaan vedestä kehittyneen höyryn jännevyys. Jos lämpötila pidetään muuttumattomana, niin elohopea ei laskeudu sen enempää eikä sen yläpuolella oleva vesi vähene. Tyhjäan tilaan on siis kehittynyt heti vesihöyryä, joka täyttää tämän ti-



Kuva 101. Eri nesteistä syntyneen kyllästetyn höyryn jännevyys on eri suuri.

lan ja jonka jännevyyttä vastaa tuo 17 mm korkea elohopeapylväs, minkä elohopea putkessa aleni. Käytettäessä veden asemesta alkoholia, aleni elohopeapylväs 44 mm ja käytettäessä eetteriä 435 mm, kaikki sillä edellytyksellä, että lämpötila on 20°C . Kaikki nämä kokeet näyttävät, että tyhjäan tilassa kehittyy nesteestä heti *kyllästettyä* höyryä, joka höyry täyttää tyhjän tilan, ja että eri nesteistä syntyneen höyryn jännevyys samassa lämpötilassa on eri suuri.

Uudistetaan sama koe upottamalla Torricellin putken avonainen pää sylinterimäiseen syvempään elohopea-astiaan. Olkoon lämpötila edelleen 20°C . Jos putkea nostetaan nyt ylemmäksi elohopeasta, niin huomataan, että siinä olevan elohopeapylvään korkeus ei muutu, mutta että elohopean pinnalla oleva neste vähenee. Siis syntyy nesteestä uutta höyryä, joten

tuo suurempi tila elohopean yläpuolella yhä edelleen pysyy täytettynä höyryllä, jolla on sama jänitevyys kuin alkujaankin. Kohotetaan putkea ylöspäin kunnes kaikki neste elohopean pinnalta on hävinnyt. Höyryn jänitevyys on yhä edelleen sama. Mutta jos nyt vieläkin kohotetaan putkea ylemmäksi, niin huomataan elohopeapylvään putkessa pitenevän, joka seikka näyttää, että höyryn jänitevyys vähenee. Merkitsemällä tästä hetkestä alkaen höyryn jänitevyyden ja vastaavan tilavuuden, huomamme, että höyry nyt noudattaa täydelleen Mariotten lakia, sen jänitevyys vähenee samassa suhteessa kuin tilavuus kasvaa.

Upotetaan nyt putkea taas elohopeaan. Huomataan elohopeapylvään lyhenevän sitä myöten kuin tila sen yläpuolella pienenee. Höyryn jänitevyys kasvaa Mariotten lain mukaan. Pylväs on nyt laskeutunut samaan korkeuteen, joka sillä oli kokeen alussa, kun kaikki neste oli elohopean pinnalta hävinnyt. Upotetaan putkea edelleen. Elohopean pinnalle ilmestyy nyt nestettä, joka yhä lisääntyy sitä myöten kuin putkea upotetaan elohopeaan, mutta elohopeapylvään korkeus putkessa ei enää muutu. Yhä edelleen putkea upotettaessa muuttuu yhä enemmän höyryä nesteeksi kunnes kaikki höyry on hävinnyt ja elohopean ja putken pään välillä on ainoastaan nestettä.

Kyllästämätön höyry noudattaa Mariotten lakia ja esiintyy tässä suhteessa vallan samanlaisena kuin n. k. kaasut. Kylästetty höyry ei noudata tätä lakia. Tilavuuden, jossa kylästetty höyry ynnä neste, josta se syntyy, ovat suuretsa, kehittyy nesteestä uutta höyryä, joka täyttää tuon suuremman tilan; tilavuuden pienetssä muuttuu niin paljon kylästettyä höyryä nesteeksi, että jäännös täyttää tuon pienemmän tilan. Niinkauan kuin lämpötila pysyy muuttumattomana, on kylästetyn höyryn jänitevyys muuttumaton ja riippuu jänitevyyden sen nesteen laadusta, josta kylästetty höyry on syntynyt. Tätä määrättyä lämpötilaa vastaavaa painetta sanotaan *kylästyspaineeksi* ja on se suurin paine, mikä kyseessä olevalla höyryllä siinä lämpötilassa voi olla.

Ympäroidään kokeessamme käytetty putki laajemmalla putkella, joka sisältää vettä. Lämmitetään tätä vettä. Huomamme silloin kuinka elohopean yläpuolella oleva neste vä-

henee ja elohopeapylväs painuu alas. Korkeammassa lämpötilassa on siis kyllästetyn höyryn jänteveys suurempi. Olkoon elohopean yläpuolella vettä. Kun lämpötila on 100°C ., on elohopeapylväs laskeutunut elohopeapinnan tasalle astiassa. Kylästetyn vesihöyryn jänteveys on siis 100°C . lämpötilassa yhtä suuri kuin yhden atmosferin paine ja mittaa siis jänteveyttä 760 mm. korkea elohopeapylväs. Tutkiaksemme vesihöyryn jänteveyttä lämpötilassa alle 0°C . ympäröimme putken kylmäsekoituksella. Vaikka vesi silloin kyllä jäätyy, niin syntyy jäästäkin höyryä, jolla on jänteveytensä, joskin vähäinen. Seuraava taulu sisältää kyllästetyn vesihöyryn jänteveyden lausuttuna elohopeapylvään korkeutena millimetreinä.

Lämpötila.	Jänteveys	Lämpötila.	Jänteveys.
— 30°C .	0,4	+ 40°C .	54,9
— 20 „	0,9	+ 50 „	92,0
— 10 „	2,1	+ 60 „	148,8
+ 0 „	4,5	+ 70 „	233,1
+ 10 „	9,2	+ 80 „	354,6
20 „	17,4	+ 90 „	525,5
30 „	31,6	+ 100 „	760,0

Korkeammassa lämpötiloissa täytyy meidän käyttää toisenlaista konetta mitataksemme kyllästetyn höyryn jänteveyttä, sillä kun lämpötila on korkeampi kuin 100°C ., on jänteveys suurempi kuin 1 atmosferi ja höyry poistuu putken alapään kautta elohopean läpi. Käytetään manometriputkea, jonka lyhempi haara on laajennettu. Kaadetaan putkeen elohopeaa ja elohopean päälle lyhempään haaraan vettä. Tätä lyhempää haaraa lämmitetään aina 100°C . saakka, jolloin vesi kiehuu. Höyry ajaa ilman putkesta pois ja kun se on tapahtunut, sulatetaan putken pää kiinni. Höyryn jänteveys on yksi atmosferi ja elohopea on molemmissa putkissa yhtä korkealla. Nyt kuumennetaan putken lyhempää haaraa. Elohopea nousee silloin pitempään putkeen ja pylvään korkeus ilmoittaa paljonko yli yhden atmosferin höyryn jänteveys kulloinkin on. Panemme tähän kyllästetyn vesihöyryn jänteveyden atmosfereinä (760 mm) sekä vastaavat lämpötilat.

Lämpötila.	Jänteveys.	Lämpötila.	Jänteveys.
100 °C.	1	170,8 °C.	8.
120,6 „	2	175,8 „	9.
133,9 „	3.	180,3 „	10.
144,0 „	4.	213,0 „	20.
152,2 „	5.	236,2 „	30.
159,2 „	6.	252,5 „	40.
165,3 „	7.	265,9 „	50.

Kuten sekä tästä että edellisestä taulusta näemme, lisääntyä jänteveys nopeammin kuin lämpötila.

Jos kyllästämätöntä höyryä kuumennetaan, muuttuu sen jänteveys, jos tilavuus pidetään muuttumattomana, tai tilavuus, jos ulkonainen paine pysytetään muuttumattomana, kuten kaasujenkin Gay-Lussacin lain mukaan. Sellaisen höyryn jänteveys on verrattuna kyllästetyn höyryn jänteveyteen samassa lämpötilassa pienempi ja tulee sellaista höyryä siis kuumentaa korkeampaan lämpötilaan ennenkuin sen jänteveys on sama kuin kyllästetyn höyryn. Sen vuoksi sanotaankin, että höyry on *ylikumennettua*, kuumempaa kuin kyllästetty höyry.

Nesteen höyrystyessä tapahtuu höyryn kehitys vain nesteen pinnalla. Kun nesteen lämpötila yhä lisääntyy, löyhenee molekyylien yhteys koko nestemäärässä ja vihdoinkin alkaa höyryn kehittyminen nesteen sisälläkin. Neste alkaa kiehua. Ennenkuin kiehumisen voi alkaa, täytyy nesteen sisällä kehittyneen höyryn jänteveyden voittaa sekä nesteen pintaa painava ulkonainen paine että myös sen nestepylvään paine, joka on yläpuolella sitä paikkaa, missä höyry kehittyy. Kun kumminkin tämä jälkimäinen paine ylipäänsä on tavallisissa astioissa aivan vähäpätöinen, voimme sanoa, että nesteen kiehumisen alkaa, kun nesteestä kehittyneen kyllästetyn höyryn jänteveys on yhtä suuri kuin nesteen pinnalla vaikuttava paine. Eri nesteistä syntyneen kyllästetyn höyryn jänteveys on eri suuri samassa lämpötilassa. Siis myös se lämpötila, missä höyryn jänteveys voittaa ulkonaisen paineen, on eri nesteillä niiden ollessa saman paineen alaisina eri korkea. Tätä lämpötilaa sanotaan nesteen *kiehumispisteeksi*. Nesteen kiehumispiste on siis muuttuva aina ulkonaisen paineen mukaan, paineen lisääntyessä.

tyminen korottaa kiehumispistettä, paineen väheneminen alentaa sitä. Paineen vaihtelu vaikuttaa kiehumispisteeseen paljoo tuntuvammin kuin aineiden sulamispisteeseen. Otetaan esimerkiksi vesi. Kyllästetyn vesihöyryn jänteveys on 100°C . lämpötilassa yksi atmosfieri. Veden kiehumispiste on siis 760 mm paineen alaisena 100°C . Oletetaan, että barometrikorkeus olisi vain 720 mm. Tämä jänteveys on vesihöyryllä $98,5^{\circ}\text{C}$. lämpötilassa. Vesi kiehuisi jo silloin mainitussa lämpötilassa. Korkeilla vuorilla on barometrikorkeus pieni; niinpä Mont Blanc vuoren huipulla, 4,810 m meren pinnan yläpuolella, on keskimääräinen barometrikorkeus vain 417 mm. Vesi kiehuu huipulla jo 84°C . lämpötilassa. Lämpömittaria pykälöidessä on siis otettava huomioon barometrikorkeus. Jos barometri näyttää tasan 760 mm, on kiehumispiste 100°C . Jos se näyttää alle tai yli 760 mm., on kiehumispiste merkittävä sillä luvulla alle tai yli 100, jossa lämpötilassa höyryn jänteveys on yhtä suuri kuin barometrikorkeus. Oikein pykälöityä lämpömittaria voi siis käyttää korkeuden määrittämiseen meren pinnasta lukien. Asetetaan lämpömittari kiehuvaan veteen ja merkitään kiehumispiste. Haetaan sitten vesihöyryn jänteveystaulusta se jänteveys, joka vastaa mainittua lämpötilaa; se on barometrikorkeus. Vertaamalla tätä barometrikorkeutta meren pinnan tasalla samalla hetkellä vallinneeseen barometrikorkeuteen saadaan korkeus määrättyksi.

Vähentämällä painetta nesteen pintaa vastaan voi nesteen saada kiehumaan mielivaltaisen alhaisessa lämpötilassa. Ilmapumpun kelloi. alla kiehuu vesi hyvinkin alhaisessa lämpötilassa, vieläpä 0°C ., jos paine alenee aina 4,6 millimetriin. Veden kiehuttamista alhaisen paineen alaisena käytetään teollisuudessakin, kun halutaan poistaa vettä sellaisista aineista, jotka eivät kestä korkeampaa lämpötilaa (n. s. ilmaton kattila).

Avonaisessa astiassa ei ylipäänsä voi kuumentaa nestettä yli ilman painetta vastaavan kiehumispisteen. Tosin voi sellaisessakin astiassa kuumentaa nestettä yli tuon kiehumispisteen. Niinpä vettä, joka jo kerran on kiehutettu ja on muutoin vallon puhdasta, voi varovaisuutta noudattamalla kuumentaa paljonkin yli tavallisen kiehumispisteen; on voitu kuumentaa aina 150°C . Kuinka paljon yli tavallisen kiehumispisteen nestettä kulloinkin voi kuumentaa, näyttää riippu-

van aivan satunnaisista selkoista. Kun sitten kiehuminen vihdoin alkaa, tapahtuu se vallan räjähdysten tavoin ja nesteen lämpö alenee tavalliseen kiehumapisteeseen.

Jos astia, jossa neste on, on syvä, putkimainen, niin paine pohjalla on melkoista suurempi kuin pinnalla. Pohjalla olevan



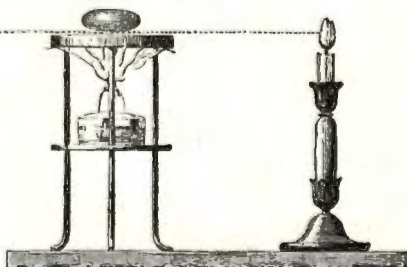
Kuva 102. Geiseri.

nesteen kiehumispiste on korkeampi kuin pintanesteen. Kun putkea kuumennetaan pohjalta, kuumenee pohjavesi yli tavallisen kiehumispisteen. Vihdoin alkaa kiehuminen äkkiä jollakin paikalla putkessa, missä höyryn jäntevyys ja paine ovat yhtä suuret. Yläpuolella oleva neste syöksyy putkesta ulos ja, kun paine siten vähenee, jatkuu kiehuminen pohjaan saakka ja putki tyhjenee rajusti kiehuen. Tällainen ilmiö huomataan kuumissa lähteissä n. s. Geisereissä Pohjois-Amerikassa ja Islannissa.

Nekin ovat syvälle tuliperäiseen vuoreen tunkeutuvia putkia, jotka ovat täynnä vettä. Määräaikojen kuluttua tapahtuu lähteissä kuumen veden ja höyryn purkauksia aina 100 m korkeuteen. Jäähtynyt vesi virtaa takaisin putkeen ja uusi purkaus tapahtuu, kun vesi on taas kyllin kuumentunut.

Kun nestettä kuumennetaan suljetussa astiassa, niin syntynyt höyry ei pääse poistumaan, vaan jääpi astiaan sekä painaa astiassa olevaa nesteen pintaa. Paine pintaa vastaan on alkuperäinen ilman paine ynnä höyryn paine. Höyryn paine on vallan riippumaton siitä seikasta, onko astiassa ilmaa. Kahden kaasu- tai höyrysekoituksen paine on nimittäin yhtä suuri kuin yksityisten kaasujen paineiden summa. Laki käy nimellä *Daltonin laki* (v. 1801). Neste ei siis voi kiehua tavallisessa kiehumispisteessään. Sitä myöten kuin lämpötila kohoaa, kasvaa höyryn paine pintaa vastaan, neste ei kiehu. Jos astian seinät kestäisivät yhä lisääntyvää painetta, voisimme kuumentaa nestettä kuinka korkeaan lämpötilaan hyvänsä eikä neste kiehuisi. Kun astia sitten äkkiä avataan, lakkaa höyryn paine, neste alkaa kiehua silmänräpäyksessä ja alenee sen lämpötila tavalliseen kiehumispisteeseen. Tällaista ylikuumennettua vettä sisältävät höyrykoneiden höyrykattilatkin.

Höyryä voi syntyä myös kuumennetun nesteen alla. Jos kuumalle raudalle pannaan pisara vettä, vetäytyy se kokoon kuten elohopeapallo ja häilyen sinne tänne haihtuu se vähitellen kiehu-



Kuva 103. Leidenfrostin ilmiö.

matta. Sen alle syntyy höyrykerros, joka kannattaa pisaraa, estäen sitä koskettamasta rautalevyyn. Jos levy saa jäähtyä, vähenee höyryn jäntevyys, pisara koskettaa levyyn ja kiehuu silmänräpäyksessä ikäänkuin räjähtäen. Välistä tapahtuu tämä ilmiö, Leidenfrostin ilmiö, höyrykattiloissakin, kun kattilassa on vähän vettä ja seinät kovasti kuumenevat. Vesi vetäytyy kokoon suureksi pisaraksi ja, kun seinä sitten jäähtyy, koskettaa vesi siihen ja seurauksena voi olla kattilan räjähdys.

Lopuksi mainittakoon vielä muutamien nesteiden kiehumispisteet atmosferin (760 mm) paineessa.

Hiilihappo (nesteinä)	— 78° C.	Alkoholi	+ 78° C.
Ammoniakki („)	— 38 „	Vesi	+ 100 „
Kloori („)	— 34 „	Tärpätti	+ 159 „
Rikkihapoke	— 10 „	Elohopea	+ 357 „
Eetteri	+ 35 „	Sula rikki	+ 444 „

Kuten jokainen aineen osien keskinäistä yhteyttä koskeva muutos vaativat nesteen höyrystyminen ja kiehuminen sisäistä työtä, kuluttavat lämpöä. Kun tuuli puhaltaa hikiseen ihoomme, tunnemme ihossa kylmänväreitä. Kosteaa lämpömittari näyttää useampia asteita alempaa lämpötilaa kuin kuiva. Kun viuhkalla viuhdomme ilmaa kasvojamme vastaan, tunnemme virkistävän tunteen senvuoksi, että ihossamme löytyvä neste haihtuu nopeammin. Jos ohueen metallikuppiin panemme eetteriä ja asetamme kupin muutamilla vesipisaroilla kostutulle puupalaselle sekä sitten palkeella puhallamme ilmaa eetterin pinnalle, niin kuppi jäätyy kiinni puupalaan. Haihtuessaan jäähtyy eetteri niin paljon, että vesi kupin alla jäätyy. Höyrystymiseen ja kiehumiseen kuluu suuria määriä lämpöä. Yhden kg 0° C. lämmintä vettä muuttamiseen 0° C. lämpimäksi höyryksi kuluu 607 kal. lämpöä ja yhden kgr 100° C. lämmintä vettä muuttamiseen 100° C. lämpimäksi höyryksi kuluu 537 kal. Sekä höyrystyvään että kiehuvaan nesteeseen täytyy siis tulla ulkoapäin yhtämittaa lämpöä. Jos höyrystyvään nesteeseen asetetaan lämpömittari ja nesteeseen tulee ulkoapäin juuri niin paljon lämpöä kuin höyrystymiseen kuluukin, niin lämpömittari näyttää muuttumatonta astelukua. Jos ulkoapäin tulee vähemmän lämpöä, niin laskeutuu lämpömittari, koska höyrystymiseen tarvittava lämpö tulee silloin riistetyksi nesteestä itsestään. Lämpömittari nousee taas siinä tapauksessa, että ulkoapäin tulee enemmän lämpöä kuin höyrystyminen vaatii, osa lämmöstä korottaa silloin nesteen lämpötilaa. Asetetaan astia kylmää vettä lämpimään huoneeseen. Vesi höyrystyy kyllä, mutta veden alhaisen lämpötilan vuoksi hitaasti. Siihen kuluu verrattain vähän lämpöä, ulkoapäin tulee veteen enemmän lämpöä ja veden lämpötila kohoaa. Kun vesi on yhtä lämmintä kuin ilma huoneessa, lakkaa lämpötila nousemasta, nesteeseen tulee nyt ulkoapäin se lämpö, mikä kuluu höyrystymiseen. Pannaan astia ilmapumpun kellon alle ja

imetään hiukan ilmaa pois. Höyrystyminen tulee runsaammaksi ja nesteen lämpötila alenee.

Kiehuessa nesteessä taas lämpömittari ei nouse, lämmitettäköön nestettä kuinka paljon tahansa. Kun höyrystyminen kiehuessa tapahtuu kaikkialla nesteessä, niin tulipa nesteeseen kuinka paljon lämpöä hyvänsä, kaikki kuluu muuttamaan nestettä höyryksi, kiehuminen käy vaan sitä kiivaammaksi, kuta enemmän lämpöä tulee nesteeseen.

Jos kyllästettyä höyryä jäähdytetään, niin osa höyrystä muuttuu nesteeksi, nimittäin niin suuri osa, että jäljelle jäänyt höyry täyttää sen tilan, jossa höyry on siinä lämpötilassa olevalla kyllästetyllä höyryllä, johon jäähdytettiin. Höyryn muuttuessa takaisin nesteeksi, *tiivistyessä*, tulee se lämpö, joka kului nesteen muuttamiseen höyryksi, taas vapaaksi. Yksi kg 100° C. lämmintä kyllästettyä vesihöyryä luovuttaa tiivistettynä 100° C. lämpimäksi vedeksi 537 kal. lämpöä. Tiivistetyn vesihöyryn luovuttamaa lämpöä käytetään hyväksi höyrylämmityksessä rakennuksissa, höyrylaivoissa, rautatievaunuissa, höyrykeittiöissä j. n. e.

Myös n. s. *tislauksessa* käytetään höyryn tiivistymistä. Neste muutetaan ensin kiehattamalla höyryksi ja höyry johdetaan sitten kylmällä vedellä ympäröidyn putken läpi, jossa se tiivistyy taas nesteeksi. Siten saadaan neste vallan puhtaana, vapaana siihen sekoitetuista ja liuenneista aineista. Kun nimittäin neste kiehuu tai höyrystyy, niin höyry on ainaostaan nesteen höyryä, liunneet ja sekoitetut aineet eivät koskaan seuraa höyryn mukana. Jos taas sekoitetaan kahta nestettä ja sekoitusta lämmitetään, niin molemmat nesteet muuttuvat höyryksi. Mutta tavallisesti toinen tai toinen höyrystyy helpommin, se nimittäin, jonka kiehumispiste on alempi. Tislauksella voi silloin erottaa nesteet toisistaan. Sekoitetaan esim. vettä ja alkoholia, yhtä paljon molempia. Alkoholin kiehumispiste on 78° C., veden 100° C. Jos seos kuumennetaan 78° C., kiehuu alkoholi, mutta ei vesi. Höyry sisältää enemmän alkoholia kuin vettä; samoin myös tiivistetty neste. Jos näin saatu neste tislataan uudelleen, saadaan seos, jossa on vielä enemmän alkoholia verrattuna veteen j. n. e. Tällaisen osittaisen tislauksen avulla saadaan vihdoin melkein puhdasta alkoholia.

Kun kyllästämätöntä höyryä jäähdytetään, niin se tietysti ei tiivisty ennenkuin lämpötila on alentunut siihen lämpötilaan, jossa kyllästämätön höyry muuttuu kyllästetyksi, jossa höyry täyttää sen tilan, missä se on. Kuta enemmän ylikuumennettua höyry on, kuta kauempana se on kyllästymistilastaan, sitä enemmän täytyy sitä jäähdyttää ennenkuin se tiivistyy.

Kun nyt kyllästämätön höyry noudattaa vallan samoja lakeja kuin kaasut, niin oli se ajatus luonnollinen, että kaasutkin ovat nesteiden höyryjä, jotka höyryt ovat suuressa määrin ylikuumennettuja. Uuden ajan tutkimukset ja kokeet ovat näytäneet, että niin todella onkin.

Jos esim. 100° C. lämpöistä kyllästämätöntä vesihöyryä puristamme kokoon, lisääntyy sen jänteveys tilan pienetessä. Vihdoin on sen jänteveys yhtä suuri kuin kyllästetyn höyryn 100° C. lämpötilassa. Jos nyt tätä kyllästettyä höyryä edelleen puristamme kokoon, tiivistyy siitä osa nesteeksi. Voimme kysyä: tapahtuuko näin olipa höyryn lämpötila mikä hyvänsä ja tapahtuuko sama ilmiö olipa höyry mikä hyvänsä, syntynyt mistä nesteestä hyvänsä? Voimmeko tiivistää nesteeksi höyryn tai kaasun minkä hyvänsä, kunhan vaan puristamme sitä kokoon kyllin voimakkaasti? Meidän täytyy vastata, että niin ei ole laita. Niinpä vesihöyryä, joka on kuumennettu yli 370° C., ei voi yksistään kokoonpuristamalla saada muuttumaan vedeksi. Tarvitaan 195 atmosferin paine puristamaan 370° C. lämmintä vesihöyryä vedeksi eikä mikään paine, jonka voimme aikaansaada, riitä, jos lämpötila on yli 370° C. Molekyylien liike-energia on silloin niin suuri, että meiltä puuttuu keinoja yksinomaan paineen avulla saattaa niitä niin lähelle toisiansa, että höyrymuoto muuttuisi nestemuodoksi.

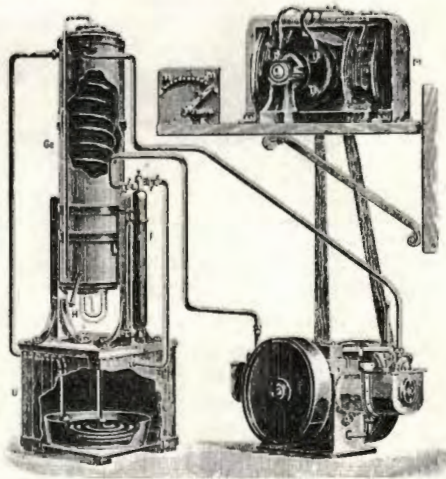
Jokaisella höyryllä on n. s. *rajalämpötila* (kritillinen lämpötila), jolla tarkoitetaan sitä lämpötilaa, jonka yli kuumennettua höyryä ei voi kokoonpuristamalla saada nestemuotoon, käytettäköön painetta kuinka suurta hyvänsä. Tähän rajalämpötilaan kuumennetun höyryn voi siis vielä kokoonpuristamalla saada nesteeksi ja siihen tarvittavaa painetta sanotaan *rajapaineeksi* (kritilliseksi paineeksi). Vesihöyryn rajalämpötila on, kuten jo mainitsimme, 370° C. ja vastaava rajapaine 195 atmosferiä. Vesihöyryn tiivistäminen nesteeksi on kuitenkin aina mahdollinen siten, että jäähdytämme höyryn, eikä mikään

vaikeutakaan aikaansaamasta lämpötilaa, jossa vesihöyry tiivistyy aivan vähäpätöisestä paineesta, niinkuin jo olemme nähneet.

Vaikeammaksi käy asia, kun on kysymys niistä höyryistä, jotka käyvät kaasujen nimellä. Niiden rajalämpötila on hyvin alhainen ja juuri tämän alhaisen lämpötilan aikaansaaminen on ollut se kari, jolle kokeet tähän suuntaan ovat aina uusimpaan aikaan saakka tehneet haaksirikon.

Jo toista sataa vuotta on kokeiltu tarkoituksessa voida tiivistää nesteiksi kaasuja. Jo v. 1823 onnistui *Faradayn* tiivistää kloorikaasua. Lämpötilassa 0°C . tiivistyy se jo 4 atmosfeerin paineessa. *Thilorier* tiivisti hiilihappoa v. 1835. Yhä useampia kaasuja onnistuttiin tiivistämään, mutta muutamat kaasut, vety, happi ja typpi sekä kahden viimeksimäinitun sekoitus, ilma, vastustivat kaikkia kokeita. *Colladon* puristi niitä -30°C . lämpötilassa kokoon 400 atmosfeerin paineella ja *Natterer* aina 3,000 atmosfeerin onnistumatta tiivistää niitä. Syynä epäonnistumiseen oli tietysti se, että näiden kaasujen rajalämpötila on paljon alempana. V. 1869 osoitti belfastilainen professori *Andrews* (†1885) rajalämpötilan merkityksen kaasujen tiivistämisessä ja tämän jälkeen antoivatkin kokeet suotuisia tuloksia. V. 1877 onnistui *Cailletet*in Pariisissa ja *Pictetin* Genevessä tiivistää näitäkin n. s. pysyviä (permanenttia) kaasuja, jolla nimellä tarkoitettiin näiden kaasujen kykyä vastustaa kaikkia tiivistyskokeita.

Cailletet puristi kokoon ilmaa kiertämällä ruuvia putkimaiseen astiaan noin 300 atmosfeerin jäntevyyteen jäähdyttämättä sitä. Ilma ei



Kuva 104. Lindénin ilmantiiivistyskone.

tietysti tiivistynyt. Kokoonpuristettaessa kuumeni ilma kovasti, koska puristettaessa toimitettu mekaninen työ muuttui lämmöksi. Kun ilma oli jäähtynyt, avattiin tiivistysastiassa oleva läppä, jolloin kokoonpuristettu ilma äkkiä laajeni. Laajetessaan toimittaa ilma taas mekanisen työn, johon kuluu lämpöä. Astiassa olevaa ilma jäähdyi suuressa määrin ja astian seinille ilmestyi pieniä pisaroita nesteeksi tiivistynyttä ilmaa, vieläpä kiinteään muotoon jäätynyttäkin. Tä-



Kuva 105. Juoksevan ilman täyttäminen astiaan.

ten saatiin tosin juoksevaa ilmaa, mutta niin vähäisiä määriä, ettei sillä sen enempiä kokeita voinut tehdä. Pictetin kone oli monimutkaisempi ja on se sittemmin siinä muodossa, jonka sille *Linde* on antanut, tullut paljon käytäntöön kylmäkoneena.

Ilma tiivistetään ensin noin 50 atmosferin paineella astiaan, joka on ympäröity kylmäsekoituksella. Jäähtynyt ilma saa nyt äkkiä laajeta, jolloin se jäähtyy melkoista alempaan lämpötilaan kuin sillä oli kylmäsekoituksessa, kumminkaan vielä tiivistymättä. Näin jäähtynyt ilma johdetaan nyt takai-

sin ensin tiivistysastian ympäri ja sitten edelleen tiivistyspumpuun ja siitä tiivistysastiaan. Nyt on tiivistysastiassa ilmaa, jonka lämpötila on paljon alempi kuin ensimmäisen tiivistyksen jälkeen. Tämä ilma saa taas laajeta ja jäähtyy se vieläkin alempaan lämpötilaan ja jäähdyttää taas takaisin virratessaan tiivistysastiankin yhä alempaan lämpötilaan.

Näin jatketaan kunnes vihdoin tiivistysastiasta virtaa ulos nesteeksi tiivistynyttä ilmaa. Ilman rajalämpötila on -191°C . ja saadaan silloin sinertävä neste. Vaikein tiivistää on vety, sen rajalämpötila on -241°C . ja rajapaine 15 atmosferiä. Heliumkaasu on vielä vaikeampaa tiivistää. Vasta v. 1908 tiivisti *Kamerlingh Onnes* senkin.

Mainittakoon tässä muutamien kaasujen rajalämpötila, rajapaine, nesteen kiehumispiste atmosferin paineessa ja jäähmettymispiste.

	Rajalämpö.	Rajapaine.	Kiehumisp.	Jähm. p.
Hiilihappo	+ 31°C .	4,9 atm.	— 79°C .	— 58°C .
Argon	— 121 „	51 „	— 187 „	— 190 „
Happi	— 119 „	51 „	— 181 „	—
Typpi	— 146 „	35 „	— 194 „	— 214 „
Vety	— 241 „	15 „	— 252 „	— 259 „

Hiilihappo kiehuu siis kiinteänä aineena, kun se on atmosferin paineen alaisena. Kiinteä vety on puhtaan jään kaltainen kappale, onpa luultu huomattun sen olevan kiteinen.

Juoksevalla ilmalla ei ole määrättyä kiehumispistettä. Ensin alkaa näet typpi kiehua lämpötilassa -194°C . ja sitten vähenee nesteestä typpi, kunnes vihdoin neste on puhdasta happea, joka alkaa kiehua lämpötilassa -181°C . Kun juokseva ilma saa höyrystyä, jäähtyy se edelleen ja muuttuu kiinteäksi. Noin -240°C . lämpötilassa on se niin kimmoavaa jäämäistä ainetta, että siitä väsara takoessa kimmoaa takaisin.

Juoksevaa hiilihappoa on jo kauan valmistettu tehdasmaisesti ja juoksevaa happeakin saadaan jo verrattain helposti. Yhdellä hevosvoimalla voidaan tunnissa valmistaa noin 1 m^3 juoksevaa happea. Tehdasmaisesti valmistetaan nyt jo juoksevaa ilmaakin. Sillä on suuri käytäntö tieteen eri aloilla aikaansaadessa hyvin alhaista lämpötilaa, jossa kappaleiden omi-

naisuudet monessa suhteessa ovat erilaiset kuin tavallisessa lämpötilassa. Niinpä aineiden kohesioni kasvaa melkoisesti. Vähäisistäkin lämpötilan muutoksista laajenevat kappaleet tuntuvasti. Aineiden väri muuttuu ja monet aineet, kuten maito, munat, höyhenet, pumpuli loistavat pimeässä. Aineiden kemiallinen sukulaisuus on melkein hävinnyt. Niinpä fosfori ei yhdy juoksevaan happeen, vaikka se tavallisessalämmössä happeutuu ilmassakin. Aineiden sähkönjohtamiskyky muuttuu, samoin niiden magnetiset ominaisuudet. Korkeammat elimistöt tietysti kuolevat näin alhaisessa lämpötilassa, mutta on pidetty eläviä ituja, bakteerioita, viikon aika — 190° C. lämpötilassa niiden menettämättä elinvoimaansa.

Näistä puistattavan alhaisista lämpötiloista siirrymme tarkastamaan kaasujen käytäntöä korkeissa lämpötiloissa. Ylikuumennetun kyllästämättömän höyryn ja ylikuumennetun nesteen kyllästetyn höyryn jänteveyttä voimme lämpötilaa korottamalla lisätä mielinmäärin. Jos höyrylle annetaan tilaisuus laajeta, toimittaa se laajetessaan ja samalla jäähtyesään työtä. On yhdentekevää mitä höyryä käytetään, mutta luonnollisinta ja halvinta on tietysti käyttää vesihöyryä.

Vesihöyryn käyttäminen liikevoimana on jo yli kaksisataa vuotta vanha. Ensimmäinen, joka rakensi jonkunlaisen höyrykoneen, oli ranskalainen lääkäri *Denis Papin* (†1712). V. 1690 rakensi hän tulikoneensa, kuten näitä koneita ennen kutsuttiin, seuraavalla tavalla. Sylinterissä oli ilmaa pitävä mäntä tankoineen ja männässä oli reikä. Reistä kaadettiin männän alle hiukan vettä ja mäntä painettiin alimpaan asemaansa. Reikä suljettiin nyt ja sylinterin alle pantiin tuli. Höyry kohotti mäntää ja, kun se oli tullut ylimpään asemaansa, pysäytettiin se siihen erityisellä lukolla. Tuli poistettiin ja höyry männän alla sai jäähtyä ja tiivistyä vedeksi. Siten syntyi männän alle tila, jossa höyryn jänteveys oli ilman painetta pienempi. Kun lukko nyt avattiin, painoi ilma männän alas, jolloin kone voi toimittaa työtä siten, että männän tangossa olevat hampaat pyörittivät hammasratasta. Tämä Papinin kone jäi kumminkin vaan yritykseksi, käytäntöön se ei tullut. Myöhemmin rakensi hän kyllä täydellisemmän koneen, joka oli tarkoitettu käytettäväksi painopumpuna. Kattilasta virtasi höyry pumpputorveen ja painoi siinä kuten mäntä vettä

nousutorveen. Sitten päästettiin höyry läpistä ulos, jolloin kattilan ja pumpputorven väli oli suljettu. Sivutorvesta täytettiin pumpputorvi taas vedellä ja avaamalla kattilan putki ajettiin se taas höyryn painolla nousutorveen j. n. e. Konetta käytettiin veden nostamiseen, mutta epäkäytännöllinen se oli eikä Papin sitä sen käytännöllisemmäksi saanut.

Käytännöllisemmän koneen keksi kaksi englantilaista tehtailijaa *New-Comen* ja *Cawley*. Heidän koneensa oli rakennettu muutoin samaan tapaan kuin Papinin ensimmäinen kone, mutta se oli varustettu erityisellä höyrykattilalla, josta höyry kädellä



Kuva 106. James Watt.

avattavan ja suljettavan läpän kautta virtasi männän alle. Ilma painoi tässäkin koneessa männän alas. Sattui niin, että eräs nuori työmies *Potter*, jonka tehtävänä oli avata ja sulkea läppä kattilan ja sylinterin välillä, oli hiukan laiska ja keksi keinon antaa koneen itsensä tehdä tuon työn. Hän kiinnitti läpän varteen ja männän tankoon kaksi nuoraa siten, että männän liikkeessä ylös ja alas läppä aukesi ja sulkeutui. Siten oli koneen itseohjaus keksitty. Tällaisia koneita tuli koko joukko käytäntöön sekä Englannissa että muuallakin, ja pysyivät höy-

rykoneet sellaisina kokonaista viisikymmentä vuotta. Uuden parannuksen keksi englantilainen koneseppä *James Watt* (†1819). Hän antoi näet höyryn vaikuttaa molemmiin puolin mäntää. Käyttämällä kampia muutti hän myös männän ylös ja alas suunnatun liikkeen kiertäväksi liikkeeksi. Wattin parannukset, jotka hän alkoi v. 1765, tekivät koneen vihdoin kellolliseksi käytännöllisellä alalla, joten häntä voikin pitää höyrykoneen lopullisena keksijänä.

Jo v. 1775 oli parisilainen koneseppä *Perier* koettanut käyttää höyrykonetta liikevoimana laivassa, mutta vasta v. 1807 rakensi amerikalainen *Robert Fulton* ensimmäisen höyrylaivan, joka säännöllisesti kulki Hudson-joella.

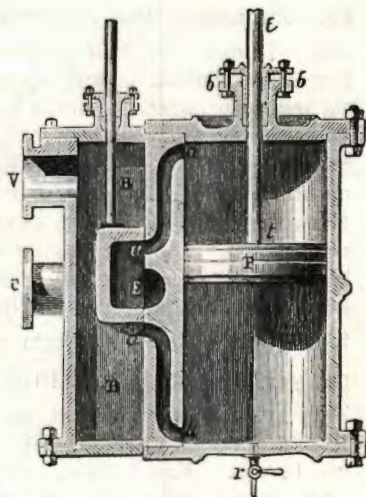
Liikevoimana maalla oli amerikalainen *Ewans* koettanut käyttää höyrykonetta rakentamalla höyryvaunun, joka kulki katuja ilman kiskoja saavuttamatta kuitenkaan tyydyttäviä tuloksia. Luultiin kumminkin, että rautakiskoilla kulkeva höyrykone oli mahdoton syystä näet, että pyörien ja kiskojen välinen hankautuminen olisi riittämätön saattamaan raskasta junaa liikkeelle. Pian huomattiin kumminkin, ettei näin ole laita, ja v. 1825 rakensi *Georg Stephenson* (†1841) ensimmäisen rautatien Stocktonin ja Darlingtonin välille Englannissa. Kulkunopeus oli kumminkin pieni ja vaunut olivat rakennetut kuten tavalliset nelipyöräiset ajoneuvot. Mihin määrin sekä höyrylaivat, veturit, että vaunut sittemmin ovat kehittyneet niin hyvin mukavuuteen kuin kulkunopeuteen nähden, on kylä tunnettu. Mutta parhaimmatkin nykyajan höyrykoneet eivät muuta kattilan lämmöstä enempää kuin korkeintaan noin 10 % mekaniseksi työksi. Suurin osa lämmöstä johtuu ympäristöön, kuluu hankaukseen koneen osissa, y. m. s.

Nykyajan höyrykoneen pääosat ovat höyrykattila, jossa on ylikuumennettua vettä. Höyry virtaa kattilasta höyrylaatikkoon, joka on sylinterin sivulla. Höyrylaatikon ja sylinterin välisessä seinässä on kolme putkea. Keskellä seinää oleva putki johtaa seinän sisällä sivulle päin joko suoraan ulos ulkoilmaan tai kylmällä vedellä ympäröityyn astiaan, tiivistäjään. Molemmat muut putket johtavat sylinterin päihin. Pitkin sylinterin ja höyrylaatikon välistä seinää liukuu seinän puolelta avonainen laatikko, luisti. Luistia lykää edestakaisin tanko, joka kammilla tai epäkeskeisellä le-

vyllä on kiinnitetty siihen akseliin, jota kone pyörittää. Luistin liikkeessa pysyy keskimäisen putken aukko aina luistin alla ja sylinterin päihin johtavien putkien aukot vaihtuvat vuorotellen luistin ulkopuolelle ja sisäpuolelle. Olkoon luisti ensin siinä asemassa, että höyry virtaa höyrylaatikosta männän yläpuolelle työntäen mäntää alas. Männän alla oleva ilma virtaa nyt luistin alle ja sieltä keskimäisen putken kautta pois. Kun mäntä on tullut alimpaan asemaansa, on luistin asema vaihtunut niin, että höyry nyt virtaa männän alle, jolloin käytetty höyry männän yläpuolelta vuorostaan virtaa luistin alle

ja sitä tietä pois. Jos käytetty höyry saa virrata suoraan ulos, niin painaa ulkoilma mäntää yhdeltä puolen. Kattilasta tulevalla höyryllä tulee siinä tapauksessa olla noin 5—10 atmosferin paine, kone on *korkeapainekone*. Jos taas käytetty höyry johdetaan tiivistäjään, niin painaa mäntää yhdeltä puolen vain höyryn tiivistäjän lämpötilaa vastaava paine. Kattilasta tulevan höyryn jäntevyys voi silloin olla melkoista pienempi, kone on *vähäpainekone*.

Höyrykoneissa on meillä paras esimerkki lämmön muuttumisesta mekaniseksi työksi. Jo Robert Mayer määräsi, paljonko mekanista työtä tietyllä lämpömäärällä voi toimittaa. Hänen laskunsa oli seuraava. Yksi kuutiometri ilmaa painaa 1,293 kg. Ajatellaan tämä ilmamäärä suljetuksi putkeen, jonka läpileikkaus on 1 m². Jos ilman lämpötilaa korotetaan 1° C., laajenee se, kun paine on yksi atmosferi, kuten tiedämme $\frac{1}{273}$ tilavuudestaan. Atmosferin paine 1 m² on 10,333



Kuva 107. Höyrykone. B höyrylaatikko. Höyry virtaa männän alle, käytetty höyry virtaa männän yläpuolelta luistin alle ja putken EC kautta pois.

kg. Siis nostaa ilma laajetessaan $10,333 \text{ kg} \frac{1}{273} \text{ m}$ korkealle. Tämän työn toimittamiseen tulee, kun ilman ominaislämpö muuttumattoman paineen alaisena on $0,2375$, saattaa tuohon kuutiometriin ilmaa $1,293 \times 0,2375$, kg kal. lämpöä. Tästä lämmöstä kuluu kuitenkin itse ilman lämpötilan korottamiseen se lämpömäärä, mikä kuluisi, jos tilavuus pidettäisiin muuttumattomana. Ilman ominaislämpö siinä tapauksessa on pienempi kuten tiedämme, se on $0,169$. Siis kuluu ilman lämmittämiseen $1,293 \times 0,169$ kg kal. lämpöä. Edellisen ja jälkimmäisen lämpömäärän ero on se lämpömäärä, joka kuluu ulkonaiseen työhön. Ero on $0,0885$ kg kal. Tämä lämpö on toimitannut $10,333 \times \frac{1}{273}$ kgm mekanista työtä. Siis toimittaa yksi kg kal. lämpöä $10,333 \times \frac{1}{273} \times \frac{1}{0,0885}$ kgm = 428 kgm työtä. Sittemmin on tämä luku, *lämmön työarvo* (lämmön mekaninen ekvivalentti), määrätty kokeellisesti monella eri tavalla. Keskiarvona voimme pitää lukua 425 kgm. Se ei siis ole vähäinen määrä työtä, joka vastaa yhtä lämpöyksikköä. Kun yksi litra vettä keittoastiassa lämmitetään nolasta asteesta sataan, vastaa siihen tarvittava lämpö 42,500 kgm työtä. Tällä työllä voisi nostaa 10 kg 4,250 m korkealle, meren pinnasta Alppien korkeimmille huipuille.

XII.

Lämmön johtuminen. Johtokyky. Hyvät ja huonot johtajat. Lämmön säteily. Pimeät ja loistavat säteet. Lämmön heijastuminen. Lämmön imeytyminen. Lämmön kulku kappaleiden läpi. Lämmön taittuminen. Lämpölähteet.

Olemme lämpöilmiöitä tarkastaessamme huomanneet kuinka lämpö siirtyy kappaleesta toiseen, virtaa ikäänkuin neste astiasta toiseen. Tämä ilmiö aiheuttikin etupäässä olettamisen, että lämpö oli ainetta. Kuten se nopeus, millä neste virtaa astiasta toiseen jonkun huokoisen siivilän läpi, on riippuva astioiden nestepintojen korkeuserosta ja siivilän läpilaskevaisuudesta, niin on lämmönkin kulkunopeus kappaleesta toiseen, kappalten koskettaessa toisiansa, riippuva kappaleiden lämpötilojen erosta ja kappaleiden erityisestä molekyilirakenteesta. Samoin on asianlaita, kun lämpö kulkee saman kappaleen yhdestä osasta toiseen. Mekaninen lämpö-oppi selittää tämänkin ilmiön, lämmön johtumisen, molekyylien liikkeeksi. Lämpimämmän kappaleen molekyylit ovat nopeammassa liikkeessä kuin kylmemmän. Kun kappaleet koskettavat toisiansa, niin sysäävät molekyylit kosketuspinnassa toisiansa niin hyvin lämpimämmän kappaleen molekyylit kylmemmän kappaleen molekylejä kuin myös päinvastoin. Lämpimämmän kappaleen molekyylit luovuttavat osan liike-energiastaan kylmemmän kappaleen molekyleille, niiden nopeus kasvaa ja lämpötila nousee. Ellei kappaleiden pinnan kautta lämpö leviäisi myös ympäristöön, niin vihdoin lämpötila tasoittuisi, joka pisteessä sekä kappaleiden sisällä että pinnalla vallitsisi sama lämpötila. Kuitenkin leviää lämpö kappaleen pinnankin kautta ympäristöön. Sen huomaamme seuraavasta kokeesta. Metallitankoon kaivetaan syvennyksiä yhtä kauas toisistaan ja syvennyksiin asetetaan lämpömittareij-

ta. Tangon yhtä päätä lämmitetään. Lämpömittarit nousevat ensin, mutta jonkun ajan kuluttua näyttävät ne kaikki jotakin määrättyä pysyvää lämpötilaa, sitä korkeampaa, kuta lähempänä lämmitettyä päätä lämpömittari on. Pysyväinen tila syntyy selvästi silloin, kun johonkin tangonläpileikkaukseen virtaa lämpölähteestä päin sama lämpömäärä, joka tästä läpileikkauksesta taas virtaa tangon toista päätä kohti. Syynä tähän virtaukseen kylmempää päätä kohti ei ainoastaan ole lämmön johtuminen tangon sisällä, vaan myös lämmön leviäminen tangon pinnan kautta ympäristöön. On siis huomattava kussakin aineessa kaksi lämmönjohtokykyä, *sisällinen johtokyky* ja *ulkonainen johtokyky*. Edellisellä tarkoitetaan sitä lämpömäärää, lausuttuna tavallisesti grammakalorioina, mikä yhdessä minutissa kulkee kysymyksessä olevasta aineesta tehdyn kuution kahden vastakkaisen pinnan läpi, kun kuution särmä on 1 cm ja lämpötilojen ero näillä vastakkaisilla pinnoilla on 1° C. Ulkonainen johtokyky taas on se lämpömäärä lausuttuna kuten äskenkin, joka minutissa kulkee 1 cm² kautta pinnalla ympäristöön, kun kappaleen lämpötila on 1° C. korkeampi ympäristön lämpötilaa. Kun tunnetaan kappaleen pinnan suuruus, paino ja ominaislämpö sekä lämpötila, voidaan helposti määrätä, montako kaloriaa kappale minutissa menettää 1 cm² suuruisen pinnan kautta. Kun ulkonainen johtokyky on määrätty, voidaan sisäinen määrätä sellaisella tangolla, josta äsken kerroimme. Kun pysyväinen lämpötila tangossa on syntynyt, kulkee jonkun määrätyn läpileikkauksen läpi sama lämpömäärä, joka ulkonaisen johtumisen vuoksi leviää ympäristöön siitä osasta tankoa, joka on läpileikkauksen ja tangon kylmemmän pään välillä.

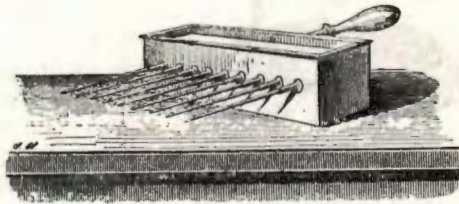
Jos tahdotaan verrata vain eri aineiden sisällistä johtokykyä, valmistetaan aineista samanlaisia tankoja, joiden ulkonainen johtokyky tehdään niin samanlaiseksi kuin suinkin vernissaamalla tai hopeoimalla tangot. Tankojen toinen pää asetetaan samaan lämpölähteeseen ja mitataan, kun pysyväinen lämpötila on tangoissa syntynyt, lämpömittarin avulla, kuinka kaukana lämpölähteestä sama lämpötila vallitsee kullakin tangolla. Johtokyvyt suhtautuvat silloin kuten nämä välimatkat itsellään kerrottuina. Seuraava taulu sisältää muutamien metallien sisälliset johtokyvyt.

Hopea	83.	Rauta	10.
Kupari	61.	Lyijy	7.
Kulta	44.	Platina	7.
Messinki	20.	Uusihopea	5.
Tina	12.	Vismuti	1,5.

Siis menee esim. kuparikuutiossa, jonka särmä on 1 cm, kahden vastaisen sivupinnan läpi, joiden lämpötilojen ero on 1° C., minutissa 61 gr kal. lämpöä eli lähimiten 1 gr kal. sekunnissa.

Taulusta näemme, että metallitkin, jotka ylipäänsä ovat hyviä lämmönjohtajia, johtavat lämpöä hyvinkin eri suuressa määrässä. Sitkeät metallit ovat parempia johtajia kuin hauraat. Vielä suurempi ero on aineiden lämmön johtokyvyssä, jos tarkastamme muitakin aineita kuin metalleja. Tapaamme niinkin vähän johtavia aineita, että niitä voi kutsua huonoiksi johtajiksi. Sellaisia aineita ovat puu, tuhka, silkki, villa, pumpuli. Hiukan paremmin johtavat kivet, lasi ja porseliini. Huonoja johtajia ovat kaikki nesteet, paitsi elohopea, ja kaikki kaasut.

Monenlaisilla kokeilla voi näyttää kappaleiden erilaista lämmönjohtokykyä. Eri aineista tehdään yhtä paksuja tankoja, jotka pistetään korkkien läpi astiaan. Tangot päällystetään ohuella vahakerroksella ja astiaan kaadetaan kuumaa vettä. Kuta parempi johtaja tanko on, sitä nopeammin sulaa vaha tangon pinnalta. Puoleksi kuparista ja puoleksi puusta tehty sylinteri ympäröidään ohuella paperilla ja pidetään väkiviinalampun liekissä. Paperi palaa puusalta, mutta ei kuparilta, sillä kupari, ollen hyvä johtaja, johtaa pois lämmön paperista eikä paperi sen pinnalla kuumene niin paljon, että se syttyisi. Hieno rautalankaverkko pannaan kaasuliekin poikki. Liekki on ikäänkuin poikkileikattu verkon kohdalta, sillä verk-

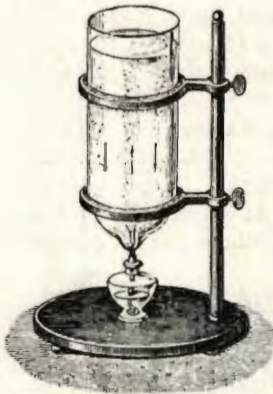


Kuva 108. Lämmön johtuminen eri aineissa.

kuin poikkileikattu verkon kohdalta, sillä verk-

ko johtaa pois lämmön, joten kaasu verkon yläpuolella ei syty. Jos taas kaasuvirta ensin sytytetään verkon yläpuolella, niin liekki ei mene verkon alle.

Jokapäiväisessä elämässä käytetään kappaleiden erilaista lämmönjohtokykyä monenlaiseen tarkoitukseen. Kuumina käsiteltävät esineet varustetaan huonosta johtajasta tehdyllä kädensijalla. Vaatteinamme käytämme huonoja johtajia estääksemme ruumiin lämpöä johtumasta pois ympäristöön. Jääkellarien seinien väliin pannaan sahajauhoa, jolla estetään lämpöä johtumasta kellariin. Hyvä johtaja tuntuu käteen kylmemmältä kuin yhtä lämmin huono johtaja, koska edellinen johtaa kädestä nopeammin pois lämpöä. Jos kumpikin, hyvä ja huono johtaja, ovat lämpimämmät kuin ruumiimme, tuntuu hyvä johtaja lämpimämmältä, koska se paremmin luovuttaa lämpönsä ruumiiseen.



Kuva 109. Kiertokulku pohjalta lämmitetyssä nesteessä.

Nesteet ovat huonoja johtajia. Lasiputkessa voi kuumentamalla vettä pinnalta saada veden pinnalla kiehumään pohjaan upotetun jääpalan edes sulamattakaan. Jos nestettä lämmitetään pohjalta, niin lämmin neste nousee pinnalle ja kylmä painuu pohjaan. Tämän kiertokulun johdosta lämpimää neste pianikin läpeensä. Veden sisällinen lämmönjohtokyky on vain 0,09. Kaasut johtavat samoin huonosti lämpöä. Ilman sisällinen johtokyky on ainoastaan 0,0033, vedyn noin seitsemän kertaa suurempi. Kaasuissakin leviää lämpö kiertokulun kautta, jos niitä lämmitetään alhaaltapäin. Kaasujen huonoa johtokykyä käytetään monella tavalla. Huokoiset aineet ovat huonoja johtajia syystä että niiden huokoisissa on ilmaa. Vaatteittemme soluissa ja vaatteiden ja ruumiin välillä on ilmaa. Talvella käytetään kaksinkertaisia akkunoita, joiden välille jää ilmakerros estäen lämmön johtumista huoneesta.

Lämmön siirtyminen paikasta toiseen johtumalla edellyttää siis jotakin painollista ainetta. Voisi siis luulla, että lämpö

ei laisinkaan voisi levitä tyhjän tilan läpi. Jo jokapäiväinen kokemus näyttää, että niin ei ole. Saapuuhan auringosta maahan painollisesta aineesta tyhjän avaruuden läpi kaikkise lämpö, joka ylläpitää elämää maan pinnalla. Samoin huomaamme, että kuuma kappale, joka pannaan ilmatyhjään tilaan, jäähtyy ja jäähtyy nopeamminkin kuin ilmalla ympäröitynä. Tila, jota me nimitämme tyhjäksi, sisältää kumminkin ainetta, eetteriä, joka täyttää kaiken tilan, missä ei painollista ainetta ole. Tämä aine astuu painollisen aineen sijaan välittämään lämmön kulkua tyhjänkin tilan läpi. Kuten kappaleen molekyylien väräjäminen siirtyy molekylistä toiseen lämmön johtuessa kappaleessa ja yhden kappaleen molekyleistä toisen kappaleen molekyleihin, niin siirtyy painollisten molekyylien väräjäminen eetterimolekyleihin, jotka kaikkialla ovat yhteydessä painollisten molekyylien kanssa. Kappaleen molekyylien syysäyksistä syntyy eetterissä *aaltoliike* vallan kuten ulkonaisen voiman vaikutuksesta painollisessa aineessa syntyy sama liike. Lämpö kulkee siis paikasta toiseen myös aaltoliikkeenä eetterissä, lämpö *säteilee* lämpimistä kappaleista. Jokaisesta kappaleesta, olkoonpa sen lämpötila mikä hyvänsä, kunhan vaan se on korkeampi kuin absoluuttinen nolapiste, säteilee lämpöä. Kuta korkeampi kappaleen lämpötila on, sitä runsaammin säteilee se lämpöä. Alemmissa lämpötiloissa kappaleen säteilevät lämpösäteet ovat *pimeitä* säteitä, niitä emme voi huomata muilla aisteillamme kuin tuntoaistilla tai, jos säteily on niin heikko, että tuntoaistimme ei riitä, erityisillä tunnoilla koneilla, joista myöhemmin puhumme.

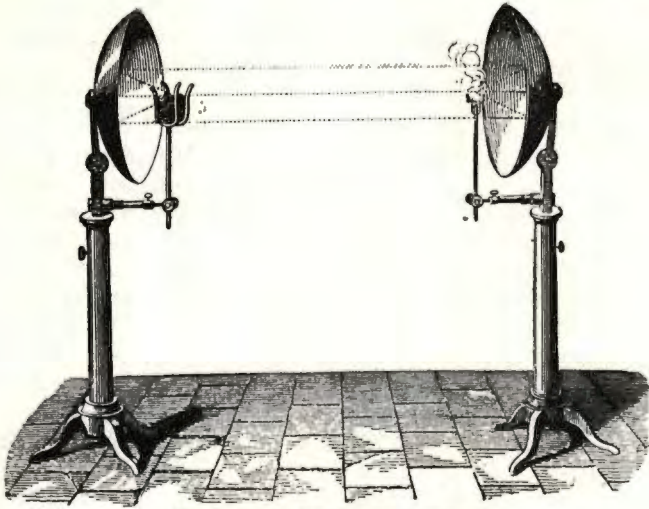
Kappaleen lämpötilan yhä kohotessa huomaamme kappaleen säteilevän myös valoa. Valon säteily alkaa kaikista kappaleista, olkoonpa niiden kemiallinen kokoomus mikä hyvänsä, samassa lämpötilassa. Ensimmäinen valo, mikä kappaleesta säteilee, on omituisen epämääräinen häilyvä harmaa valo n. s. kummituksen harmaa. Se alkaa, kun kappaleen lämpötila on noin 400° C. Kun kappaleen lämpötila on 525° C., säteilee kappale tummanpunaista valoa. Valo käy lämpötilan kohotessa yhä heleämmäksi, 800° C. ja 1,000° C. välillä säteilevät kaikki kappaleet kirsikanpunaista valoa, noin 1,200° C. lämpötilassa on valo keltaisenpunaista ja vihdoin 1,500—1,600 valkeata. Samalla tunnemme kappaleesta säteilevän myös lämpöä. En-

nen oli se luulo yleinen, että kappale näissä lämpötiloissa säteilee kahta lajia säteitä, lämpösäteitä ja valosäteitä. Mitään fyysikalista eroa lämpö- ja valosäteiden välillä ei kumminkaan ole olemassa, ero on olemassa ainoastaan säteiden vaikutuksessa meidän aistehimme. Ne eetterivärähdykset, jotka aikaansaavat lämmöntunteen tuntohermoissamme ja valon tunteen näköhermoissamme, ovat erinomaisen nopeita värähdyksiä ja niiden aaltoväli on erinomaisen pieni. Miten värähdysluku ja siitä seuraava aallonpituus määrätään, siitä kerromme valo-opissa. Nopeus, millä tämä aaltoliike etenee eetterissä, on huomattu olevan 300,000 km sekunnissa ja pienin värähdysluku 3 biljoonaa. Pisin aalto on siis 0,1 mm. Näin pitkillä aalloilla ei ole mitään vaikutusta näköhermoon, me huomaamme ne ainoastaan siten, että ne kohdatessaan painollista ainetta synnyttävät aineessa lämpöä. Näiden pimeiden säteiden alempi raja on 0,0008 mm. 0,0008 mm aallonpituudesta aina 0,0004 mm pituuteen vaikuttaa aaltoliike myös näköhermoon aikaansaaden valon tunteen, aallot ovat kuten sanotaan *l o i s t a v i a*. Vielä lyhemmät aallot eivät vaikuta enää näköhermoon, ne ovat taas pimeitä ja ulottuu lämpöä synnyttävien aaltojen aallonpituus vielä aina 0,00018 mm rajaan saakka. Verrattain pieni ryhmä eetteriaaltoja vaikuttaa siis näköhermoomme, ryhmä ei ole kuin noin $\frac{1}{600}$ kaikista kappaleesta säteilevistä säteistä, joiden aallonpituudet ovat yllämainittujen rajojen välillä.

Lämpö-aallot noudattavat vallan niitä heijastumisen, taittumisen ja interferenssin lakia, joista aalto-opissa olemme puhuneet.

Kun säteilevä lämpö kohtaa esineen pintaa, heijastuu osa siitä takaisin, osa jää kappaleeseen lämmittäen sitä ja muutamissa aineissa kulkee osa vielä kappaleen läpi.

Lämmön heijastumista olemme kyllä tilaisuudessa huomaamaan jokapäiväisessä elämässäkkin. Auringon lämpö heijastuu tyynestä järven pinnasta, sen tunnemme venheessä istuessamme. Samoin heijastuu se kuvastimesta. Käyttämällä samanlaista pallomaista kuvastinta, jolla näytimme ääniaaltojen heijastumisen, voimme näyttää lämmönkin heijastumisen. Yhden kuvastimen eteen asetetaan joku kuuma kappale, hehkuva rautapallo, toisen eteen jotakin helposti syttyvää ainetta, pumpuliruutia; aine syttyy silloin palamaan. Kappa-



Kuva 110. Lämmön heijastuminen.

leen pinnan laadusta riippuu heijastuneen lämmön paljous. Sileä, vaalea pinta heijastaa hyvin lämpöä, karkea tumma pinta huonosti. Kappale, jonka pinta on karkea ja tumma, pidättää lämpöaallot, imee (absorberaa) ne. Asetetaan auringonpaisteeseen kaksi lämpömittaria, toisen pallo on noettu. Noetussa lämpömittarissa nousee elohopea pian, nokeamattomassa hitaasti, eikä se ylipäänsä nousekaan niin korkealle kuin noetussa. Noettu lämpömittari imee lämpösäteilyn paremmin. Lumi on valkeata ja heijastaa keväällä suuren osan auringon lämmöstä takaisin. Jos lumelle sirotamme jotakin tummaa ainetta, vaikkapa tuhkaa, sulaa lumi sillä paikalla paljon nopeammin. Kesällä on vaalea puku viileämpi kuin tumma.

Kappale, joka imee runsaasti lämpöä, säteilee myöskin runsaasti lämpöänsä ympäristöön. Kappaleen imemiskyky ja säteilykyky ovat yhtä suuret. Jokainen kappale vastaanottaa joka hetki lämpösäteitä ympäristöstään ja koska kappaleen lämpötila vihdoin tulee pysyväksi, täytyy sen myös säteillä ympäristöönsä yhtä paljon lämpöä, kuin se vastaanottaakin.

Ei ole mitään kappaletta, joka imisi kaikki sitä kohdanneet lämpösäteet. Kaikista aineista on tällaista ihannekappa-

letta, »täydellisesti mustaa» kappaletta, lähinnä noki, etenkin luunoki. Sen imemiskyky ja siis myös säteilykyky on suurin tunnettu.

Mitä tulee säteiden kulkuun kappaleiden läpi, niin ovat eri kappaleet tässä suhteessa hyvinkin erilaisia. On aineita, esim. vuorisuola, joiden läpi kaikki säteet kulkevat melkein esteettömästi olkoonpa aallon pituus mikä hyvänsä. Se on kaikkia säteitä läpäisevä (diatermaninen). Sitä vastoin toinen yhtä läpinäkyvä kappale, aluna, päästää lävitsensä melkein yksinomaan niitä lämpösäteitä, jotka samalla vaikuttavat näköhermoomme, loistavia lämpösäteitä. Sama on lasin laita. Nämät aineet ovat pimeille lämpösäteille läpäisemättömiä (atermanisia). Loistaville säteille läpäisemättömän, mutta pimeitä läpäisevän aineen saamme liuottamalla jodia hiilirikkiöön. Paksumpina kerroksina on neste loistaville säteille läpäisemätön.

Ilma on melkein täydellisesti läpäisevää sekä pimeille että loistaville säteille. Auringon lämpö tunkeutuu siis ilmakehän läpi sitä sanottavasti lämmittämättä. Ilma lämpiää lähinnä maata johtumalla maan pinnasta, joka imee auringon lämmön, ja lämmin ilma nousee sitten ylöspäin. Ylemmät ilmakerrokset ovat kuitenkin aina kylmät ja kuumissakin maissa ovat korkeat vuoren huiput ikuisen jään ja lumen peittämät.

Vesi taas on paljon vähemmän läpäisevää kuin ilma. Etenkin imee vesi sekä jäänä, vetenä että vesihöyrynä pimeät lämpösäteet. Ilmakehässä löytyvä vesihöyry estää siis maan pintaa yön aikana jäähtymästä pidättäen pinnasta säteilevät pimeät lämpösäteet. Kuta vähemmän vesihöyryä ilma sisältää, sitä enemmän läpäisevää se on pimeillekin säteille. Kirkaalla, kuivalla säällä jäähtyykin maan pinta yöllä alhaiseen lämpötilaan, josta usein maassamme sattuvat yöhallat ovat valitettava seuraus. Lasi ollen läpäisemätön pimeille lämpösäteille soveltuu erittäin hyvin asuinhuoneiden, kasvihuoneiden ja lavojen akkunoiksi. Auringon loistavat säteet tunkeutuvat lasin läpi, lämmittävät huoneessa olevat esineet. Niistä säteilevät pimeät säteet eivät läpäise lasia. Syntyytä täten usein kasvilavoissa niinkin suuri kuumuus, että täytyy avata lasit tai peittää lava.

Eetteri-aallot taittavat tietysti kulkiessaan läpäisevien aineiden kautta sen lain mukaan, josta jo aikaisemmin olemme puhuneet. Kuta pitempi aaltoväli on, sitä vähemmän taittuu aalto. Etenemisnopeuden muutos on siis aallon kulkiessa yhdestä aineesta toiseen sitä suurempi, jota lyhempi aaltoväli on. Antamalla kappaleesta lähtevän säteilyn kulkea läpäisevän kappaleen kautta voimme siis ikäänkuin siivilöidä säteet, joiden aallon pituudet ovat eri suuret, erilleen toisistaan. Aina sen mukaan mitä sädelajeja haluamme kulloinkin tutkia, käytämme taittumisen aikaansaamiseksi tutkittavien säteiden läpäisemää ainetta. Vuorisuolasta tehty kappale soveltuu kaikkien säteiden tutkimista varten, lasista tehty etupäässä loistavien säteiden. Jos ohuesta lasista tehty pallo täytetään äskenmainitulla jodiliuoksella ja pallon yhdelle puolelle asetetaan sähköinen kaarilamppu, niin lampusta säteilevät pimeät säteet taittavat pallon läpi kulkiessaan yhtyen pallon toisella puolella. Yhtymäpaikkaan pantu platinal levy rupeaa hehkumaan, näemmepä sillä vielä lampun hehkuvien hiilienkin kuvan, vaikka pallon läpi ei mene rahtuistakaan valoa.

Kun nyt olemme tutustuneet tärkeimpiin ilmiöihin lämpöopin alalla, niin lienee syytä myös tarkastaa, mistä kaikki se lämpö, jota kaikissa kappaleissa löytyy, on alkujaan, mitä lämpölähteitä on olemassa, joista luonto ammentaa nuo näennäisesti tyhjentyttömät lämpövarastonsa.

Mahtavin lämpölähde on tietysti aurinko. Sadan viidenkymmenen miljonan kilometrin matka erottaa maan auringosta, ja ainoastaan $\frac{1}{1275}$ miljonasosa auringon koko säteilystä kohtaa maapalloa. Kuitenkin on se lämpömäärä, mikä sittenkin kohtaa maapalloa, valtaavan suuri. Jos täydellisesti musta kappale, joka imee kaiken lämmön, asetettaisiin ilmakehän rajalle, niin imisi jokainen neliösentimetri kappaleen pinnasta noin 3 gr kal. lämpöä minutissa. Jos tämän nojalla lasketaan se lämpömäärä, mikä sekunnissa kohtaa koko maapalloa, ja muutetaan tämä lämpö mekaniseksi työksi, niin vastaa maata yhdessä sekunnissa kohdannut lämpö 36,000 miljonaa hevos-

voimaa. Jonkunlaisen käsityksen tästä mahdottomasta voimasta, joka auringon säteilynä saapuu maahan, saamme kun vertaamme sitä Niagaran putouksen voimaan, joka on vain 17 milj. hevosvoimaa. Jos se lämpö, mikä vuoden kuluessa kohtaa maata, käytettäisiin vain jään sulattamiseen, sulattaisi se 30 m paksun koko maapalloa ympäröivän jääkerroksen. Vielä voisi samalla lämmöllä lämmittää koko maata ympäröivän 21 m korkean vesikerroksen nolasta sataan asteeseen.

Suurin osa tästä lämmöstä säteilee kyllä takaisin avaruuteen; se osa, mikä jää maahan, muuttuu monessa eri muodossa piileväksi energiaksi. Auringon säteily on niinhyvin eläin- kuin kasvikunnassa kaiken korkeamman elämän välttämätön ehto. Eläin- ja kasvikunta keräävät ikäänkuin varastoon auringon säteilyä ja jättävät sen taas elämänsä lopulla joko toisille elimistöille tai takaisin maahan. Maasta on kaikki tullut ja maaksi kaikki jälleen muuttuu, mutta auringon säteily on se voima, joka välittää tätä kiertokulkua, välittää sitä niin kauan kuin tätä säteilyä kestää.

Mistä auringon energia, jota se niin runsaalla kädellä jalkaa pohjattomaan avaruuteen, on alkujansa, ja miten kauan se vielä kestää, ovat kysymyksiä, joihin vastaaminen ei kuulu meidän tehtäväämme tässä. Miljonnia vuosia on aurinko antanut maallekin osansa tästä energiasta ja tänäkin päivänä käytämme, kun auringon säteily ei riitä, hyväksemme tätä säilynyttä energiaa. Kivihielet, vuoriöljy, puu, turpeet ja monet muut kemialliset yhdistykset, joissa auringon energia piilee, saavat silloin luovuttaa meidän käytettäväksemme tuon säilyneen energian. Lähinnä auringon säteilyä ovat kemialliset ilmiöt tärkeimmät lämpölähteet.

Aineiden atomeissa piilevä energia, kemiallinen sukulaisuus, muuttuu aineiden yhtyessä lämmöksi ja tämän yhdistyksen taas alkuaineiksi hajoittamiseen kuuluu sama määrä lämpöä. Keinotekoiset lämpölähteemme perustuvat useimmat jonkun aineen hapettumiseen, sen yhtymiseen ilman hapen kanssa. Tämä yhtyminen on se kemiallinen ilmiö, jota nimitetään *palamiseksi*. Yhtyessään hapen kanssa, palaessaan, kehittävät eri aineet eri suuria lämpömääriä ja se lämpömäärä, minkä 1 kg jotakin ainetta palaessaan synnyttää, aineen palamislämpö, määrää tämän aineen arvon polttoaineena.

Esimerkkinä mainittakoon muutamien tavallisten polttoainesten palamislämpö.

Petroleumi.....	11,000.	Kivihiili	7,500.
Vaha	10,500.	Alkoholi.....	7,200.
Stearinihapo....	9,700.	Ruunihiili	4,500.
Hiili (puhdas)....	8,100.	Puu	3,000—4,000.

Myös ihmis- ja eläinruumiissa tapahtuu palaminen, jonka seurauksena on ruumiin lämpö. Terveen ihmisen ruumiin lämpö on $+37^{\circ}\text{C}$. Täysikasvuisen ihmisen ruumiissa kehittyy vuorokaudessa noin 2,700 kg kal. lämpöä, paitsi sitä lämpöä, joka kuluu elimien, etupäässä sydämen toiminnan ylläpitämiseen. Tästä lämmöstä kuluu noin 1,000 kal. ruuan ja keuhkoihin hengitetyn ilman lämmittämiseen. Vielä poistuu säteilemällä ihosta noin puolet jäljellä olevasta lämmöstä ja käytettäväksi jää siis noin 800—1,000 kal. Muutettuna mekaniseksi työkse vastaa tämä lämpömäärä noin 5 kgm työtä sekunnissa tai, jos koko työ kohdistetaan 8 tun. työpäiväksi, noin 15 kgm eli $\frac{1}{8}$ hevosvoimaa.

Mekanisesta työstä lämpölähteenä olemme jo aikaisemmin puhuneet.

XIII.

Ilmatieteelliset havainnot. Maan asema aurinkoon nähden. Ilman lämpötila. Tuulet. Tuulen suunta. Tuulen voimakkuus. Sykloonit. Isobarit. Säännölliset tuulet. Vaihtelevat tuulet. Ilman kosteus. Sumu ja pilvet. Sade, rakeet, lumi, kuura ja kaste. Sääkartat.

Auringon lämpö aikaansaa maan ilmakehässä koko joukon erilaisia ilmiöitä, joiden tarkastaminen kuuluu erityiselle fysiikan osalle, *ilmatieteelle* (meteorologialle).

Onhan ihmisen elämä, etenkin maanmiehen ja merenkulkijan, suuressa määrin riippuva sään laadusta, ja niihinkin, joiden toimeentulo ei sanottavasti ole säästä riippuva, vaikuttaa kaunis sää elähyttävästi ja ruma sää masentavasti. On siis luonnollista, että ihminen ammoisista ajoista on seurannut sään vaiheita ja koettanut löytää sellaisia merkkejä luonnossa, joiden avulla hän voisi ainakin jossain määrin arvostella tulevan sään laatua. Kaikilla kansoilla onkin koko joukko tällaisia sään ennustussääntöjä, jotka useinkin ovat puetut runolliseen muotoon. Jos kohta monikin näistä säännöistä, etenkin ne, jotka ennustavat sään laatua pitkiä aikoja, kuukausia ja vuosiakin etukäteen, ovat nykyisen tieteen kannalta katsoen arvottomia, niin on sääntöjen joukossa kyllä sellaisiakin lähimmässä tulevaisuudessa vallitsevan sään laatua ennustavia, jotka kyllä ansaitsevat huomiota ja jotka usein pitävät paikkansa.

Tieteellisiä, ilmakehässä tapahtuvia ilmiöitä koskevia havaintoja tehdään nykyaikana säännöllisesti kaikissa sivistysmaissa erityisillä ilmatieteellisillä asemilla ja ulkopuolella asuttujenkin seutujen rajoja tehtyjen retkikuntien ohjelmaan sisältyy aina tällaisten havaintojen tekeminen. Onpa tiedemies nykyaikana uskaltanut tässä tarkoituksessa jättäytyä

tuon äärettömän ilmameren virtojen kuljeteltavaksi, jonka pohjalla me asumme ja elämme, ja ilmapallossa pyrkinyt ylös tämän meren ylempiin kerroksiin tutkiakseen samoja ilmiöitä sielläkin. Sekä muinaisten aikojen havaintojen ja muistiinpanojen että nykyajan järjestelmällisesti tehtyjen huomioiden nojalla ovat tietomme ilmatieteellisistä ilmiöistä siksi laajentuneet, että yleiset näitä ilmiöitä koskevat lait tunnemme. Kaukana olemme kumminkin vielä siitä, että voisimme edeltäkäsikin jonkunmoisella varmuudella ennustaa tulevia muutoksia sään laadussa, kun on kysymyksessä pitempi aika. Saamme vastaiseksi tyytyä lähimpään tulevaisuuteen, pariin kolmeen vuorokauteen, ja valitettavasti tapahtuu usein, että nämäkin ennustukset »joutuvat häpeään», että taivas hymyilee viehkeintä hymyään, kun ilmatieteellinen laitos ennustaa sen itkevän sadekyynteliä ja päinvastoin.

Auringon säteily eri osilla maanpintaa on eri voimakas, ja tähtitiede opettaa meille, että syynä tähän on maan asema avaruudessa aurinkoon nähden. Maan akseli on näet kallellaan siihen tasoon nähden, jossa maa kiertää auringon ympäri. *Milton* väittää, että maan akseli ennen syntiinlankeemusta oli kohtisuora tätä tasoa vastaan, mutta syntiinlankeemuksen jälkeen lähetti Jehovah enkelin, joka asetti maan akselin kallelleen, joten maa menetti nauttimansa ikuisen kevään ja sai vaihtelevat vuoden ajat. Ehdottipa *Auguste Comte*, että ihmiskunta kokoaisi kaikki sen käytettävänä olevat voimat ja asettaisi akselin taas kohtisuoraan asemaan. Kaikista haaveiluista huolimatta saamme tyytyä maan akselin kaltevaan asemaan ja siitä seuraaviin vaihteleviin vuodenaikoihin.

Kun maan akselin ja ratatasoa vastaan vedetyn luotiiviivan välinen kulma on $23 \frac{1}{2}$ kaariastetta, seuraa siitä, että auringon säteet kohtaavat maan pintaa kohtisuorasti ainoastaan siinä vyöhykkeessä, jonka rajoina pohjoiseen ja etelään päiväntasaajasta ovat ne leveyspiirit, joiden maantieteellinen leveys on $23 \frac{1}{2}$ astetta, n. s. kääntöpiirit. Kevätpäiväntasauksen aikana, maalisk. 21 p:nä, kohtaavat auringon säteet kohtisuorasti päiväntasaajaa, sitten siirtyy aurinko näennäisesti taivaslaella pohjoiseen päin ja kesäpäivänseisauksen aikana, kesäk. 22 p:nä, kohtaavat sen säteet kohtisuorasti

pohjoista kääntöpiiriä. Aurinko alkaa nyt näennäisesti kulkea etelään, säteet kohtaavat taas kohtisuorasti päiväntasaajaa syyspäiväntasauksessa syysk. 24 p:nä ja eteläistä kääntöpiiriä talvipäivänseisauksessa jouluk. 23 p:nä. Kuta kauemmaksi kääntöpiireistä siirrytään pohjoiseen tai etelään, sitä viistommin kohtaavat auringon säteet maanpintaa silloinkin kun aurinko on korkeimmillaan taivaalla, silloin kun kysymyksessä olevalla pallon puoliskolla on kesä. $66 \frac{1}{2}$ leveysasteella, molemmilla napapiireillä, painuu aurinko alinna ollessaan taivaanrannalle ja näiden piirien ja napojen välisillä seuduilla vallitsee koko vuorokauden kestävä päivä tai yö lyhemmän tai pitemmän ajan kuluessa sen mukaan kuinka kaukana napaan päin paikka on napapiiristä ja onko pallonpuoliskolla kesä vai talvi. Navoilla on puoli vuotta kestävä päivä ja samoin yö.

Kuta viistompaan säteet kohtaavat maata, sitä pitemmän matkan kulkevat ne ilmakehän läpi. Tosin ylemmät ilmakerrokset, kuten olemme nähneet, imevät säteitä verrattain vähän, mutta alemmat, joissa aina löytyy vesihöyryä ja hiilihappoa, imevät niistä koko joukon. Tämäkin seikka vaikuttaa vielä maanpinnan erilaiseen lämpiämiseen eri vyöhykkeissä.

On laskettu, että jos maanpintaa kohtaavan säteilyn voimakkuutta päiväntasaajalla merkitään luvulla 100, niin se 20 leveysasteella on 95, 40 leveysasteella 79, 60 leveysasteella 59, 70 leveysasteella 48 ja navoilla 42.

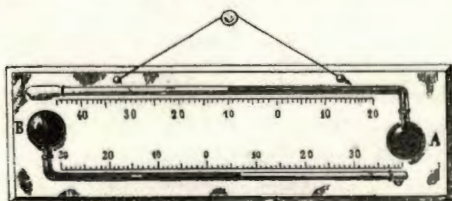
Ensimmäinen seikka, jota ilmatieteen tutkijan tulee tarkastaa, on siis ilmakehän lämpötila, ja se kone, jota hän siihen käyttää, on lämpömittari. Onhan tämä seikka jokapäiväisessäkin elämässä ensimmäinen, johon huomiomme kiinnittyy, ja tuskinpa sitä sivistynyttä henkilöä löytynee, jonka asunnon akkunan ulkopuolella ei olisi lämpömittaria, jota hän ensimmäisinä tehtävinään aamulla ja sitten päivänkin kuluessa tarkastaa.

Vaikka ilmakehän lämpötila ylipäänsä vähenee päiväntasaajalta napoja kohti, niin erehtyisimme kuitenkin suuresti, jos otaksumme, että tämä lämmön väheneminen on tasainen siten, että kaikilla paikoilla, jotka ovat samalla leveysasteella, vallitsisi sama lämpötila. Jonkun paikan lämpötilaan

vaikuttavat nimittäin monet muutkin seikat kuin sen etäisyys päiväntasaajasta. Tärkein näistä seikoista on meren läheisyys. Veden ominaislämpö on paljon suurempi kuin maan. Tarvitaan siis enemmän lämpöä lämmittämään merivettä samaan lämpötilaan kuin maanpintaa. Seuraus tästä on, että kesät meren läheisyydessä ovat verrattain viileät. Kylmänä vuodenaikana taas jäähtyy maanpinta pian, mutta meri säilyttää kauan kesällä kokoomansa lämmön ja luovuttaa sitä ilmallekin. Talvet ovat siis verrattain lauhkeat. Ilmatieteellisessä suhteessa puhutaankin *mannerilmastosta*, jonka tunnusmerkit ovat kuuma kesä ja kylmä talvi, ja *meriilmastosta*, jonka tunnusmerkit ovat viileä kesä ja lauhkea talvi. Myös lämpimät merivirrat vaikuttavat paikkakunnan lämpötilaan.

Saadaksemme käsityksen jonkun paikan lämpötilasta tulee tehdä lämpömittarihavaintoja pitemmän ajan kuluessa tällä paikalla. Ilman lämpötilan mittaaminen on aina tapahtuva varjossa. Vuorokauden kuluessa vaihtelee ilman lämpö useinkin tuntuvasti. Korkein on lämpö tavallisesti noin kl. 1—2 j. p. p., alin auringon noustessa. Käsityksen vuorokauden lämmöstä saamme tekemällä lämpömittauksia säännöllisten väliaikojen esim. yhden tunnin kuluttua ja sitten ottamalla näistä keskiarvon. On kuitenkin huomattu, että samaan tulokseen tullaan mittaamalla lämpöä kolme tai neljä kertaa vuorokaudessa, aamuin, päivin ja illoin. Nämä havainnot tehdään ilmatieteellisissä laitoksissa tavallisesti kl. 7 e. p. p., 2 j. p. p. ja kl. 9 illalla. Keskiarvo näistä on vuorokauden *keskilämpö*. Vuorokausien keskilämmöistä saadaan kuukauden keskilämpö ja koko vuoden vuorokausien keskilämmöistä vuoden keskilämpö. Useampien vuosien keskilämmöistä saadaan vihdoin paikan keskilämpö. *A. Humboldt* keksi tavan havainnollisesti esittää lämmön jakautumista maapallon pinnalla piirtämällä kartalle viivoja niiden paikkojen kautta, joiden vuoden keskilämpö on sama. Näitä viivoja nimetään *isotermeiksi* (samalämpöisyyskäyriksi). Korkeimman lämpötilan käyrä, lämpöekvaattori, kulkee pohjoispuolelta päiväntasaajaa. Eri paikoin tällä viivalla vaihtelee vuoden keskilämpö 27° — 30° C. Alin tunnettu isotermi kulkee paikkojen läpi, joiden keskilämpö on — 17° C. Suomessa

kulkee Hankoniemen läpi isotermin $+ 5^{\circ} \text{C}$. Vaasan seuduilla $+ 3^{\circ} \text{C}$., Oulun $+ 1^{\circ} \text{C}$. ja Sodankylän kautta $- 1^{\circ} \text{C}$. Iso-termien mukaan jaetaan maanpinta ilmatieteellisessä suhteessa vyöhykkeihin. Päiväntasaajan molemmin puolin aina isotermin $+ 20^{\circ} \text{C}$. saakka ulottuu *kuuma* vyöhyke. Sen molemmin puolin isotermin 0°C . saakka on *lauhkea* vyöhyke ja isotermin 0°C . ja napojen välillä *kylmä* vyöhyke. Eri paikoin maanpinnalla ulottuvat nämä vyöhykkeet eri leveysasteille. Vyöhykkeet eivät siis ollenkaan vastaa tähtitieteellisiä vyöhykkeitä molempien kääntöpiirien, kääntöpiirien ja napapiirien ja napapiirien ja napojen välillä.



Kuva 111.
Rutherfordin maksimi- ja minimilämpömittari.

Paitsi kulloinkin vallitsevaa lämpötilaa on tapana merkitä myös vuorokauden ylin ja alin lämpötila. Sitä varten löytyy erityisiä n. s. *maksimi-* ja *minimilämpömittareita*.

Rutherfordin lämpömittarissa on kaksi vaakasuoraan asemaan asetettua lämpömittaria; toinen on täytetty elohopealla, toinen alkoholilla. Molemmissa putkissa on pieni lasipuikko, joka ei täytä putkea. Kun elohopeapylväs lämpötilan noustessa pitenee, lykkää se puikkoa edellään ja, kun pylväs sitten lämpötilan aluetta vetäytyy takaisin, jää puikko paikalleen, ja näyttää mihin astelukuun saakka lämpömittari oli noussut. Alkoholilämpömittarissa kostuttaa alkoholi lasipuikkoa ja kun lämpö alenee, vetää alkoholipylväs lasipuikon mukanaan. Kun pylväs sitten lämmön lisääntyessä pitenee, jää puikko paikalleen ja alkoholi virtaa sen ohi. Puikon asema ilmoittaa alinta lämpöä. Puikot saatetaan taas paikalleen pylväiden päähän hiukan puhdistamalla lämpömittaria.

Tällaisten havaintojen nojalla on huomattu, että lämpömittari, joka on asetettu 2 tai 3 m maanpinnasta ja suojeltu kaikelta suoranaiselta lämpösäteilyltä ei millään paikalla maata nouse $+ 57^{\circ} \text{C}$. korkeammalle. Avonaisella

merellä ei lämpö nouse + 30° C. ylemmäksi. Alin lämpötila, mikä on huomattu, on — 60° C.

Jollei eri osissa maata vallitsisi eri lämpötila, niin ilmakehä pysyisi maan ympärillä vallan liikkumattomana, ei pieninkään tuulen henki virvoittaisi kuumuudesta nääntyviä, myrkylliset turmiolliset kaasut pysyisivät liikkumattomina paikoillaan, koko ilmakehä turmeltuisi vähitellen. Nyt on ilma alituiseissa liikkeessä, sen eri kerrokset sekoittuvat yhtämittaa toisiinsa, tuuli lakaisee tuokiossa pois turmeltuneen ilman kuljettaen sen uudelleen puhdistettavaksi, sanalla sanoen ilman liike on koko luomakunnan elinehto.

Ryhdyimme tarkastamaan näitä ilmavirtoja, tuulia. Tuuleen nähden on kaksi seikkaa havaintojen avulla määrittävä. Ne seikat ovat tuulen suunta ja tuulen voimakkuus. Tuulen suuntaa ilmoitetaan ilmansuunnilla ja käytetään silloin kansainvälisiä merkkejä. Pääilmansuunnat ovat: pohjoinen (N), etelä (S), länsi (W) ja itä (E). Näiden suuntien välisiä ilmansuuntia merkitään kahdella kirjaimella, niiden molempien pääsuuntien kirjaimilla, joiden välillä ilmansuunta on, jolloin ensimmäinen kirjain otetaan suunnasta pohjoinen-etelä. Niinpä merkitään koillinen NE, kaakko SE, luode NW ja lounas SW. Jos halutaan vielä tarkemmin ilmoittaa suunta, käytetään näiden välissä suuntia, jotka merkitään kolmella kirjaimella, esim. NNW pohjoisluode, SSE eteläkaakko, ESW itäkaakko j. n. e. Tuulen suuntaa määrätään tuuliviirillä.

Tuulen voimakkuutta mitataan joko siten, että määrätään tuulen nopeus metreinä sekunnissa tai tuulen paine kilogrammoina neliometrille. Näiden määräyksien nojalla on laadittu tuulen voimakkuuden asteikkoja, joissa tuulen voimakkuutta ilmoitetaan numeroilla. On käytännössä kaksi asteikkoa, *maa-asteikko* ja *meriasteikko* eli *Beaufortin* as-



Kuva 112.
Ilmatieteellinen tuuliviiri.

teikko. Edellinen lausuu tuulen voimaa numeroilla 0—6, jälkimäinen numeroilla 0—12. Panemme tähän taulun, joka sisältää molemmat asteikot, vastaavan tuulen nopeuden ja paineen sekä tuulen vaikutukset, joiden nojalla voi mittauskoneen puutteessa suunnilleen arvostella tuulen voimaa.

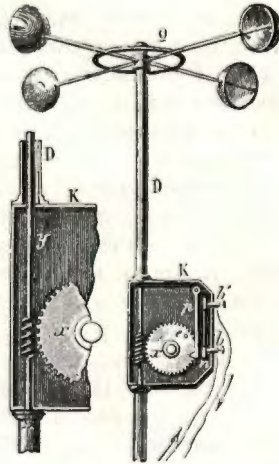
Meri- ast.	Maa- ast.	Tuulen nopeus m/sek.	Tuulen paine kg /m ²	Tuulen vaikutukset.
0	0	0—0,5	0—0,5	Tyyri. Savu nousee suoraan tai melkein suoraan.
1 2	} 1	0,5—4	0,5—1,9	Heikko tuuli. Tuntuu kasvovihin ja käteen. Liikuttaa lehtiä.
3 4				
5 6	} 3.	7—11	6,0—15,3	Navakka tuuli. Liikuttaa puiden oksia.
7 8				
9 10	} 5.	17—28	34,4—95,4	Myrsky. Huojuttaa suuria puita. Taittaa oksia ja pieniä puita.
11 12				

Tuulen nopeutta mitataan *anemometrillä*. Paljon käytetty on ilmatieteellisillä asemilla Robinsonin anemometri. Pystysuorassa akselissa on neljä yhtäpitkää, toisiaan vastaan kohtisuoraa tankoa. Tankojen päihin on kiinnitetty onttoja puolipalloja siten, että palloja rajoittava ympyrä on pystysuorassa asemassa ja että ontto puoli on kaikissa käännetty edellisen puolipallon mykevää puolta kohti. Tuuli painaa enemmän pallojen onttoa kuin mykevää puolta. Akseli rupeaa pyörimään ja vaikuttaa hammasrattaiden avulla viisariin, joka näyttää tuulen kulkeman matkan jonkun ajan kuluessa.

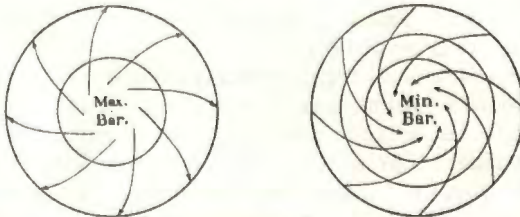
Kun ilma jollakin paikalla lämpimää syystä tai toisesta enemmän kuin ympärillä olevilla paikoilla, syntyy lämpi-

mällä paikalla ylöspäin suunnattu ilmavirta, sillä ylöspäin on lämmön vaikutuksesta laajenevalla ilmalla vähin vastus voitettavana. Ilmavirta nostaa yläpuolella olevia kerroksia. Kerrokset, jotka ennen olivat vaakasuorat, muodostavat nyt ikäänkuin kukkulan ja ilma alkaa ylemmissä kerroksissa, joissa vastus sivuille päin on pienempi, valua sivuille päin. Sen johdosta vähenee ilman paine maanpinnalla tällä lämmitetyllä paikalla, siinä syntyy n. s. *barometriminimi*. Ympärillä olevat ilmakerrokset, jotka ovat tiheimmät, alkavat nyt virrata tätä lämminnyttä paikkaa kohti ikäänkuin vesi kuoppaan. Maanpinnalla

alemmissä ilmakerroksissa syntyy siis tuuli barometriminimiä kohti, ylemmissä ilmakerroksissa puhaltaa tuuli päinvastoin minimistä pois päin. Mutta tuuli ei puhalla suoraan minimiä



Kuva 113.
Robinsonin anemometri.



Kuva 114.
Barometrimaksimi ja barometriminimi pohjoisella pallonpuoliskolla.

kohti eikä suoraan siitä pois päin, vaan pyörteen muotoisesti. Syynä tähän on maan pyöriminen akselinsa ympäri. Tiedämme, että se nopeus, millä piste kulkee maan pyörimisen vuoksi, on päiväntasaajalla suurin ja että nopeus vähenee napoja kohti, missä se on nolla. Ajattelemme etelästä pohjoiseen kulkevaa ilmavirtaa. Ilma tulee silloin seudulta, jossa sen nopeus

itään päin on suurempi kuin sen seudun, johon ilma virtaa. Ilma tulee siis poikkeamaan eteläpohjoisesta suunnasta itään päin. Pohjoisesta virtaava ilma tulee seudulta, jossa nopeus on pienempi. Maanpinta seudulla, johon ilma tulee, liikkuu itään päin suuremmalla nopeudella. Ilma tuntuu siis puhaltavan pohjoisen ja idän väliltä. Minimim ympärillä syntyy siis pyörre, jossa ilman liike on suunnattu oikealle kädelle sen suoraviivaisesta suunnasta, pyörre pyörii vastapäivään. Tämä koskee pohjoista pallon puoliskoa. Eteläisellä pallonpuoliskolla on asianlaita päinvastoin, ilma poikkeaa vasemmalle kädelle ja pyörre pyörii myötäpäivään. Tällaista ilmapyörrettä nimitetään *syklooniksi*.

Vallan vastakkainen ilman liike syntyy, kun ilma jollakin paikalla jäähtyy enemmän kuin ympäristössä. Jäähtynyt ilma supistuu kokoon, ylemmät ilmakerrokset painuvat alaspäin ja ympäriltä virtaa ilmaa sijaan. Sen johdosta tulee ilman paine jäähtyneellä paikalla suuremmaksi kuin ympäristössä. Syntyy n. s. *barometrimaksimi*. Lähinnä maanpintaa virtaa tiivistynyt ilma maksimista ulospäin ja ylemmissä kerroksissa virtaa ilma maksimia kohti. Tässäkin tapauksessa saa ilmavirta maan pyörimisen vuoksi pyörteen muodon ja pyörii ilma alemmissä kerroksissa pohjoisella pallonpuoliskolla myötäpäivään, eteläisellä vastapäivään. Tällaista pyörrettä nimitetään myös *antisyklooniksi* (vastasyklooniksi).

Sykloonissa on barometrikorkeus keskustassa pienin, antisykloonissa keskustassa suurin. Jos piirretään kartalle viivoja niiden paikkojen kautta, joilla on sama barometrikorkeus, saadaan keskustan ympäri käyviä käyriä viivoja. Näillä viivoilla on nimenä *isobarit* (samapaineiskäyrät). Isobareilla on siis ilman paineeseen nähden sama merkitys kuin isotermeillä lämpötilaan nähden. Kuta nopeammin ilmanpaine muuttuu keskustasta ulospäin, sitä voimakkaampi on pyörre, sitä rajummat sen aikaansaamat tuulet. Isobarien tiheys on siis pyörteen voimakkuuden mitta. Tuuli puhaltaa aina enemmän tai vähemmän viistoon isobarien poikki, paikoittain isobaria pitkin.

Minimit ovat ylipäänsä enemmän vaihtelevia kuin maksimit, niiden aikaansaamat sään muutokset jyrkemmät ja

nopeammat kuin maksimien, jotka luonteeltaan ovat kestäviä ja niiden aikaansaama sää myöskin tasaista ja hiitaasti muuttuvaa. Minimien keskustassa vallitseva ilmanpaine vaihtelee minimistä minimiin; Euroopassa on se tavallisesti noin 735—740 mm, mutta on huomattu paineen keskustassa olevan aina 695 mm. Maksimien keskustassa huomattu korkein paine on noin 800 mm ja hiukan ylikin.

Ennenkuin tarkastamme tällaisten pyörteiden aikaansaamia sään muutoksia, tarkastamme pääpiirteissään koko maan ilmasuhteita mitä ilmanpaineeseen ja siitä seuraaviin tuuliin tulee.

Päiväntasaajalla lämpää ilma enin. Pitkin tasaajaa syntyy vyöhyke, jossa vallitsee alempi ilmanpaine kuin molemmiin puolin. Tässä vyöhykkeessä nousee ilma ylöspäin. Vyöhykkeessä vallitsee senvuoksi tyven vaihdellen tilapäisten satunnaisten tuulien kanssa, jonka vuoksi vyöhyke saakin nimen tyven vyöhyke. Korkean lämpötilan vuoksi haihtuu vyöhykkeessä runsaasti vettä, joka vesihöyrynä nousee ilmavirran mukana ylös, tiivistyy siellä ja aikaansaa runsaan sateen. Rajuja ukkosilmoja syntyy myös usein vyöhykkeessä.

Päiväntasaajalla ylösnoussut ilma leviää pohjoiseen ja etelään päin. Maan pyöriminen vaikuttaa kumminkin, että ilmavirta pohjoisella pallonpuoliskolla saa lounastuulen ja eteläisellä puoliskolla luoteistuulen suunnan. Kääntöpiirien seuduilla ovat nämä ilmavirrat maan pallomuodon vuoksi puristuneet melkoisesti kokoon, muuttuneet yhä enemmän länsituuliksi, jäähtyneet ja painuneet alas maanpinnalle. Siten syntyy korkeampi ilmanpaine kääntöpiirin ja noin 40:nneen leveysasteen välillä, jossa vyöhykkeessä on myös verrattain tyyni tai vaihtelevia satunnaisia tuulia. Tämä korkea ilmanpaine aikaansaa sekä päiväntasaajaa että napoja kohti suunnatun ilmavirran. Päiväntasaajaa kohti suunnattu ilmavirta, joka maan pyörimisen vuoksi pohjoisella pallonpuoliskolla saa koillisen ja eteläisellä kaakkaisen suunnan, on n. s. koillinen ja kaakkoinen *pasadituuli*. Napoja kohti kulkevat ilmavirrat saavat taas, kuta kauemmaksi ne tulevat, yhä enemmän läntisen suunnan. Pohjoisella pallonpuoliskolla ulottuu länsituulen vyöhyke noin 65:nnele leve-

ysasteelle. Napojen seuduilla vallitsee taas korkeampi ilmanpaine ja siitä syystä puhaltavat tuulet kylmässä vyöhykkeessä etupäässä navoilta päin, pohjoisella pallon puolella siis pohjoisesta. Näiden vyöhykkeiden rajat muuttuvat vuodenaikojen mukaan, jota paitsi mantereen ja meren jaotus maanpinnalla vaikuttaa paljonkin vyöhykkeiden rajoihin.

Pasadituulet kuuluvat n. s. säännöllisten tuulien joukkoon. Paitsi näitä tuulia on muitakin säännöllisiä tuulia, jotka puhaltavat samalta ilmansuunnalta määrättyinä vuodenaikoina. Sellaisia tuulia ovat *monsunit*. Ne ovat tuulia, jotka kesällä puhaltavat mereltä mantereelle ja talvella päinvastoin. Aasian suuri mannermaa lämpiää kesällä tuntuvasti. Seurauksena on, että kesällä puhaltaa Aasian itärannalla eteläinen ja kaakkoinen tuuli ja koko Intiassa voimakas lounaistuuli, joka kokonaan voittaa pasadituulen. Tämä on Aasian kesämonsuni. Talvella on asianlaita päinvastoin. On muitakin monsunialueita, Australiassa, Guinean rannikolla, Pyreneiden niemimaalla y. m.

Säännöllinen tuuli on myös *meri-* ja *maatuuli*, joka huomataan merenrannoilla, elleivät väkevät tilapäiset tuulet sotke näitä tuulia. Nämä tuulet muuttavat suuntaansa vuorokauden aikojen mukaan. Aamulla ja päivällä lämpiää maa enemmän kuin meri, ilma maalla nousee ylöspäin ja mereltä virtaa kylmempää ilmaa sijaan. Syntyy merituuli, joka kestää noin kl. 6:een j. p. p. Myöhemmin, kun aurinko ei enää sanottavasti lämmitä, jäähtyy maa nopeammin kuin meri, ilma merellä nousee ylöspäin ja maalta virtaa kylmää ilmaa sijaan, syntyy maatuuli, joka tyvenen jälkeen alkaa noin puolen yön aikaan.

European ilmanala on pääasiallisesti riippuva satunnaisista ilmavyöryistä, jotka seuraavat tuon ennen kertomme läntisen ja lounaistuulen mukana, joka maapallon yleisten ilmasuhteiden nojalla on enin vallitseva tuuli meidän maanosassa. Tällaiset pyörteet syntyvät etupäässä Amerikan itärannoilla, Mexikon lahdessa. Myös Guinean lahti Afrikan länsirannalla on paikka, jossa pyörteet usein syntyvät. Ne kulkevat silloin ensin Atlantin valtameren yli Antillien saarien seuduille. kääntyvät siitä pitkin Amerikan

itärantaa ja kulkevat sitten Atlantin valtameren yli 4—5 päivän kuluessa. Samaa tietä kulkevat myös Amerikassa syntyneet pyörteet. Ylipäänsä kohtaavat pyörteet Europan lounaasta koilliseen olevassa suunnassa, mutta kulkevat ne eri vuoden aikoina jonkun verran eriäviä teitä ja samoinakin vuoden aikoina kulkee yksi yhtä, toinen toista tietä. Missä nämä tiet leikkaavat toisiansa, siinä kulkee tuollaisia pyörteitä runsaammin. Vuoden kuluessa saapuu Europaan noin 30 pyörrettä. Niiden kulkunopeus on noin 600—650 km vuorokaudessa. Tultuaan Itämeren seuduille liikkuvat ne hitaasti ja häviävät useimmat pyörteet vähitellen, mutta kulkevatpa ne joskus aina Vienan merelle saakka. Se ala, minkä tuollainen pyörre peittää, kasvaa kuta kauemmaksi pyörre matkallaan ehtii; Europassa voi pyörre peittää koko Europan alan. Sitä myöten kuin pyörre laajenee, käy ilman pyöriminen hitaammaksi, Europassa ei niiden voima ole lähimainkaan sama kuin Amerikan rannoilla.

Pyörteen etupuolella, itäisellä puolella, on lämpötila aina korkeampi, taivas pilvinen ja sataa. Pyörteen länsipuolella on lämpötila matala, taivas selkeä ja ilma kuiva.

Tarkastamme miten sää meillä muuttuu, kun tuollainen pyörre lähestyy paikkakuntaa, jolla havaintoja tehdään. Oletamme, että pyörteen keskus liikkuu suoraan paikkakuntaa kohti. Niinpian kuin pyörteen ulkoraja koskettaa paikkakuntaa, alkaa barometri laskeutua. Tuuli alkaa puhalttaa idän puolelta tai kaakosta. Kaakossa nousee tällöin hieno pilviharso, joka vähitellen leviää yli koko taivaan. Aurinko näkyy vielä tuon harson läpi, mutta on vaalea ja säteetön, sillä on »vetinen näkö». Tuuli kiihtyy yhä, barometri laskeutuu ja pilvipeite käy yhä paksummaksi. Alkaa sataa. Tuuli pysyy yhä kaakossa. Nyt lakkaa tuuli äkkiä, barometrin laskeutuminen samoin, syntyy tyven, taivas on yhä pilvinen, sataa. Pyörteen keskus on saapunut paikkakunnalle. Keskustan ohi kuljettua alkaa barometri taas nousta. Tuuli alkaa taas puhalttaa, mutta ei heikosti kuten pyörteen lähestyessä, vaan täydellä voimallaan. Samalla on tuuli kääntynyt vastakkaiselle ilmansuunnalle, se puhalttaa nyt luoteesta. Taivas on yhä vielä pilvinen ja sataa. Sitä myöten kun barometri nousee, laimenee tuuli, pil-

vet käyvät ohuemmiksi, lakkaa satamasta. Vihdoin selkiää taivas, tuuli tyyntyy ja sää on taas kaunis.

Hiukan toisenlainen on sään vaihtelu, jos pyörteen keskus kulkee paikkakunnan pohjois- tai eteläpuolitse lounaasta koilliseen. Kulkekoon keskus eteläpuolella. Silloinkin alkaa pyörteen vaikutus samoilla ilmiöillä kuin äsken, mutta tuuli kääntyy vähitellen pohjoisen kautta luoteeseen, mitään tyyntä aikaa ei ole, tuuli kiihtyy ensin, kunnes barometri on alhaisena, jolloin pyörteen keskus on lähinnä sen pohjoispuolella olevaa paikkakuntaa, ja sitten heikkonee tuuli taas. Jos keskus kulkee paikkakunnan pohjoispuolella, kääntyy tuuli etelän kautta lounaaseen tai länteen. Muut ilmiöt ovat samat kuin edellisessä tapauksessa. Pyörteiden vaikutus alkaa siis meillä ylipäänsä tuulilla idän puolelta ja lakkaa vaikutus tuulilla lännen puolelta. Siitäpä tuo sääennustussääntö: »ei lakkaa itä tuulemasta, ennenkuin sataa, eikä akka torumasta, ennenkuin itkee.»

Tietysti nämä ilmiöt eivät aina tapahdu vallan niin kuin nyt olemme kertoneet, sillä pyörre voi poiketa enemmän tai vähemmän niiden tavallisesta kulkusuunnasta. Sitäpaitsi syntyy usein pyörteen rajoilla pienempiä pyörteitä tai muuttaa pyörre äkkiä muotoansa, käy soikeammaksi y. m. s.

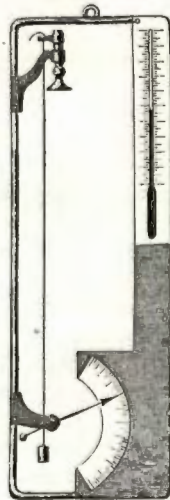
Vielä on meidän tarkastettava niitä ilmatieteellisiä ilmiöitä, joita ilmassa oleva vesihöyry aikaansaa. Ne ovat: pilvet, sumu, sade, lumi, rakeet, kaste ja kuura.

Ilmassa olevan vesihöyryn paljoutta, ilman kosteutta, ilmoitetaan kahdella eri tavalla. Sitä voi ilmoittaa niin, että lausutaan montako grammaa vettä höyrynä tietty kuutiomäärä, esim. kuutiometri, ilmaa sisältää. Saman seikan voimme myös lausua ilmoittamalla, suuriko ilmassa löytyvän vesihöyryn paine on millimetreinä. Tiedämme kumminkin, että se vesihöyrymäärä, joka kyllästyttää tietyn määrän ilmaa, on riippuva ilman lämpötilasta. Jos siis sanomme, että kuutiometri ilmaa sisältää 6,8 gr vettä höyrynä, niin ilman todellinen kosteus ei ole sillä ilmoitettu, ellemmme samalla ilmoita kuinka lämmintä tuo ilma on. Jos $+ 5^{\circ} \text{C}$. lämmin ilma sisältää mainitun höyrymäärän, on ilma höyryllä kyllästetty, mutta jos tämä höyrymäärä sisäl-

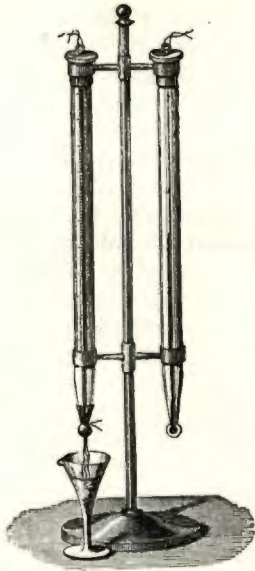
tyy esim. + 20° C. lämpimässä ilmassa, ei mainittu ilma ole puoleksikaan höyryllä kyllästetty, koska kyllästämään 1 m³ + 20° C. lämmintä ilmaa tarvitaan 17,1 gr vesihöyryä. Ilman kosteuden vaikutus on kumminkin riippuva siitä, kuinka lähellä kyllästystilaansa ilma on. On siis luonnollisempaa, että ilmaisemme ilman kosteutta vertaamalla ilmassa löytyvän vesihöyryn painoa tai sen painetta vesihöyryn painoon tai paineeseen siinä tapauksessa, että ilma olisi vesihöyryllä kyllästetty havaintotilaisuudessa vallitsevassa lämpötilassa. Tämä n. s. suhteellinen (relativinen) kosteus lausutaan tavallisesti prosenttina. Olkoon esim. ilman lämpötila + 10° C. Kuutiometriin sisältyköön 4,7 gr vesihöyryä. Kyllästämään yksi kuutiometri ilmaa + 10° C. lämpötilassa tarvitaan 9,4 gr vesihöyryä. Ilman suhteellinen kosteus on siis $4,7:9,4=0,5$ eli 50 %.

Ilman kosteuden määräämistä varten on olemassa koko joukko koneita, kosteudenmittaajia (hygrometrejä). Osaksi perustuvat ne eri aineiden ominaisuuteen imeä kosteutta ja sen mukaan muuttaa muotoaan, osaksi taas haihtumiseen. Kerromme parista tällaisesta koneesta.

Saussuren (1783) kosteudenmittaajassa on ihmisen hius, joka ensin on huolellisesti rasvasta puhdistettu, kiinnitetty yhdestä päästään kiinni ja toinen pää kierretty pienen telan ympäri, johon on myös kiinnitetty viisari. Pieni telaan kiinnitetty paino pitää hiusta jännitettynä. Ensin pannaan kone lasikellon alle, jossa ilma on vallan kuivaksi tehty siten, että kellon alle on pantu astia, joka sisältää jotakin ainetta, esim. kloorikalsiumia, joka imee ilmasta kaiken vesihöyryn. Paikka, johon viisari nyt pysähtyy, merkitään asteikolla 0. Kellon alla oleva astia vaihdetaan vesiasiaksi. Kun ilma on täynnä vesihöyryä, merkitään viisarin osoittama paikka 100. Väli jaetaan sataan yhtä suureen osaan, kosteusasteisiin. Syynä viisarin aseman muuttamiseen on se, että hius imee ilmasta kosteutta ja lyhenee. Nämä asteet eivät kum-



Kuva 115. Saussuren kosteudenmittaaja.



Kuva 116.
Augustin kosteudenmittaaja.

haihtuu vaatteesta ja kostea lämpömittari näyttää alempaa lämpötilaa kuin kuiva. Kuten vähemmän vesihöyryä ilmassa on sitä suurempi on lämpömittarien ero. Erityisestä taulusta löydetään sitten ilman suhteellinen kosteus. ○ ○ ○

Kun vesihöyryä sisältävä ilma jäähtyy sitä lämpötilaa, jossa ilmassa löytyvä höyry määrä kylästyttää ilman, n. s. *kastepistettä*, alempaan lämpötilaan, täytyy osan höyrystä tiivistyä. Tiivis-

minkaan vastaa suhteellista kosteutta prosenttina, ellei peruspisteiden väliä jaeta vertaamalla koneisiin, joilla saadaan mainittu prosentti määrättyksi. Samaan seikkaan, aineiden venymiseen ja lyhenemiseen, perustuu koko joukko muitakin kosteuden mittajia tai oikeammin kosteuden osoittajia, sillä mitään luvuilla lausuttavia tuloksia niillä ei saada. Kuorittu männynoksa, paksummasta päästään kiinnitettynä seinään, käyristyy enemmän tai vähemmän kosteuden mukaan, »munkin», joka sateen lähestyessä vetää kaapunsa päänsä yli ja kuivalla paljastaa päänsä, panee lyhenevä ja pitenevä suolikieli liikkeelle y. m. s.

Augustin (1829) kosteuden mittajassa on kaksi lämpömittaria. Toisen pallo on ympäröity ohuella vaatteella, joka vesiastiasta imee vettä kuten lampunsydän öljyä. Vesi



Kuva 117. Sadepilviä.

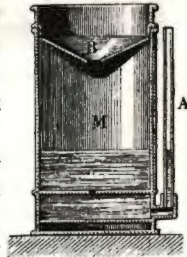


Kuva 118. Höyhenpilviä.

tymisen ensimmäinen seuraus on, että ilmakehään syntyy *sumua* ja *pilviä*. Sumu ja pilvet ovat sama ilmiö, sumu on ainoastaan maahan saakka ulottuvat pilvet. Sekä sumu että pilvet ovat pienen pieniä vesipisaroita, joista ainakin osa on onttoja kuplia. Pisaroiden läpimitta on noin pari sadattaosaa mm. Pilvien korkeus maanpinnasta lukien vaihtelee hyvinkin laajojen rajojen välillä. Alhaisimmat ovat yli koko taivaan ulottuvat sadepilvet. Niiden korkeus vaihtelee noin 200 m ja 3,000 m välillä. Korkeimmat pilvet ovat höyhenpilvet, valkeat, ohuet tuulen suuntaan ulottuvat pilvet. Sellaiset pilvet nousevat aina 13 tuh. m korkeuteen.

Kun tasapaino pilvessä syystä tai toisesta tulee häiriytyksi, yhtyvät nuo pienet pisarat ja putoavat sateena. On huomattu, että sateen syntyessä löytyy aina kaksi pilvikerrosta, toinen toisen yläpuolella. Sade syntyy aina alemmassa kerroksessa, luultavasti siitä syystä, että ylempi kerros tavalla tai toisella vaikuttaa alemmassa jatkuvan tiivistyksen, kunnes pisarat ovat kyllin raskaat pudotakseen alas.

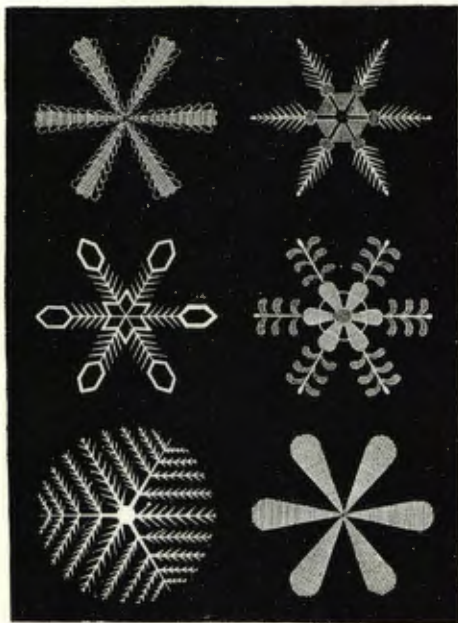
Sademäärä mitataan siten, että avonaiselle paikalle asetetaan astia, johon sadevesi keräytyy. Vesi kaadetaan sitten sylinteriin, jonka läpimitta on esim. $\frac{1}{100}$ astian läpimittasta. Siinä mitataan korkeus millimetreinä ja sadasosa siitä on sademäärä. Eri paikoilla



Kuva 119.
Sateenmittaaja.

maata on sademäärä hyvinkin eri suuri. On seutuja, joissa sataa joka päivä, toisia joissa ei sada koskaan. Suomessa vaihtelee vuotuinen sademäärä 300—800 mm. Tämä määrä on verrattain pieni. Intiassa, Bramaputran laaksossa, on vuotuinen sademäärä 14,8 m.

Kun vesipisarat pudotessaan jäätyvät, tulevat ne maahan *rakeina*. Pudotessaan kasvavat rakeet, sillä niiden pinnalle jäätyy yhä uutta vesihöyryä, ja usein liittyvät ne pudotessaan yhteen. Siten voimme käsittää, että joskus on nähty putoavan rakeita, jotka painavat 100 ja 150 gr; kerrotaanpa jäämöhkäleistä, mylynkiven suuruisistakin, jotka ovat pudonneet ilmasta.



Kuva 120. Lumihiukkasia.

Kun vesihöyry tiivistyy äkkiä lämpötilassa alle 0° C., muodostuu *lunta*. Lumihiukkaset ovat kiteisiä, osat ovat liittyneet toisiinsa muodostaen aina 60° kulmia. Kaik-

ki tunnemme nuo kauniit kuviot, joita nähdään lumihiukkasissa. Lumikiteitä on huomattu yli sata eri muotoa. .

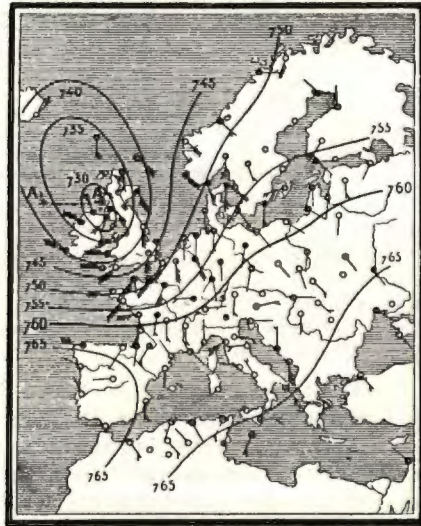
Jos kylmällä vedellä täytetty pullo tuodaan lämpimään huoneeseen, ilmestyy sen pinnalle kerros pieniä pisaroita, joka tekee pinnan sameaksi. Samoin maanpinnalla ja ulkona olevien esineiden pinnalla ilmestyy, kun ne kirkkaana pilvettömänä yönä lämpösäteilyn vuoksi jäähtyvät kastepis-

teeseen, *kastetta* tai, jos maanpinnan lämpötila on alle 0°C ., *kuuraa*. Kaste ei siis ollenkaan kuten sanotaan »lankea» ilmasta niinkuin sade, vaan tiivistyy vesihöyry välittömästi esineiden pinnalle. Pilvisenä yönä ei kastetta synny, syystä että pilvet estävät lämpösäteilyä maasta eikä maa jäähdy aina ilmassa olevan vesihöyryyn kastepisteeseen.

Kaikkien näiden ilmiöiden tutkimista varten on, kuten jo mainitsimme, olemassa ilmatieteellisiä laitoksia. Näistä lähetetään tavallisesti sähkölennättimellä tieto määrättyllä kellonlyönnillä tehdyistä havainnoista erityiselle keskusasemalle, jossa ne kaikki kootaan yhteen ja merkitään vielä erityiselle kartalle, *sääkartalle* (synoptiselle kartalle). Tällaiselle kartalle merkitään isobarit, tuulen suunta havaintopaikalla (nuolella), tuulen voima (nuolen varren yli vedettyjen viivojen luvulla), taivaankannen pilvisuus, lämpötila ja erityiset ilmiöt, kuten sade, lumi, sumu j. n. e.

Näin laajemmalta alalta kerättyjen ilmatietojen mukaan tekee keskusasema sitten sääennustuksen lähintä tulevaisuutta varten. Tästä lähetetään tieto sähkölennättimellä taas eri suunnille, tärkeimpiin satamiin ja muille maan ilmatieteellisille asemille, missä ne julaistetaan sanomalehdissä sekä muutenkin saatetaan yleisön tietoon. Erittäin tärkeät ovat täten saadut tiedot uhkaavista myrskyistä, myrskyvaroituksat.

Olisi vielä puhuttava valo- ja sähkö-ilmiöistä maan ilmakehässä, mutta niistä puhumme toisessa paikassa.



Kuva 121. Sääkartta.

XIV.

Valon suoraviivainen eteneminen. Varjot. Valon voimakkuus. Valon mittaajat. Normaliliekit. Valolähteiden kirkkaus. Valon nopeus. Valon heijastuminen. Valon taittuminen. Valon luonne. Valon taipuminen. Ohuvien levyjen värit. Valon kulku hilojen läpi. Valon polarisationi.

»Tulkoon valo» ovat ne sanat, jotka kohottavat luonnon suuren esiripun. Joka ilta, kun aurinko laskee länteen taivaanrannan taakse, laskeutuu esirippu, kaikki toiminta luonossa lakkaa muutamiksi tunneiksi, kaikki vaipuu lepoon, kunnes taas ensimmäiset valonsäteet idän taivalla herättävät koko luonnon uuteen toimintaan. Miksi pidämme sokeaa niin surkuteltavana olentona, miksi kammottaa meitä enin mahdollisuus menettää näkömme? Lämmittäähän aurinko sokeaakin, kuulee hän äänen ja tuntee kukkien tuoksun yhtä hyvin, ehkä paremminkin kuin näkevä. Mutta sokealta puuttuu näköelin, ihmisen hienoin, enin kehittynyt aisti. Hän ei voi kaikilla jäljellä olevilla neljällä aistillaan käsittää neljättäkään osaa luonnonilmiöistä. Ne ilmiöt, jotka häneltä jäävät käsittämättä, ovat juuri ne ilmiöt, jotka ehkä enin herättävät huomiotamme. Ne moninaiset usein loistavat värit, joilla luonto varustaa esineet, ne moninaiset muodot, jotka luonto antaa esineilleen, valon ja varjojen yhdenmittainen vaihtelu, kuun hopeavalo ja tähtien tuike, kaiken tämän käsittää ainoastaan se, jolla on näköaisti.

Valolähteestä leviää valo suoraviivaisesti kaikkiin suuntiin. Jos pimeään laatikon seinään teemme pienen aukon, näemme aukon vastaisella seinällä aukon edessä olevien esineiden kuvat, mutta ylösalaisin käännettyinä. Valonsäteet kulkevat aukon läpi suoraan, ylhäältä tuleva säde kohtaa seinää alhaalla ja päinvastoin. Yksi aukko seinässä antaa yhden kuvan vastaisella seinällä, kaksi aukkoa kaksi, tuhat

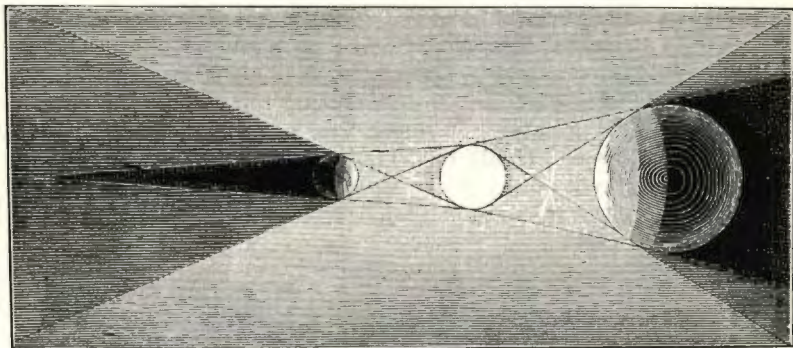
aukkoa tuhat kuvaa. Kuvat lankeavat silloin osaksi päällekkäin. Jos seinässä oleva aukko on suuri, ei vastaisella seinällä synny mitään kuvaa, vaan koko seinä on valaistu, sillä aukon eri osien aikaansaamat äärettömän lukuisat kuvat peittävät toisensa. Auringon valo pilvettömänä päivänä jonkun esineen pinnalla on siten äärettömän monen auringon kuvan yhtymisen aikaansaama.

Valon suoraviivaista etenemistä todistavat myös valolle läpikuultamattomien esineiden taakse syntyvät varjot. Varjon muodon ja ulottuvaisuuden määrittäminen on värsin



Kuva 122. Valon suoraviivainen leviäminen.

yksinkertainen asia. Jos valolähde on vain loistava piste ilman ulottuvaisuutta, niin ajatellaan valolähteestä vedetyiksi viivoja, jotka sivuavat läpikuultamatonta kappaletta. Näiden viivojen välinen tila kappaleen takana on varjo. Kun valolähteellä on ulottuvaisuutta, niin sen eri pisteistä lähtevät säteet aikaansaavat eri varjot. Saadaksemme sen tilan, johon ei mistään valolähteen pisteestä tunkeudu valoa, piirrämmekö valolähteen äärimäisistä pisteistä sivuujat läpikuultamattomalle kappaleelle siten, että sivuujat eivät



Kuva 123. Sydänvarjo ja puolivarjo.

leikkaa toisiansa valolähteen ja kappaleen välillä. Näiden viivojen välinen tila on n. s. sydänvarjo. Sydänvarjon ulkopuolella olevaan tilaan tunkeutuu valoa osasta loistavaa kappaletta. Osaksi valaistun tilan, puolivarjon, äärimäisen rajan löydämme vetämällä sivuujia kuten äskenkin, mutta niin, että sivuujat leikkaavat toisiansa valolähteen ja kappaleen välillä. Puolivarjossa kasvaa valaistus ulkorajaa kohti.

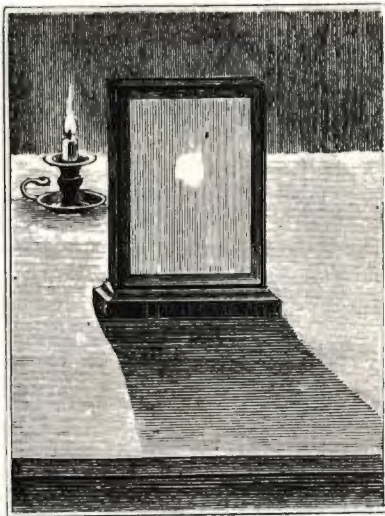
Sellaisten taivaankappaleiden taakse, jotka eivät loista omalla valolla, syntyy, kun valo niitä kohtaa, varjo. Kun toinen taivaankappale, jolla ei ole omaa valoa, joutuu tähän varjoon, syntyy se tähtitieteellinen ilmiö, joka käy pimeämisen nimellä. Koska aurinko on paljon suurempi kuin sitä kiertävät kiertotähdet, on kiertotähden ja niiden kuiten sydänvarjo keilanmuotoinen, jonka keilan kärki on käännetty pois päin auringosta.

Kuta kauempana valaistu pinta on valolähteestä sitä heikompi on valaistus pintayksiköllä. Asetetaan esim. 1 m valolähteestä 1 dm² kokoinen läpikuultamaton levy ja 2 m valolähteestä varjostin. Levyn varjon varjostimella huomataan olevan 4 dm². Jos nyt levy otetaan pois, lankeaa se valo, mikä kohtaisi levyä, 4 kertaa suuremmalla pinnalla ja on siis kullekin neliödesimetrille lankeava valo vain 1/4 siitä valosta, joka kohtasi levyä. Valon voimakkuus vähenee siis kuten välimatka valolähteestä lukien itsellään kerrottuna kasvaa. Valo, lämpö ja ääni noudattavat tässä suhteessa

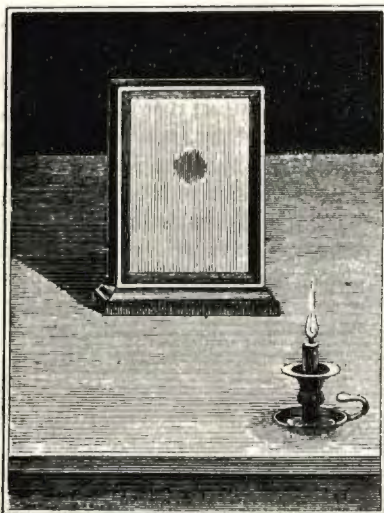
samaa lakia. Havainnollisesti voi säännön todistaa äskeisellä tavalla valoon nähden.

Jos pinta, jota valo kohtaa, on kaltevassa asemassa valonsäteisiin nähden, niin valaistus joka pintayksikköä kohti, on pienempi kuin pinnan ollessa kohtisuorassa asemassa. Käytämme äskeistä 1 dm² kokoista levyämme ja asetamme sen kohtisuoraksi yhdensuuntaisia valonsäteitä vastaan. Sen taakse asetamme varjostimen siten, että varjostin muodostaa levyn kanssa 60° kulman. Varjo varjostimella on kyllä 1 dm leveä, mutta 2 dm pitkä, siis kooltaan 2 dm². Valaistus pintayksikölle on siis vaan 1/2 siitä, mikä se olisi, jos varjostin asetettaisiin kohtisuoraksi yhdensuuntaisia säteitä vastaan. Pinnan kanssa yhdensuuntaiset valonsäteet eivät valaise pintaa ollenkaan.

Siihen seikkaan, että valolähteen aikaansaama valaistus jollakin pinnalla vähenee samassa suhteessa kuin pinnan väli valolähteestä itsellään kerrottuna kasvaa, perustuu eri valolähteiden *valaisuvoiman* vertaaminen toisiinsa. Koneita, joita tähän tarkoitukseen käytetään, nimitetään *valonmittaajiksi* (fotometreiksi). Yksinkertainen mainittuun lakiin perustuva sellainen kone saadaan seuraavalla tavalla. Valkealle paperilevyille tipautetaan pisara rasvaa. Rasva tekee paperin, kuten tiedämme, läpikuultavammaksi kuin paperi muutoin on. Jos paperia rasvapilkkuineen pidämme valolähteen ja silmän välillä, näyttää rasvapilkku kirkkaalta muuhun paperiin verrattuna, jos taas katsotaan paperia valolähteen puolelta, näyttää rasvapilkku



Kuva 124. Rasvapilkku katsottuna heikkomman valolähteen puolelta,

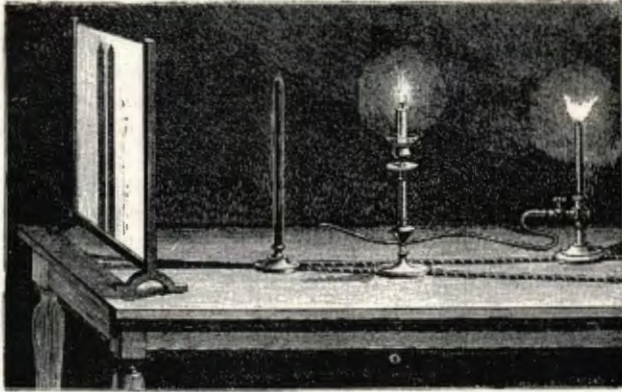


Kuva 125. Rasvapilkku katsottuna voimakkaamman valolähteen puolelta.

tummemmalta. Asetetaan nyt tällainen paperilevy niiden valolähteiden väliin, joiden valaisuvoimaa halutaan toisiinsa verrata. Siirtämällä levyä suuntaan tai toiseen löydetään paikka, jossa rasvapilkku häviää näkymästä, paperi näyttää tasaisesti valkealta katsottakoonpa sitä puolelta tai toiselta. Nyt on valaistus molemmin puolin yhtä voimakas, molempiin suuntiin kulkee rasvapilkun läpi yhtä paljon valoa. Mitataan nyt välimatkat valolähteistä levyyn. Valolähteiden valaisuvoimat

suhtautuvat kuten välimatkat itsellään kerrottuihin. Olkoon yhdellä puolella levyä steariini-kynttilä, toisella lampu. Matka levystä kynttilään 1 dm ja lampuun 4 dm. Lampun valaisuvoima on silloin 16 kertaa kynttilän. Valaisuvoimien vertaaminen toisiinsa tällä tavalla edellyttää kumpikin, että valolähteiden valolla on jotakuinkin sama väri. Tämä valonmittaaja on Bunsenin valonmittaaja.

Aivan yksinkertaisilla apuneuvoilla voimme rakentaa toisenkin valonmittaajan, Rutherfordin valonmittaajan. Valkean varjostimen eteen asetetaan ohut sauva, vaikkapa lyijykynä, pystysuoraan asemaan. Molemmat verrattavat valolähteet asetetaan samalle puolelle varjostinta siten, että kumpikin valolähde aikaansa varjostimella sauvan varjon. Valolähteiden asemaa muutetaan kunnes molemmat vierekkäin olevat varjot näyttävät yhtä tummilta. Silloin valaisee yksi valolähde toisen varjoa yhtä voimakkaasti kuin tämä toinen valolähde valaisee ensimmäisen varjoa. Mitataan matkat ensimmäisen varjosta toiseen valolähteeseen ja toisen var-



Kuva 126. Rutherfordin valonmittaaja.

josta ensimmäiseen ja lasketaan valaisuvoimat edellä mainitun lain mukaan.

On tärkeitä valolähteiden valaisuvoiman määrittämistä varten suostua käyttämään jotakin määrättyä yksikköä vertausvalolähteenä. Sellaisia yksiköitä löytyy useampiakin ja eri maissa käytetään vieläkin eri yksiköitä. Tällaisia yksiköitä nimitetään normaliliekeiksi. Saksanmaalla käytetty normalil liekki on puhtaasti parafinista tehty kynttilä, läpimitta 2 cm ja liekin korkeus 5 cm. Englannissa käytetään valaksenrasvasta tehtyä kynttilää, jonka liekki on 4,45 cm korkea, ja Ranskassa erityistä lamppua, Carcellamppua, joka kuluttaa 42 gr öljyä tunnissa. Kahdella ensin mainitulla on melkein sama valaisuvoima, kolmas on 11 kertaa voimakkaampi. Nykyjään käytetään kyllä yleisesti normaliliekkinä Hefner-Alteneckin lamppua, pientä lamppua, jonka sydämillä on 8 mm läpileikkaus ja liekki 4 cm korkea. Polttoaineena käytetään amyliacetatia. Yksi Hefnerkynttilä on 0,86 parafinikynttilää.

Jonkun valolähteen aikaasaama valaistus jollakin pinnalla ilmoitetaan siten, että lausutaan montako normalikynttilää tulisi asettaa 1 m välimatkalle pinnasta saadaksemme saman valaistuksen säteiden kohdatessa pintaa kohtisuorasti. Yhden normalikynttilän asetettuna 1 m välimatkalle pin-

nasta aikaansaamaa valaistusta sanotaan *metrikynttiläksi*. Lukemiseen ja kirjoittamiseen tarpeellinen valaistus on noin 10 metrikynttilää (saksalaista tai englantilaista). Aurin-gon antama valaistus on sen ollessa korkeimmillaan taivaalla noin 60 tuhatta metrikynttilää, täyden kuun noin $\frac{1}{4}$ metrikynttilää.

Paitsi valolähteen valaisuvoimaa on huomattava valolähteen *k i r k k a u s*. Sitä ilmaisee kunkin pintayksikön, esim. 1 mm² säteilemä valomäärä lausuttuna normalikynttilöinä. Kuta suurempi valolähteen valaisuvoima on ja kuta pienempi sen pinta, sitä suurempi on siis sen kirkkaus.

Mainittakoon seuraavat numerot eri valolajien kirkkauteen nähden:

Aurinko korkeimmillaan	900—1,000	n. k. mm ² kohden.
» taivaanrannalla	3	» » »
Sähkökaarivalo	15 —150	» » »
Metallihehkulamppu ..	0,8	» » »
Hiilihehkulamppu	0,3 —0,5	» » »
Auersukka (kaasuvalo)	0,03 —0,04	» » »
Öljylamppu	0,006—0,012	» » »
Kynttilä	0,005—0,006	» » »

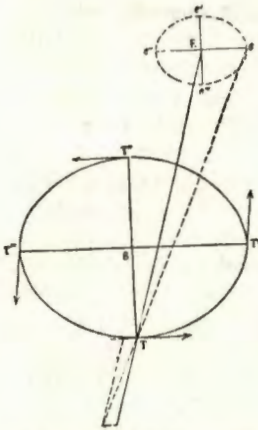
Kirkas valo häikäisee silmää, josta silmä voi pilaantuakin. Korkein sallittu kirkkaus on huomattu olevan noin 0,75 n. k. mm², mutta on suotavaa, ettei silmää jatkuvasti kohtaa suurempi valon kirkkaus kuin 0,25 n. k. mm².

Valo etenee, kuten olemme nähneet, suoraviivaisesti valolähteestä kaikkiin suuntiin. Mutta eteneekö valo silmänräpäyksessä pisimmänkin matkan, vai tarvitseeko mittattavan ajan kulkeakseen tietyn matkan? Tähän kysymykseen koetti jo *Galilei* löytää vastausta. Hän koetti määrätä valon nopeutta saman yksinkertaisen periaatteen nojalla, jolla äänen nopeuden voi määrätä. Mitatun välimatkan molempiin päihin asetti hän lyhydellä varustetun henkilön. Toinen näistä henkilöistä peitti äkkiä lyhtynsä ja merkitsi ajan,

jolloin se tapahtui. --un toinen henkilö näki ensimmäisen lyhdyn sammuvan, peitti hänkin lyhtynsä ja vihdoin merkitsi ensimmäisen ajan, jolloin hän näki toisen lyhdyn sammuvan. Valo on kulkenut mitatun matkan kahteen kertaan näin määrätyn ajan kuluessa. Tulos oli kumminkin se, että aika oli mittamattoman lyhyt, valo kulki matkan niin lyhyessä ajassa, ettei sitä voitu näin yksinkertaisilla keinoilla määrätäkään. Oletettiin näiden onnistumattomien kokeiden nojalla, että valon nopeus oli äärettömän suuri.

Tässäkin tuli sattuma avuksi. Nuori tanskalainen tähtien tutkija *Olaus Römer* († 1710) oleskeli Parisissa tähtitieteellisiä tutkimuksia harjoittaen. Vuonna 1676 teki hän havaintoja, joiden esineenä oli kiertotähden Jupiterin kuiden pimeneminen. Hänen aikanaan tunnettiin 4 Jupiterin kuuta, joista Jupiteria lähin kiertää sen ympäri $42\frac{1}{2}$ tunnissa. Jokaisella kierroksellaan pimenee kuu. Römer huomasi, että kun maa ja Jupiter olivat samalla puolella aurinkoa, maa auringon ja Jupiterin välillä, pimeneminen tapahtui aina 42 tun. 28 min. 36 sek. kuluttua, mutta sitä myöten kuin maan ja Jupiterin välimatka maan kiertäessä aurinkoa kasvoi, tapahtui pimeneminen yhä myöhemmin laskuun nähden. Kun maa ja Jupiter olivat eri puolilla aurinkoa, on pimeneminen myöhästynyt 986 sek. Jupiterin ja maan väli on silloin maan radan halkaisijaa pitempi kuin ensi tapauksessa. Pimeneminen tapahtuu ajallaan, kun maa ja Jupiter taas ovat samalla puolen aurinkoa. Syynä tähän ilmiöön ei voi olla muu kuin se, että valo viipyy kulkiessaan maan radan halkaisijaa 986 sek. Maan radan halkaisija on 297 milj. km. Valon etenemisnopeus tyhjässä avaruudessa on siis $300,000\frac{\text{km}}{\text{sek.}}$. Valo kulkisi siis, jos se voisi kulkea käyrää rataa, yhdessä sekunnissa $7\frac{1}{2}$ kertaa maan ympäri. Tästä ymmärrämme Galilein kokeiden epäonnistumisen.

Toisen tähtitieteellisen ilmiön avulla määräsi valon nopeuden englantilainen *Bradley* (†1762)). Hän kulki kerran venheessä Thamesjoella ja huomasi, että viiri venheen mastossa näytti näennäisesti eri suuntaa sen mukaan miten venhe kulloinkin kääntyi, vaikka tuuli puhalsi koko ajan samalta suunnalta. Bradley sai täten ajatuksen selittää erästä outoa ilmiötä. Hän oli huomannut, että kiertotähdet



Kuva 127. Aberrationi. S maan rata. TE todellinen suunta maasta kiintotähteen. Te näennäinen suunta maasta kiintotähteen.

vuoden kuluessa kiertävät taivaslaella pienen radan keskimääräisen asemansa ympäri. Bradley'n ajatus oli nyt seuraava: maapallo on venhe, tähden valo on tuuli. Kiintotähdet ovat meistä niin kaukana, että eri pisteistä maan radalla tähden vedetyt viivat voi pitää yhdensuuntaisina. Jos maa ei liikkuisi tai jos valon nopeus olisi äärettömän suuri verrattuna maan nopeuteen, niin tähti pysyisi aina samalla paikalla taivaslaella. Näin ei kuitenkaan ole laita. Maan nopeus radassaan on kumminkin runsaasti kymmentuhannes osa valon nopeudesta. Ajatellaan tähden valon kohtaavan maan radan tasoa kohtisuorasti. Tähden valo näyttää silloin tulevan pisteestä,

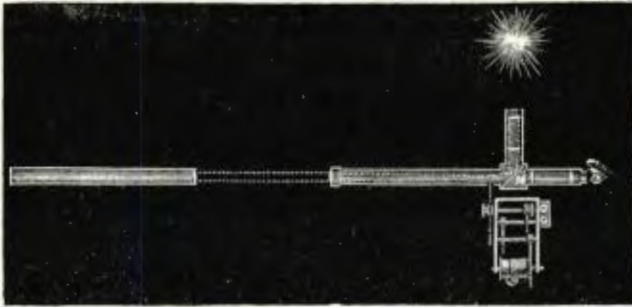
joka on tähden todellisesta paikasta hiukan siihen suuntaan, mihin maa liikkuu, valla samalla tavalla kuin tuuli, joka puhaltaa kohtisuorasti venheen kulkusuuntaa vastaan, tuntuu tulevan viistosti edestäpäin. Tähden näennäisen siirtymisen (aberrationin) voi mitata tähden keskimääräiseen asemaan verrattuna, samoin tunnetaan maan nopeus ja näistä voi valon nopeuden laskea. Tämäkin ilmiö antaa saman nopeuden kuin Römerin havainnot.

Kokeellisesti määräsi valon nopeuden vasta v. 1849 ranskalainen *Fizeau*. Matka ei ollut tähtien välinen matka, se oli vaan Parisin kaupungin läpimitta. Vuotta myöhemmin tuli *Foucault* toimeen oman huoneensa seinien sisällä määrätessään valon nopeuden.

Kerromme lyhyesti Fizeaun kokeen. Hän antoi valonsäteen kulkea hammasrattaan kahden hampaan loman läpi. Valo sattui kaukana olevaan peiliin kohtisuorasti ja heijastui siitä takaisin samaa tietä kulkiensa taas hampaiden loman läpi. Katsoja, joka tähtää loman läpi, näkee, jos ratas ei pyöri, yhtämittaa peilistä heijastunutta valoa. Pannaan ratas pyörimään. Kun se pyörii kyllin nopeasti, ehtii

siinä ajassa, jossa hampaiden loman jäpi kulkenut valo kulkee peiliin ja taas takaisin rattaaseen, ratas pyöriä niin paljon, että seuraava hammas on tullut loman kohdalle. Valo ei pääsekään läpi ja katsoja ei näe valoa, vaikka jokaisesta lomasta sen sattuessa valonsäteen kohdalle valo kulkee peiliin ja siitä takaisin. On helppo laskea, kun pyörimisnopeus ja hampaiden luku on tunnettu, pitkäkö aika kuluu, ennenkuin hammas on siirtynyt loman kohdalle. Siinä ajassa on valo kulkenut rattaan ja peilin välin edestakaisin. Tästä saadaan etenemisnopeus.

Meidän olisi ehkä nyt tehtävä selkoa siitä mitä valo on. Lämpö-opissa olemme jo lyhyesti maininneet, että valo on



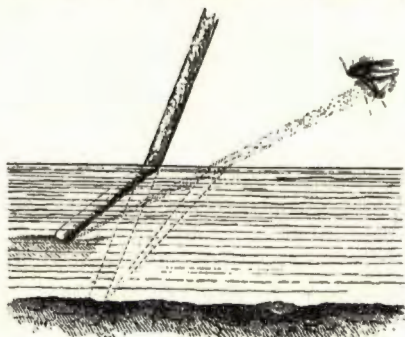
Kuva 128. Fizeaun koe valon nopeuden määrittämistä varten.

se osa kappaleen säteilyä, joka vaikuttaa näköhermoomme. Mutta ennenkuin ryhdymme tämän kysymyksen selvittämiseen, on syytä tutustua vielä muutamiin valoilmiöihin, etenkin kun näiden ilmiöiden selittäminen on juuri antanut aiheita eri arveluihin valon luonteesta, johon nähden menneiden aikojen suurimmat nerot ovat olleet eri mieltä.

Ainoat ilmiöt valo-opin alalla, jotka aina kauas uudelle ajalle tunnettiin, olivat valon heijastuminen ja valon taittuminen. Nämä kaksi ilmiötä ovatkin juuri ne valoilmiöt, jotka me jokapäiväisessä elämässämme kaikkialla huomaamme. Jokainen pinta heijastaa ainakin osan valosta, joka sitä kohtaa. Muu osa valosta kulkee osaksi kappaleen läpi, jos kappale on valolle läpikuultava, osaksi imeytyy kappaleeseen.

Miten suuren osan pintaa kohtaavasta valosta pinta heijastaa riippuu sekä pinnan laadusta (onko se sileä vai karkea) sekä sen väristä (vaalea vai tumma) sekä siitä vielä, kuinka viistoon valo kohtaa pintaa. Sileä kiiltävä pinta heijastaa valoa parhaiten, mutta huomataan tällaisten pintojen välillä suuri ero heijastuskyvyssä. Aineet, joiden läpi valo kulkee, heijastavat tietysti vähemmän kuin läpikuultamattomat aineet, joskin pinta on sileä kiiltävä pinta. Niinpä tuhannesta valonsäteestä, jotka kohtisuorasti sattuvat veden, lasin ja elohopean pintaan, heijastaa vesi ainoastaan 18, lasi 25, mutta elohopea kokonaista 666. Kuta viistompaan valo sattuu pintaan, sitä suurempi osa siitä heijastuu. Niinpä veden pinta, jos säteet muodostavat pinnan kohtisuoran kanssa 40° kulman, heijastaa 22 sädettä tuhannesta, kun kulma on 60° heijastaa se 65 sädettä, kulman ollessa 80° 333 sädettä ja vihdoin, kun kulma on $89\frac{1}{2}^\circ$, 721 sädettä, siis enemmän kuin elohopea edellisessä tapauksessa. Mutta olipa tulokulma kuinka lähellä 90° tahansa, niin ei mikään pinta heijasta kaikkea valoa. Ainoastaan erityisessä tapauksessa, kun valo kohtaa kahden läpikuultavan aineen rajapintaa, voi valo heijastua, kuten myöhemmin saamme nähdä, täydelleenkin, kaikki valo.

Laki, jonka mukaan valo heijastuu pinnasta, on helppo löytää, eikä se olekaan meille tuntematon. Saman lain olemme löytäneet jo ääni-opissa ja lämpö-opissa. Jos valonsäteen annamme kohdata tasaista esim. tavallisen kuvastimen pintaa, ja mittaamme säteen ja pintaa vastaan vedetyn kohtisuoran välisen kulman, tulokulman, sekä saman kohtisuoran ja heijastuneen säteen välisen kulman, heijastuskulman, niin huomaamme niiden olevan yhtä suuret.



Kuva 1 . Valon taittuminen.

Tuota toista mainitsemaamme ilmiötä, valon taittumista, emme kyllä ole tilaisuudessa yhä huomaa-

Newton tarjoaa meille hyvän esimerkin siitä, miten tutkijan aikaisemmat tutkimukset voivat vaikuttaa hänen otaksuksiinsa uusilla tutkimuksen aloilla ja miten me olemme taipuisat sovittamaan aistiemme avulla aineellisesta luonnosta saamamme kokemukset sellaisillekin aloille, joilla aistimme eivät enää voi meitä välittömästi johtaa.

Ennenkuin Newton ryhtyi valo-opillisiin tutkimuksiinsa, oli hän tutkinut kimmoavien kappaleiden työntä. Hän oli löytänyt lain, että kimmoava kappale ponnahtaa pinnasta takaisin siten, että tulo- ja heijastussuunta muodostavat pinta vastaan vedetyn kohtisuoran kanssa yhtä suuria kulmia. Valo heijastuu pinnasta saman lain mukaan. Olihan siis luonnollista, että Newton ryhtyessään selittämään valon luonnetta tuli ajatelleeksi kimmoavaista ainetta, joka loistavasta kappaleesta suoraviivaisesti leviää joka suuntaan. Vuonna 1672 julkaisemassaan valo-opissa esittää hän paitsi tekemiensä valo-opillisten tutkimuksien tuloksia myös tämän valon luonnetta koskevan teoriansa. Tämän mukaan on siis valo kimmoavia äärettömän pieniä hiukkasia, joita loistava kappale erittää.

Myös valon taittuminen antoi Newtonille aihetta tämän *eritys-* eli *emissioniteoriansa* esittämiseen ja tässäkin vaikuttivat hänen aikaisemmat keksintönsä hänen mielipiteeseensä. Hänen suurin keksintönsä oli yleisen vetovoiman keksiminen ja hänen eritysteoriassaan löydämme jälkiä tästäkin. Valon taittumisen selitti Newton siten, että painollisen aineen hiukkaset vetävät noita valoaineen hiukkasia sitä suuremmalla voimalla kuta tiheämpää aine on, johon valo tunkeutuu. Kulkeeseen valo ilmasta veteen. Valo taittuu silloin kohtisuoraan päin, taitekulma on pienempi kuin tulokulma. Tämän selitti Newton siten, että veden hiukkaset vetävät noita pinnalle saapuvia valo-ainehiukkasia alaspäin, veteen päin, josta seuraus on, että ne, jos ne kohtaavat rajapintaa viistossa suunnassa, muuttavat kulkusuuntansa lähemmäksi luotiviivaa, valo taittuu luotiviivaan päin. Kun valo kulkee vedestä ilmaan, taittuu se kohtisuorasta poispäin, taitekulma on suurempi kuin tulokulma. Newtonin selityksen mukaan on tämäkin ilmiö luonnollinen. Niinkauan kuin valo-ainehiukkaset ovat vedessä, vetävät vesihiukkaset niitä yhtä paljon kaikkiin suuntiin, valo kulkee suoraviivaisesti, mutta kun hiukkaset tulevat

veden pinnalle, vetävät vesihiukkaset niitä vain yhdeltä puolelta, alapuolelta, josta on seurauksena, että ne muuttavat kulkuunsa lähemmäksi vedenpintaa; valo taittuu kohti-suorasta pois päin.

Newtonin täytyi olettaa, että valon nopeus tiheämmässä aineessa on suurempi kuin harvemmassa. Kun nimittäin valon kulkiessa harvemmasta aineesta tiheämpään, jälkimäisen aineen hiukkaset vetävät valo-ainehiukkasia määrättyyn suuntaan, lisääntyy niiden nopeus ja päinvastoin valon kulkiessa harvempaan aineeseen pidättävät tuon tiheämmän aineen hiukkaset voimakkaammin noita valo-ainehiukkasia kuin harvemman aineen hiukkaset vetävät niitä; valon nopeus vähenee. Newton voi olettaa asian näin olevan, sillä silloin ei tunnettu valon etenemisnopeutta eri aineissa.

Valon värinkin, jolla alalla Newton myös teki perustavia kokeita ja havaintoja, kuten myöhemmin saamme nähdä, selitti hän siten, että löytyy erikokoisia valo-ainehiukkasia, kutakin väriä vastaa määrätty valo-ainehiukkasten koko.

Jokaisen fysikalisen teorian tulee olla sellainen, että se luonnollisella tavalla selittää uudetkin ilmiöt, jotka huomataan sillä tieteen alalla, jota selittämään teoria on laadittu. Kuta useampien uusien ilmiöiden kanssa teoria on sopusoinnussa, sitä todenmukaisempi on teoria. Jos vielä teorian avulla voimme edeltäkäsikin ainoastaan tieteisperäistä johtamista käytämällä niin sanoaksemme ennustaa ilmiöitä, joita todellisuudessa ei ole huomattukaan vielä, ja jos sitten kokeet ja kokemus näyttävät, että nämäkin ilmiöt todellakin ovat olemassa, niin teoria jo lähestyy varmuutta.

Täyttikö Newtonin eritysteoria nämä vaatimukset? Ei, täytyy meidän vastata. Kuta useampia uusia ilmiöitä valopin alalla keksittiin, sitä enemmän uusia ominaisuuksia täytyi Newtonin antaa noille valo-ainehiukkasilleen voidakseen selittää niiden avulla nekin ilmiöt. Siten kävi teoria yhä monimutkaisemmaksi ja samalla väheni sen todenmukaisuus.

Ei kulunutkaan monta vuotta ennenkuin uusi valoteoria ilmestyi. Vuonna 1678 esitti alankomaalainen tähtitieteen tutkija *Christian Huygens* (†1695) *undulationi-* eli *värähdysteoriansa*. Kuten ääni syntyy aaltoliikkeestä jossakin paino-ollessa aineessa, niin syntyy valokin aaltoliikkeestä eetterissä.

Jo se yksinkertainen seikka, että kaksi valonsädettä voi toisiansa mitenkään häiritsemättä leikata toisiansa, oli Huygen-
sin mielestä riittävä kumoamaan eritysteorian. Jos valonsäde on
virta valo-ainehiukkasia, niin täytyy kahden säteen sattuessa
yhteen hiukkasten kulkusuunnan muuttua tavalla tai toisella.

Kaikki tähän aikaan tunnetut valo-ilmiot selitti Huygens
värähdysteoriaansa avulla. Ainoastaan valon eri väri ja muu-
tammat valo-ilmiot kiteisissä kappaleissa täytyi hänen jättää
selittämättä. Väristä sanoo hän v. 1690 painetun teoksensa
esipuheessa, ettei kukaan ole vielä voinut kehua saavuttaneen-
sa mitään tuloksia tällä tutkimusalalla, ja syynä siihen, että
muutamat ilmiöt jäivät häneltä selittämättä, oli se, että hän
otaksui yhtäläisyyden valon ja äänen välillä ulottuvan niin
kauas, että valokin oli pitkittäinen aaltoliike kuten ääni on.

Newton ei voinut hyväksyä värähdysteoriaa. Hänen mie-
lestään oli mahdoton selittää varjojen syntymistä olettamalla
valon olevan aaltoliikettä. Kuten ääni tunkeutuu esineiden
taaksekin, niin täytyisi valonkin hänen mielestään tehdä sa-
moin. Olemme kumminkin jo ääniopissa selittäneet syyn sii-
hen, miksi aaltoliike leviää vain etupäässä suoraviivaisesti
eteenpäin. Syynä on se, että sivulle päin leviävät aallot inter-
ferenssin johdosta piankin kumoavat toisensa ja sitä lyhem-
mällä matkalla kuta lyhempi aaltoväli on. Tulemme näke-
mään, että pisinkin valo-aalto on häviävän lyhyt verrattuna ly-
himpään ääni-aaltoon. Sivullepäin leviävät valo-aallot ku-
moavat siis toisensa jo hyvinkin lyhyellä matkalla ja kappa-
leen taakse syntyy varjo.

Jo *Grimaldi* († 1663) oli huomannut, että jos valon annea-
taan tunkeutua ahtaasta aukosta pimeään huoneeseen, jossa
valo kohtaa jotakin kaitaista läpikuultamatonta esinettä, niin
esineen varjon rajat eivät ole sellaiset kuin ne olisivat, jos valo
kulkisi esineen ohi suoraviivaisesti. Hän huomasi varjon ra-
jalla vuorotellen tummia ja valoisia juovia. Myös oli hän hu-
mannut, että jos valo tunkeutuu huoneeseen kahden pienen
lähekkäin olevan pyöreän aukon kautta ja lankeaa varjosti-
melle siten, että nuo pyöreät valopilkut osaksi peittävät toi-
sensa, niin on yhteinen osa kyllä kirkkaampi kuin valopilkut
erikseen, mutta sen paikan ympärillä huomataan kaksi tum-
maa kaarta. Siitä päätti hän, että valo lisättyä valoon voi

aikaansaada pimeyttä ja että valo on jonkunlaista aaltoliikettä erittäin ohuessa aineessa. Selvään käsitykseen ilmiöstä ei hän kumminkaan tullut. Hän nimitti ilmiötä valon *taipumiseksi*. Grimaldin kokeet olivat siis näyttäneet, että valo lisätynä valoon voi synnyttää pimeyttä. Molemmat seikat ovat mahdottomat selittää eritysteorian avulla.

Huolimatta näistä yhä karttuvista tosiseikoista, joita eritysteoria ei kyennyt selittämään, pysyi se kuitenkin yhä pystyssä Newtonin suuren tiedemiesarvon tukemana ja useat etevät tiedemiehet liittyivät siihen. Yhdeksännentoista vuosisadan ensimmäisinä vuosina tehtiin

kumminkin yhä uudistettuja rynnäköitä tätä oppia vastaan. Erittäin on meidän mainittava monipuolisesti oppinut englantilainen lääkäri *Thomas Young* († 1829). Hänestä sanoo Helmholtz, että »hän oli teräväjärkisiä miehiä, mitä koskaan on elänyt, mutta hänen onnettomuutensa oli, että hän teräväjärkisyudessa oli aikalaisiansa paljon etevämpi. He ihmettelivät häntä, mutta eivät voineet seurata hänen päätelmiensä rohkeata lentoa». Ne jäivätkin haudatuiksi Lontoon kuninkaallisen tiedeseuran suuriin kirjoihin ja jälkimaailman täytyi keksiä hänen keksintönsä uudelleen.

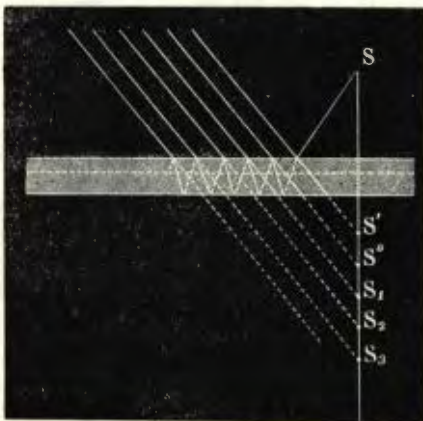


Kuva 131. Thomas Young.

Mitä tutkimuksia harjoitti siis Young? Hän puhalsi saipuaakuplia. Lukija lienee joskus itsekin tehnyt samaa työtä ja nähnyt ne kauniit värit, jotka ilmestyvät kuplan pinnalle ja yhä vaihtelevat ja kiemurtelevat kuplan pintaa pitkin. Samanlaisia väri-ilmiöitä huomaamme muissakin ohuissa kalvoissa ja levyissä. Kun lamppuöljyä tai tärpättiä kaadetaan vedenpinnalle, leviää se siinä ohueksi kalvoksi, joka väreilee sateenkaaren väreissä. Jos kahta pientä lasilevyä puristetaan pinnat vastakkain, niin näemme saman ilmiön, värejä, jotka vaihtelevat sen mukaan, miten kovasti puristetaan, toisin sanoen

miten paksu kerros ilmaa jää lasilevyjen väliin. Ohuissa kiteytyneissä kipsilevyissä ilmenee samanlaisia värejä, jotka vaihtelevat levyjen paksuuden mukaan. Ylipäänsä huomataan nämä ilmiöt valon kulkiessa ohuiden ainekerrosten läpi, joiden rajapintojen ulkopuolella on joko ohuempaa tai tiheämpää ainetta, kun siis aineen yhtenäisyys katkeaa.

Young selitti syynä näihin ilmiöihin olevan valon interferenssin, kahden valo-aallon yhtymisen, joiden kulkemat matkat ovat eri suuret ja jotka ovat lähteneet samasta valolähteestä. Otamme tuon historiallisen saippuakuplan tarkastettavaksi. Valolähteestä tuleva valonsäde kohtaa ensin kuplan ulkopintaa ja heijastuu siitä takaisin. Osa valonsäteestä taittuu kuplan seinän sisään ja osa tästä valosta heijastuu taas kuplan sisem-



Kuva 132. Valon heijastuminen ohuen levyn molemmista pinnosta. S valolähde. Ulkopinnasta heijastunut säde näyttää tulevan pisteestä S_1 . Sisäpinnasta kerran heijastunut pisteestä S_0 , kahdesti heijastunut pisteestä S_1 j. n. e.

mästä pinnasta takaisin. Tämä heijastunut valo kulkee seinän läpi taas ulkopinnalle ja taittuu sen läpi ulos. Kuplasta lähtee siis katsojan silmään kaksi säderyhmää, yksi ryhmä on ulkopinnasta heijastuneita, toinen sisäpinnasta heijastuneita. Niiden matkojen ero, mitkä nämä säteet silmään saapuessaan ovat kulkeneet, on tietysti riippuva kuplan seinän paksuudesta. Kuta paksempi seinä on sitä pitempi matka on

kuljettavana kuplan seinän sisään taittuneella säderyhmällä, ennenkuin se taas saapuu kuplan ulkopuolelle. Molemmat kuplasta lähtevät säderyhmät eivät siis ylipäänsä ole samassa värähdystilassa, vaan on toinen toisen jäljessä enemmän tai vähemmän. Jos »myöhästyminen» on parillinen lukumäärä puolia aallon pituuksia, niin ainoastaan silloin aallot ovat samassa väräh-

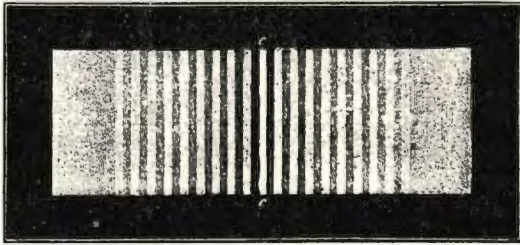


Valon interferenssistä syntyneitä värejä salppuakuplassa.

Liltekuva P. A. Heinriciuksen „Fysiikkaan”.

dystilassa ja vahvistavat toisiansa. Jos myöhästyminen on pariton lukumäärä puolia aallonpituuksia, kumoavat aallot toisensa kokonaan. Muissa tapauksissa aallot välistä vahvistavat, välistä heikontavat toisiansa.

Jos valossa, jolla kuplaa valaistaan, on ainoastaan yhtä pitkiä aaltoja, niin syntyy molempien säderyhmien interferenssin kautta valoisia ja tummia paikkoja kuplan pinnalle. Valopaikat ovat yksiväriset; niillä on se väri, mikä valollakin. Jos taas valo sisältää eri pitkiä aaltoja, niin voi tapahtua, että yhden valolajin säteet vahvistavat toisiansa sellaisella paikalla, missä toisen aaltolajin säteet kumoavat toisensa. Silloin huomataan pinnalla yhdessä paikassa yksi, toisessa toinen väri, riippuen siitä, miten nuo eri aaltolajit kullakin paikalla in-



Kuva 133. Valon taipuminen.

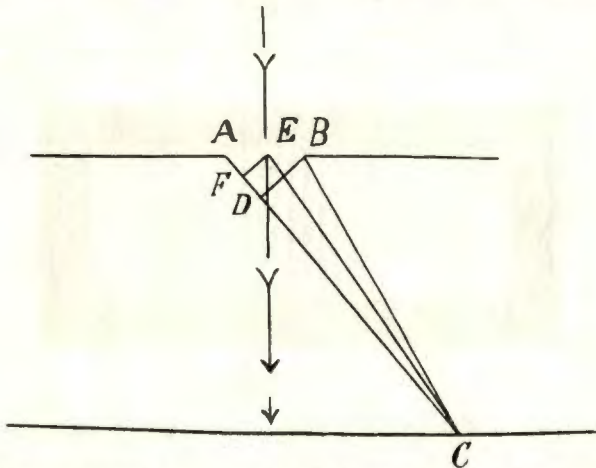
terferoivat. Tällainen ilmiö syntyy, kun valo on esim. auringon valoa, joka sisältää eri pitkiä aaltoja. Värit vaihtuvat yhä syystä, että kuplan seinän paksuus muuttuu yhtämittaa, kun neste valuu pitkin pallon pintaa paikasta roiseen.

Näin selitti Young väri-ilmiöt ohuissa kalvoissa ja levyissä. Tässä tapaamme myös ensimmäisen kerran selityksen siihen, mitä valon väri on värähdysteorian kannalta katsottuna. Väri on valoon nähden sama kuin sävelen korkeus ääneen nähden. Väri on riippuva valo-aallon pituudesta, joka taas on riippuva värähdysluvusta.

Myös Grimaldin keksimän valon taipumisilmiön selitti Young interferenssin avulla. Annetaan jonkun kirkkaan valolähteen, esim. auringon valon, tunkeutua pimeään huoneeseen kaitaisen suorakaiteen muotoisen aukon kautta, jonka peitämme esim. punaisella lasilla saadaksemme yksiväristä valoa.

Tämä valo saa sitten kulkea kaitaisen pystysuoran raon kautta, jonka takana on varjostin. Silloin näemme varjostimella keskellä loistavan punaisen viivan, joka on, kuten sopii odottaakin, huoneeseen tunkeutuvain valonsäteiden suoraviivaisella etenemissuunnalla, ja sen molemmin puolin vuorotellen tummia ja loistavia viivoja, joiden jäikimäisten kirkkaus nopeasti vähenee keskimäisestä viivasta sivulle päin lukien.

Kaikki pisteet tuolla kaitaisella raolla ovat samassa värähdystilassa. Jokainen näistä pisteistä on Huygensin värähdysteorian mukaan uuden aallon keskipiste, joka aalto leviää



Kuva 134. Valon taipuminen. Säteiden AC ja BC kulkemien matkojen ero AD on yksi aallonpituus. Säteiden AC ja EC matkojen ero AF on puolet aallonpituudesta. Pisteessä C syntyy tumma juova.

pisteestä kaikkiin suuntiin. Ne säteet, jotka mainituista pisteistä leviävät huoneeseen tunkeutuvan valon suuntaan ovat yhä edelleen samassa värähdystilassa ja vahvistavat toisiansa varjostimella aikaansaaden keskimäisen kirkkaan viivan. Mutta pisteistä leviää myös säteitä viistoon sivulle päin. Tarkastamme tällaista sivulle päin kulkevaa sädekimppua, johon kuuluvat säteet ovat suunnatut jotakin pistettä kohti varjostimella.

On selvää, että kimppuun kuuluvat säteet ovat kulkevat eri pitkiä matkoja aukosta varjostimella olevaan pisteeseen.

seen. Otaksumme, että valokimppu taipuu valon suoravii-
 vaisesta kulkusuunnasta vasemmalle kädelle. Silloin on se
 säde, joka lähtee raon oikeasta reunasta, kulkenut pisimmän
 matkan, ja se, joka lähtee raon vasemmasta reunasta lyhimmän.
 Ajattelemme raon läpi kulkevan esim. 13 sädettä ja otaksum-
 me äärimäisten säteiden, järjestysnumeroiden 1 ja 13 oike-
 alta vasemmalle lukien, kulkemien matkojen eron olevan yh-
 den aallonpituuden. Silloin on säteiden 1 ja 7, joka on säteis-
 tä keskimäinen, kulkemien matkojen ero puolet aallonpi-
 tuudesta. Nämä säteet kumoavat toisensa. Samoin on sä-
 teiden 2 ja 8, 3 ja 9 j. n. e. kulkemien matkojen ero puolet aal-
 lonpituudesta. Kaikki kimppuun kuuluvat säteet kumoavat
 toisensa parittain saapuessaan varjostimella olevaan pistee-
 seen ja varjostimella syntyy valoton paikka. Koska nyt suo-
 rittamamme tarkastus, joka koski yhdestä raon poikkileikka-
 uksesta sivulle päin leviäviä aaltoja, soveltuu kaikista muista
 poikkileikkauksista samaan suuntaan sivulle päin leviäviin
 aaltoihin, niin syntyy nyt tarkastamallemme paikalle varjos-
 timelle raon pituinen tumma juova.

Ajattelemme toisen vieläkin viistompaan vasemmalle kul-
 kevan sädekimpun, sellaisen, että reunimmaisten säteiden kul-
 kemien matkojen ero on kaksi aallonpituutta. Jakamalla sä-
 dekimpun kahteen yhtä leveään osaan huomaamme, että vas-
 taavien säteiden kummassakin osassa kulkemien matkojen ero
 on yksi aallonpituus. Kumpaankin sädekimpun osaan sovel-
 tuu siis se, mitä äsken sanoimme, ja säteet kummassakin kim-
 pussa erikseen kumoavat toisensa; varjostimelle syntyy tum-
 ma juova. Huomaamme siis, että jos reunimmaisten säteiden
 kulkemien matkojen ero on kokonainen lukumäärä aallonpi-
 tuuksia, niin sellaisen sivulle päin kulkevan sädekimpun koh-
 taamalle paikalle varjostimella syntyy tumma juova. Välillä
 oleville paikoille, joita kohtaavat sädekimput, joiden rajasä-
 teiden kulkemien matkojen erot eivät täytä äsken mainittua
 ehtoa, syntyy valoisia paikkoja, koska säteet eivät täydelleen
 voi hävittää toisiansa. Näiden valoisien paikkojen valovoima
 vähenee kumminkin nopesti keskustasta sivuille päin.

Jos peitämme aukon, mistä valo tunkeutuu huoneeseen,
 viheriällä lasilla, niin huomaamme, että ilmiö on muutoin sa-
 manlainen, mutta valopaikat ovat kaitaisemmat ja lähempänä

toisiansa, kuin punaista lasia käytettäessä. Sininen valo antaa meille vieläkin kaitaisempia ja vieläkin tiheämmässä olevia valokuovia. Kukin väri eroaa siis tässä suhteessa toisista väreistä.

Syynä tähän ilmiöön on se, että eri värien aallonpituudet ovat eri suuret, kuten jo kerran mainitsimme. Jos tarkastamme ensimmäistä tummaa juovaa keskusviivasta lukien, niin on selvää, että punaisen valokimpun täytyy taipua enemmän kuin viheriän sivulle päin, jotta rajasäteiden ero olisi yksi aallonpituus, kun muistamme, että ensimmäinen tumma juova syntyi juuri siten, että rajasäteiden matkojen ero oli yksi aallonpituus. Tämä todistaa sen seikan, että punaisen valon aalto on pitempi kuin viheriän valon ja viheriän taas pitempi kuin sinisen.

Samoin täytyy viheriän valon toisen, kolmannen j. n. e. tumman paikan langeta lähemmäksi keskusviivaa kuin punaisen valon. Sinisen valon taas lähemmäksi kuin viheriän. Kutta lähemmäksi toisiaan tummat paikat lankeavat, sitä kaitaisemmat ovat tietysti valopaikat. Kutta lyhempi siis valo-aalto on, sitä kaitaisemmat ovat valopaikat.

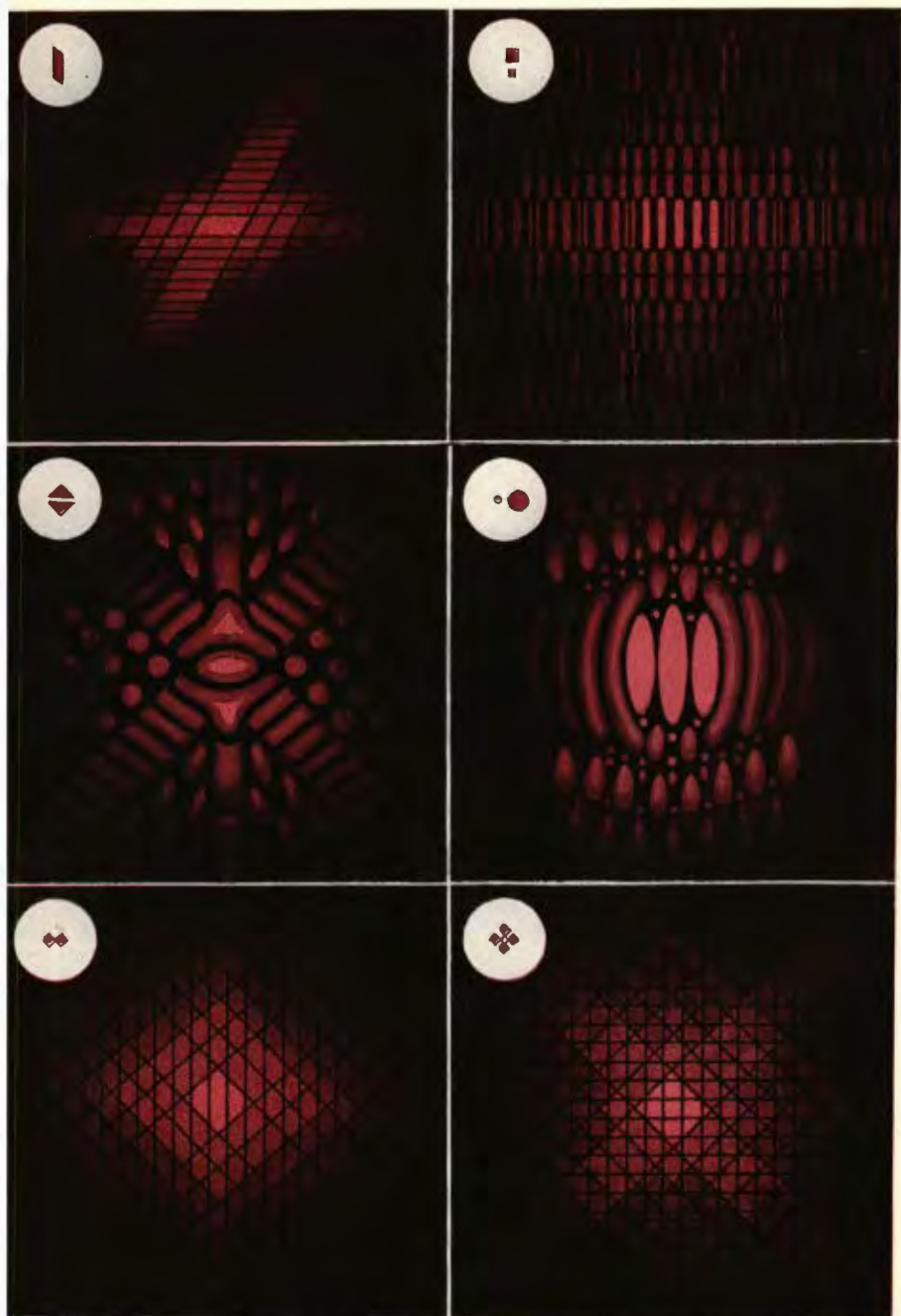
Näin kauas oli Young tullut teoksessaan, jonka hän julkaisi v. 1801. Hän ei valitettavasti liittänyt teokseensa mittaan mittauksia. V. 1805 täydensi hän teoksensa lisäämällä mittauksetkin, mutta silloin oli jo hänen työnsä joutunut unhotuksiin. Palajamme mittauksiin myöhemmin.

Jos värillisen valon asemasta käytämme valkeata valoa, niin valkeassa valossa olevat eri pituiset aallot aikaansaavat valopaikkoja ja tummia juovia eri paikoille varjostimella. Näemme siis keskellä valkean juovan ja sen molemmilla puolilla monivärisiä vöitä, joita erottavat toisistaan heikompileiset, myöskin värilliset juovat.

Suorakaiteen muotoisen raon asemasta voimme käyttää aukkoja, joilla on muukin muoto, neljä, kolmio j. n. e. vieläpä useampia lähekkäin olevia aukkoja.

Ne ilmiöt, jotka siten saamme, vaihtelevat aina aukon mukaan ja ovat ne usein ihastuttavan kauniita. Värähdysteorian avulla voimme laskea jokaisen viivan näissä monimutkaisissa kuvioissa, silmä ei löydä niissä mitään, mitä ei lasku jo edeltäkäsinkin ole ilmaissut.

Loistavimmat interferenssi-ilmiöt saamme kuitenkin käyttämällä useampia yhdensuuntaisia kaitaisia rakoja. Tällaisia



Valon kulusta pienien aukkojen kautta syntyneitä interferenssi-ilmiöitä. Aukkojen muoto nähdään sünkkin kuvan vasemmassa ylänurkassa.

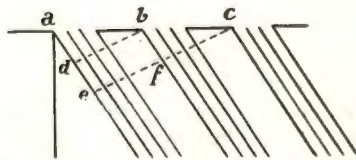
Liitekuva P. A. Heinrichuksen „Fysiikkaan”.

hilantapaisia laitoksia valmistettiin ensin jännittämällä hienoja metallilankoja vierekkäin. Siten ei kumminkaan saatu kaitaisempia rakoja kuin noin $\frac{1}{4}$ mm ja valon sivulle taipuminen niin leveän raon läpi kulkiessa on verrattain vähäinen.

Sitten valmistettiin niitä piirtämällä hienoja viivoja noetulle lasilevyllä ja nykyään tehdään niitä uurtamalla timanttikärjellä hienoja vakoja lasilevyn pinnalle. Amerikkalainen *Rowland* on valmistanut hiloja, joissa on 1,700 vakoa 1 mm leveällä pinnalla.

Tällaisten hilojen synnyttämät interferenssi-ilmiöt ovat paljon selvemmat kuin yhden raon. Jälkimmäisissä ovat valopaikkojen rajat epäselvät, valopaikkojen ja tummien viivojen raja ei ole vallan jyrkkä. Hilaa käyttämällä saadaan sitävastoin tarkoin rajoitettuja valoviivoja, jos valo on yksiväristä, ja loistavia sateenkaaren värisiä valovöitä, jos valo on valkeata.

Tarkastamme lyhyesti valon kulkua tuollaisen hilan läpi. Oletamme, että hilassa on esim. 100 hienoa rakoja ja että sen läpi kulkee yksiväristä, vaikkapa punaista valoa. Hilan taakse asetamme kuperan lasilinssin, kahden pallopinnan rajoittaman kappaleen. Se yhdistää kaikista raoista kulkevat sädekimput, joilla on sama suunta yhteen. Hilaa kohtaavan valon suuntaan rakojen läpi kulkevat sädekimput yhdistää linssi yhdeksi viivaksi. Näillä säteillä on kaikilla sama matka kuljettavana ja vahvistavat ne toisiaan. Jos sitävastoin tarkastamme sivuille taipuvia sädekimppuja, niin raoista johonkin määrättyyn suuntaan sivuille päin kulkevilla sädekimpuilla ei ole samaa matkaa kuljettavana. Otamme sellaisen suunnan tarkastettavaksi, että kahden viereisen sädekimpun kulkemien matkojen ero on yksi punaisen valon aallonpituus. Tässä suunnassa vahvistavat kaikki kimput toisiaan ja varjostimelle syntyy punainen viiva. Jos nyt tästä suunnasta siirrymme vain niin paljon sivulle päin, että ensimmäisen ja toisen sädekimpun kulkemien matkojen ero on $\frac{1}{100}$ aallonpituutta, niin ensimmäisen ja kolmannen ero on $\frac{2}{100}$, ensimmäisen ja neljännen $\frac{3}{100}$



Kuva 135. Valon kulku hilan läpi. Väli ad yksi aallonpituus. Samoin bf , ae kaksi aallonpituutta. Sädekimput vahvistavat toisiaan.

j. n. e. Ensimmäisen ja 51 ero on $1^{60}/_{100} = 1\frac{1}{2}$ aallonpituutta. Sama on siis laita toisen ja 52, 3 ja 53 j. n. e. Vihdoin 50 ja 100. Sädekimput kumoavat toisensa. Tästä käy siis selville, että taipuneet säteet kumoavat toisensa kaikkiin suuntiin, paitsi niihin suuntiin, joihin kahden viereisen sädekimpun kulkemien matkojen ero on kokonainen lukumäärä valon aallonpituuksia.

Kun käytetään valkeata valoa, niin eri pitkät aallot tietysti aikaansaavat nuo valokuovat eri paikoille varjostimella. Pisimpien aaltojen juovat lankeavat kauimmaksi valkeasta keskusviivasta, lyhimpien aaltojen lähimmäksi sitä. Huomaamme, että nuo eriväriset viivat liittyvät välittömästi toisiinsa ilman jyrkkää rajaa. Siten syntyy värillisiä vöitä. Käkissa näissä vöissä on punainen väri kauimpana valkeasta keskusviivasta ja punasinervä lähinnä sitä. Näiden välillä on ääretön luku väriä, mutta huomaamme, että väyön muodostaa etupäässä kuusi pääväriä. Ne ovat: punainen, punaisenkeltainen, keltainen, viheriä, sininen ja sinipunerva. Jo Newton oli tehnyt tämän huomion, vaikka hän hajoitti valkean valon toisella tavalla eri väriksi ja, kuten muistamme, selitti ilmiön eritysteoriaansa kannalta. Tällaista värillistä vöitä, joka syntyy valossa löytyvien eri pitkien aaltojen toisistaan eroamisen kautta, sanotaan *spektriiksi* (kirjoksi). Palaamme myöhemmin uudelleen tähän asiaan.

Värillisiä interferenssi-ilmiöitä huomataan hyvinkin yksinkertaisilla keinoilla. Jos suljemme silmämme niin paljon, että luomien väliin jää pieni rako ja katsomme silmäripsien läpi kauempana olevaa kynttilänliekkiä, niin näemme sen kummallakin puolella värillisiä liekin kuvia. Samanlaisen ilmiön huomaamme katsoessamme pimeällä kauempana olevaa katu-lyhtyä tai päivällä jonkun rakennuksen akkunasta heijastuvaa auringon valoa ohuen kankaan läpi. Näemme sateenkaaren värisen ristin. Myös höyhenen läpi katsottaessa kauempana olevaa valolähdettä nähdään sateenkaaren värit.

Samanlaisia interferenssi-ilmiöitä syntyy myös valon heijastumisen kautta. Ranskalainen *Augustin Fresnel* († 1827), joka jatkoi Youngin tutkimuksia ja jonka töiden voimme sanoa hankkineen värähdysteorialle lopullisen voiton, näytti v. 1824 tämän seikan kokeella, joka käy nimellä Fresnelin peilikoe. Hän asetti kaksi tasaista peiliä sellaiseen asemaan, että ne muo-

dostavat kulman, joka on melkein 180 astetta. Valolähteestä kohtaa kumpaakin peiliä ohut valokimppu. Valokimput heijastuvat peilistä ja valaisevat molemmat osan varjostinta. Varjostimella nähdään yksiväristä valoa käytettäessä tummia ja valoisia paikkoja. Syynä on tietysti tässäkin se, että peilistä heijastuneet säteet ovat kulkeneet eri pitkiä matkoja saapuessaan varjostimelle.

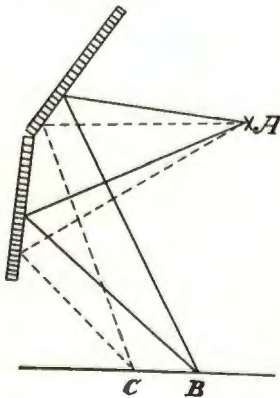
Piirtämällä sileään pintaan tiheitä vakoja saadaan valon heijastuessa tästä heijastushilasta samanlaisia inter-

ferenssi-ilmiöitä kuin valon kulkiessa hilan läpikin. Valo heijastuu nimittäin vakojen välisistä sileistä pinnoista, mutta vakojen kaltevista seinistä heijastuneet säteet

kulkevat mikä minnekin päin, joten niillä ilmiöön nähden ei ole mitään merkitystä. Asian laita on siis vällän sama kuin valon kulkiessa hilan läpikin. Käytettäessä valkeaa valoa saadaan heijastushilallakin erittäin kauniita ja valovomakkaita spektriä. Näemme tällaisia heijastumisesta syntyneen interferenssin aikaansaamia väri-ilmiöitä esineidenkin pinnalla. Simpukan kuorissa nähdään sateenkaaren värejä. Kuori on kokoonpantu ohuista kerroksista, joiden reunat muodostavat kuoren pinnalle tiheän verkon korkopaikkoja ja niiden väliin vakoja. Tällainen pinta vaikuttaa kuten heijastushila. Sama ilmiö



Kuva 136. Augustin Fresnel.



Kuva 137. Fresnelin peilikoe. A valolähde. Pisteessä B syntyy varjostimella valopaikka, pisteessä C tumma paikka.

nähdään muutamien hyönteisten siivissä. Värit ovat siis tässä vain valo-opillinen ilmiö, joka on kokonaan riippumaton aineen sisällisestä molekyylirakenteesta. Kaikki nämä ilmiöt selittää värähdysteoria, mutta aaltoliikkeen laatu ei käy näistä selville, värähdyслиike voi olla yhtä hyvin pitkittäinen kuin poikittainen.

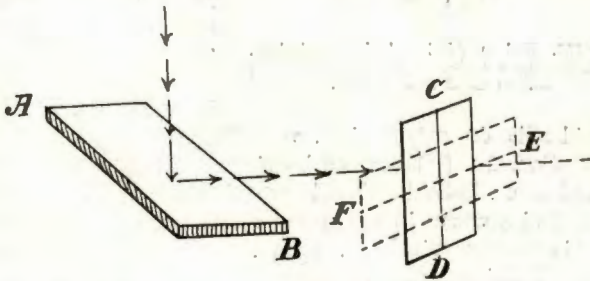
Eritysteoria sai yhä edelleen kannatusta etevienkin tiedemiesten puolelta. Kuinka vähän huomiota Youngin teokset olivat saavuttaneet, todistaa seuraava seikka, joka johtaa meidät eräeseen uuteen ilmiöön valo-opin alalla, joka ilmiö tavallaan on viimeinen rengas siinä ilmiöketjussa, jonka olemme esittäneet valon luonteen selvityksenä.

Vuonna 1808 huomasi ranskalainen *Malus* sattumalta, että Louvre'n palatsin akkunasta heijastunutta valoa ei voinut nähdä, kun valo sai kulkea määrättyssä asemassa olevan kalkkisälpäkiteen läpi. *Malus* koetti selittää tätä ilmiötä eritysteorian kannalta siten, että valo-ainehiukkasilla on kaksi eri ominaisuutta varustettua päätä eli polia ja että noilla hiukkasilla paitsi etenevää liikettä on myös pyörivä liike. Kun tuollainen hiukkanen kohtaa jotakin läpikuultavaa ainetta, niin se joko tunkeutuu tähän aineeseen tai heijastuu aineen pinnasta aina sen mukaan kumpiko hiukkasen pää sattuu aineen rajapintaan. Siitä sai ilmiö nimen valon *polarisationi*. Täytyi siis taaskin lisätä uusi ominaisuus noille valohiukkasille.

Löytyy muitakin kiteisiä aineita kuin kalkkisälpä, joilla on sama merkillinen ominaisuus. Sellainen aine on turmalini, kuusikulmaisen pylvään muotoon kiteytyvä halpa jalokivi. Kun valo kulkee tämän aineen läpi, niin emme siinä huomaa muuta muutosta kuin sen, että väri muuttuu ruskeahkoksi tai oliviviheriäksi, joka väri kiteelläkin tavallisesti on. Leikataan turmalinipylväästä ohut yhdensuuntaisten pohjapintojen rajoittama levy siten, että pylvään akseli on yhdensuuntainen pohjapintojen kanssa. Asetetaan kaksi tällaista levyä päällekkäin; olkoot levyt ensin siinä asemassa, että molemmissa kideakselit ovat yhdensuuntaiset ja annetaan valon kulkea levyjen läpi. Emme nytkään huomaa valossa muuta muutosta kuin sen, että väri tulee kulkiessaan paksumman ainekerroksen läpi hiukan tummemmaksi. Jos nyt toista levyä kierretään ympäri, nähdään kuinka läpi kulkenut valo käy yhä heikommaksi ja sammuu

se kokonaan, kun levyjen kideakselit ovat toisiansa vastaan kohtisuorat. Yhä edelleen kierrettäessä ilmestyy valo uudestaan, käy yhä kirkkaammaksi ja, kun akselit taas ovat yhdensuuntaiset, on se saanut alkuperäisen kirkkautensa.

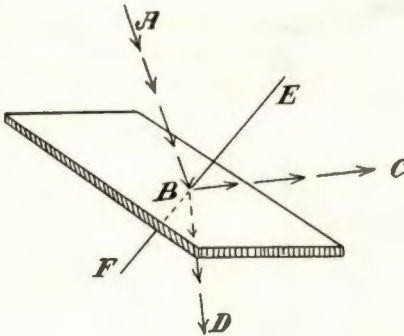
Maluksen kokeen voimme uudistaa myös turmalinilevyllä. Annetaan valon heijastua peilipinnasta, joka pinta ei kumminkaan ole metallista, vaan esim. tavallinen lasilevy, ja sitten kulkea turmalinilevyn läpi. Kun kierrämme ympäri turmalinilevyä heijastunut säde kiertoakselina, niin huomaamme valon heikkenevän ja kirkastuvan kuitenkin kokonaan häviämättä.



Kuva 138. Peilipinnasta heijastuneen valon kulku turmalinilevyn läpi. Turmalinin akselin ollessa asemassa CD on valo heikoin, akselin ollessa asemassa EF on valo kirkkain.

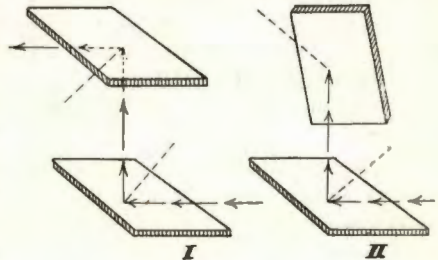
Kirkkain on valo silloin, kun turmalinin kideakseli on kohtisuora tulevan ja heijastuneen säteen kautta kulkevaa pintaa, heijastuspintaa, vastaan; heikoin, kun kideakseli ja heijastuspinta yhtyvät. Jos taas tutkimme heijastavan lasilevyn läpi taittunutta sädettä, huomaamme siinäkin saman ilmiön, mutta valo on tässä tapauksessa kirkkain, kun turmalinin kideakseli yhtyy tulevan ja taittuneen säteen kautta kulkevaan tasoon, heikoin, kun kideakseli on kohtisuora mainittua tasoa vastaan.

Huomaamme tätä koetta tehdessämme, että ero kirkkaimman ja heikoimman valon välillä muuttuu sen mukaan miten suuri valon tulokulma kulloinkin on. Valon kohdatessa pintaa kohtisuorasti, ei heijastuneessa eikä taittuneessa valossa huomata mitään kirkkauden muutoksia turmalinilevyä kierrettäessä. Kun tulokulma suurenee, niin huomataan yhä suurempi



Kuva 139. Kulma ABE polarisationikulma. BE heijastunut säde. BD taittunut säde, kulma CBD suorakulma.

68, piilasille 60 astetta j. n. e. Edinburghilainen professori *David Brewster* († 1868) on keksinyt sen lain, että polarisationikulma on kullekin aineelle se tulokulma, jota vastaa sellainen heijastuneen ja taittuneen säteen asema, että ne ovat kohtisuorat toisillensa. Kun tulokulma on polarisationikulman kokoinen, niin heijastunut säde ei kulje laisinkaan turmalinin läpi, se sammuu kokonaan. Sen sanotaan olevan täydellisesti polariseerattun. Taittunut säde sitävastoin ei ole milloinkaan täydellisesti polariseerattu, se on osittain polariseerattu. Ranskalainen *Arago* († 1853) huomasi, että heijastunut valo ja taittunut valo sisältävät aina yhtä paljon polariseerattua valoa. Nyt heijastaa esim. lasipinta, tulokulman ollessa polarisationikulma, noin 6% valosta. Läpi menee siis 94% ja siitä on vain 6,4% polariseerattua, koska kaikki heijastunut valo on tässä tapauksessa polariseerattua. Suurin osa taittuneesta valosta on siis tavallista polariseeraamatonta valoa.



Kuva 140. Asemassa I heijastuu valo toisestakin peilistä. Asemassa II ei valo heijastu toisesta peilistä.

ero kirkkaimman ja heikoimman valon välillä turmalinia kierettäessä ja saavuttaa tämä ero suurimman arvonsa, kun tulokulma saa erään määrätyn arvon, joka vaihtelee sen mukaan mitä ainetta heijastava pinta on. Jos pinta on lyijylasia, on mainittu tulokulma, n. s. *polarisationikulma*, 57 astetta. Vesipinnalle on kulma $52 \frac{1}{3}$, timantille

Voimme kumminkin saada taittuneenkin valon täydellisemmin polariseeratuksi käyttämällä useampia päällekkäin la-dottuja lasilevyjä, n. s. lasipylvästä. Jokaisessa taitumisessa saadaan yhä suurempi osa valosta polariseeratuksi.

Polariseeratun valon tutkimista varten voimme turmalinilevyn asemasta käyttää myös toista peilipintaa, josta valo saa heijastua. Jos tutkimme ensimmäisestä pinnasta heijastunutta sädettä, huomaamme, että kun molempien peilipintojen heijastuspinnat, s. o. tasot, jotka asetetaan pintaa kohtaavan säteen ja pintaa vastaan vedetyn kohtisuoran kautta, yhtyvät, niin ensimmäisen pinnan polariseeraama valo heijastuu toisesta pinnasta kuten tavallinen valo heikontumatta. Jos sitävastoin heijastuspinnat ovat toisilleen kohtisuorat, niin toisesta peilipinnasta ei heijastu valoa ollenkaan. Jos tutkimme taitunutta valoa, huomaamme asian olevan päinvastoin.

Tämän ilmiön selvittäminen teki värähdysteorian kannattajille kyllä yhtä suuria vaikeuksia kuin eritysteorian kannattajille, koska yhä edelleen oletettiin valon olevan pitkittäistä aaltoliikettä. Jos aalto on pitkittäinen, niin eihän ole olemassa mitään otaksuttavaa syytä edellisiin ilmiöihin, koska valonsäde on niin sanoaksemme samanlainen kaikkiin suuntiin, kun hiukkaset väräjävät pitkin sädettä. Värähdysteorian kannattajillekin oli vaikeaa olettaa värähdysten olevan poikittaisia. Olemme jo ennen nähneet, että poikittainen aaltoliike syntyy ainoastaan kiinteissä aineissa. Olihan vaikeata ajatella, että valo-eetteri, joka täyttää koko avaruuden ja painollisen aineen molekyylien välit, olisi kiinteä aine. Meidän täytyy tunnustaa, että tässä on vielä tänäkin päivänä selittämätön paikka. Voimme tässä suhteessa lausua mielipiteemme vain arvelun muodossa.

Taivaankappaleet kulkevat avaruuden läpi ilman mitään vastusta, sen mukaan mitä asiasta tiedämme. Eetteri esiintyy siis tässä suhteessa kuten äärettömän ohut neste. Jos valo-aallot ovat poikittaisia, niin eetteri ei voi olla nestemäistä, sillä ei millään nesteellä ole sitä jäykkyyttä, joka on poikittaisen aaltoliikkeen ehto. Aineen täytyy olla kiinteä aine. Onpa Kelvin näyttänyt, että jos mieli aineessa voida syntyä sellainen poikittainen aaltoliike kuin valon oletetaan olevan, aineen täytyy olla paljoa kovempi kuin teräs. Tuntuu tämä omi-

tuiselta ja on tämä seikka usein esitetty eetterin todellisen olemassa olon vastaväitteenä.

Voisimme kumminkin ajatella asian esim. niin, että eetteri esiintyy taivaankappaleisiin nähden kuten ohut neste tai kaasu, syystä, että taivaankappaleet liikkuvat verrattain hitaasti kaikilta puolin eetterin ympäröiminä, joten ne kulkevat sen läpi aikaansaamatta mitään muutoksia eetterin kokoumuksessa ja tiheydessä. Sitävastoin ovat valo-aallot siksi nopeita, että ne varmaankin vaikuttavat eetteriin vallan toisella tavalla, eetteri ei ehdi väistyä tämän liikkeen tieltä kuten neste, vaan saa niin nopeaan liikkeeseen nähden kiinteän aineen ominaisuudet.

Se suuri nopeus, jolla aallot leviävät eetterissä näyttää, että tällä aineella on äärettömän suuri kimmoavaisuus. Koska aaltoliike eetterissä ei aikaansaa siinä mitään tiivistyksiä, niin täytyy meidän olettaa, että eetterikin on kokoonpantu molekyleistä, jotka eivät välittömästi kosketa toisiansa, eetteri ei ole yhtenäinen.

Painollisen aineen molekyylit ovat läheisessä yhteydessä eetterimolekylien kanssa, jotka täyttävät edellisten välit. Sen todistaa se seikka, että ainemolekylien liike aikaansaa eetterimolekyyleissäkin liikkeen. Sen olemme jo huomanneet kappaleen säteilystä puhuessamme. Vielä täytyy meidän olettaa, että painolliset molekyylit aikaansaavat tiheyden muutoksia niiden välillä olevassa eetterissä, vieläpä niinkin, että eetterin tiheys eri suuntiin kappaleessa voi olla eri suuri. Kappaleissa, joiden molekyylirakenne on eri suuntiin erilainen, kuten asianlaita on kiteissä, on eetterinkin tiheys eri suuntiin eri suuri.

Vapaassa eetterissä etenee aaltoliike määrätyllä nopeudella ja on nopeus sama olkoonpa aallonpituus mikä hyvänsä. Painollisten molekylien välisessä eetterissä on nopeus pienempi, koska eetteri on tiheämpää, ja on eri pitkien aaltojen etenemisnopeus eri suuri siten, että kuta lyhempi aalto on sitä pienempi on nopeus.

Jo Young oletti, että valo on poikittainen aaltoliike, mutta hän lausui sen mielipiteen tavallaan apuolettamisena, koska polarisationi-ilmiön selittäminen siten kävi mahdolliseksi. Jyrkästi lausui tämän mielipiteen Fresnel v. 1821.

Miten ajattelemme siis tavallisen ja miten polariseeratun valonsäteen? Tavallisessa valonsäteessä ajattelemme värähdyksien tapahtuvan kohtisuorasti sädetä vastaan kaikissa mahdollisissa säteen kautta kulkevilla tasoissa. Sama hiukkanen värähtää yhdessä silmänräpäyksessä esim. ylhäältä alas, seuraavassa oikealta vasemmalle, seuraavassa johonkin muuhun suuntaan, jos ajattelemme valonsäteen vaakasuorassa asemassa. Jos voisimme nähdä hiukkasten radat, niin valolähteestä suoraan katsojan silmään suunnatun säteen näkisimme äärettömän monisäteisenä tähtenä, tähden säteet olisivat hiukkasten eri suunnille suunnatut radat, jotka näkisimme kaikki toisen toisensa takana leikkaavan valonsädetä. Tähden säteet muuttavat yhä suuntaansa, hiukkasten radat muuttavat suuntaansa avaruudessa pysyen kumminkin aina kohtisuorassa valonsädetä vastaan.

Kun tällainen säde kulkee läpikuultavaan aineeseen, jonka molekylirakenne on kaikkiin suuntiin samanlainen, niin värähdykset, olipa niillä suunta mikä hyvänsä, kulkevat vapaasti aineen läpi ja läpitukeutunut säde on yhä edelleen tavallinen valonsäde. Mutta jos säde kohtaa läpikuultavan aineen, jonka molekylirakenne eri suuntiin on erilainen, niin ainoastaan sellaiset värähdykset, joilla on määrätty suunta, pääsevät läpi ja läpitukeutuneessa valossa tapaamme ainoastaan sellaisia hiukkasten värähdyksiä, joilla on tämä määrätty suunta, valo on polariseerattua. Niinpä valo tunkeutuessaan turmalinipylvästä yhdensuuntaisesti kideakselin kanssa leikattuun levyyn jakautuu kahdeksi värähdyslajiksi, sellaisiin, jotka ovat yhdensuuntaiset kideakselin kanssa, ja sellaisiin, jotka ovat sitä vastaan kohtisuorat. Jälkimmäisille on turmalini hyvin vähässä määrin läpikuultavaa ja aivan ohut levy estää ne kokonaan läpikäsemästä. Turmalinilevyn läpi kulkeneessa valossa löytyy siis vain kideakselin kanssa yhdensuuntaisia värähdyksiä, kaikki värähdykset tapahtuvat yhdessä ainoassa valonsäteen kautta kulkevassa tasossa. Koska eetterihiukkasten radat ovat samassa tasossa olevia suoria viivoja, sanotaan valon olevan suoraviivaisesti polariseerattua.

Tällainen valonsäde kohtaa nyt toista samanlaista turmalinilevyä. On selvää, että jos molempien kideakselit ovat yhdensuuntaiset, niin valo kulkee toisenkin läpi, jos ne ovat toisilleen kohtisuorat, ei valo pääse toisen läpi.

Tarkastamme turmalinilevyä ja heijastavaa peilipintaa. Asetamme turmalinin kideakselin vaakasuoraksi ja annamme sen läpi kulkeneen valon sattua peilipintaan, jonka heijastuspinta on kohtisuora kideakselia vastaan. Valo heijastuu peilipinnasta kuten tavallinen valo. Käännämme turmalinin pystysuoraan asemaan. Valo ei heijastu peilistä. Tämä koe näyttää selvästi, kun muistamme, että turmalinin läpi pääsevät ainoastaan kideakselin suuntaiset värähdykset, sen seikan, että peilipinta heijastaa värähdyksiä, jotka ovat kohtisuoria sen heijastuspintaa vastaan, mutta ei värähdyksiä, jotka ovat heijastuspinnassa, ne kulkevat pinnan läpi tuohon toiseen aineeseen. Jos siis päinvastoin annamme valon ensin heijastua peilipinnasta ja sitten kulkea turmalinin läpi, niin huomaamme, kun turmalinin akseli on kohtisuora heijastuspintaa vastaan, valon kulkevan sen läpi olkoonpa valon tulokulma peiliin sattuessa mikä hyvänsä. Peilistä heijastuu näet aina heijastuspintaa vastaan kohtisuoria värähdyksiä. Jos taas turmalinin akseli on yhdensuuntainen heijastuspinnan kanssa, niin, kun valon tulokulma peiliin sattuessa kasvaa, vähenee turmalinin läpi kulkeneen valon kirkkaus vähenemistään. Kun tulokulma on polarisationikulman kokoinen, niin turmalinin läpi ei kulje ollenkaan valoa, sillä nyt ei peilistä heijastuneessa valossa ole muita värähdyksiä, kuin heijastuspintaa vastaan kohtisuoria ja ne eivät pääse turmalinin läpi, jonka akseli nyt on kohtisuora hiukkasten värähdyssuunnalle. Käytettäessä turmalinin asemasta toista peiliä ensimmäisestä heijastuneen valon tutkimiseen, huomataan, että valo heijastuu toisesta, kun molempien heijastuspinnat yhtyvät, sillä silloinhan kohtaavat toista peiliä sen heijastuspintaa vastaan kohtisuorat värähdykset ja niitä pinta heijastaa. Kun heijastuspinnat ovat toisilleen kohtisuorat, ei valo heijastu toisesta, koska valossa ei ole laisinkaan sen heijastuspintaa vastaan kohtisuoria värähdyksiä.

Tutkittaessa heijastavan levyn läpi kulkenutta valoa huomataan sen, kuten jo olemme maininneet, olevan vain osittain polariseerattua ja tapahtuvat polariseeratun osan värähdykset kohtisuorasti heijastuneen säteen värähdyksiä vastaan.

Kun siis valo } polarisationikulmalla kohtaa heijastavaa pintaa, jakautuu osa siitä kahdeksi polariseeratuksi valonsäteeksi, heijastuneeksi ja taittuneeksi. Edellisen värähdykset ta-

pahtuvat kahtisuorasti heijastuspintaa vastaan, jälkimäisen heijastuspinnassa. Ne ovat kuten sanomme kohtisuorasti toisiansa vastaan polariseeratut.

Näin selitti Fresnel polarisationin, joka on paras todistus värähdysteorialle. Emme voi olla kumminkaan mainitsematta, että ilmiö tulee yhtä hyvin selitetyksi päinvastaisen olettamisen avulla, nimittäin niin, että heijastuneen säteen värähdykset tapahtuvat heijastuspinnassa, taittuneen sitä vastaan kohtisuorasti (Neumann). Mutta itse asiassa ei tämä seikka vaikuta sinne eikä tänne. Uusimmat tutkimukset viittaavat siihen, että Fresnelin mielipide on todenmukaisempi. Youngin, Fresnelin ja Aragon tutkimukset hankkivat vihdoin kieltämättömän voiton värähdysteorialle. Puuttui vain vielä sen seikan kokeellinen todistus, että valo tiheämmässä aineessa kulkee pienemmällä nopeudella kuin ohuemmassa. Jo Arago oli huomauttanut miten tällaisen kokeellisen koetuksen voisi tehdä, mutta hän itse ei voinut enää työtä suorittaa, koska hän tuli sokeaksi. Vasta v. 1850 rakensi *Foucault* tarpeellisen koneen ja näytti sillä asian todellakin niin olevan.

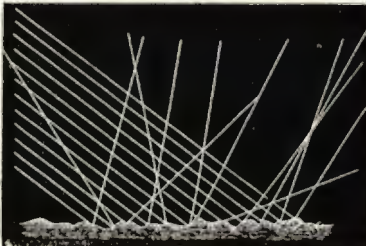
Tämä koe on tuon vuosikymmeniä kestäneen työn kruunu, jonka kautta valon luonne, sikäli kun sen tätä nykyä käsitämme, on saatu selville.

XV.

Valon heijastuminen. Peilit. Tasainen peili. Kulmapeili. Kaleidoskopi. Pallopeilit. Valon taittuminen. Taite-eksponentti. Täydellinen heijastuminen. Valon kahtaistaittuminen. Nicolin prisma. Tasainen levy. Prisma. Linssit. Pallopoikkeaminen. Camera obscura. Valokuvauskone. Taikalyhty. Kinematografi. Mikroskopi. Kaukoputket. Silmä. Sovittamiskyky. Stereokopi. Näköhairahdukset.

Ryhdyimme nyt lähemmin tarkastamaan valon heijastumista ja taittumista sekä näiden ilmiöiden käytäntöä eri tarkoituksia varten rakennetuissa valo-opillisissa koneissa. Esityksen ohella olemme tilaisuudessa vielä sopivilla paikoilla paljamaan muutamia valon luonnetta koskeviin ilmiöihin.

Valon heijastuminen esineiden pinnasta on kahtalainen, säännötön ja säännöllinen. Jos pinta on karkea, niin pinnan muodostavat äärettömän lukuisat pinta-osat, joilla on eri asema. Tällaisesta pinnasta heijastuvat valonsäteet eri suuntiin, heijastuneet säteet eivät enää ole järjestetyt, joskin pintaa kohtaavat säteet ovat sellaisia, esim. yhdensuuntaisia, yhtyviä t. m. s. Kun pimeään huoneeseen tunkeutuu au-

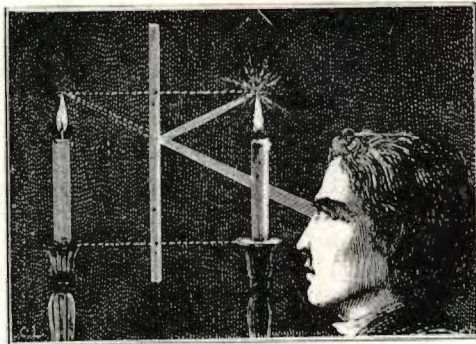


Kuva 141. Valon säännötön heijastuminen.

kosta auringon valoa, joka valaisee esim. vastakkaista seinää, niin näemme valopilkun seinällä joka paikasta huoneessa, siitä heijastuu valoa kaikkiin suuntiin. Samanlainen hajainen heijastuminen on syynä siihen, että näemme valon kohtaamat esineet. Niiden pinnasta heijastuu valoa kaikkiin suuntiin.

Maata ympäröivän ilmakerroksen hiukkaset heijastavat auringon valoa. Seurauksena siitä on, että taivaan kansi on päivällä kokonaan valaistu ja että paikoilla, joihin ei auringon valo suoranaisesti satu, varjoissakin, löytyy valoa. Jollei ilmaa olisi maan ympärillä, olisi taivas aina sysimusta ja varjopaikat samoin vallan valottomat. Tyhjä maailman avaruus on näet vallan pimeä, huolimatta siitä, että mahtavat valo-aallot risteilevät sen läpi kaikkiin suuntiin, sillä ei löydy mitään ainetta, joka heijastaisi näitä valo-aaltoja ja siten tekisi avaruuden valoisaksi. Kuta harvemmassa valoa heijastavat hiukkaset ovat, sitä heikompi on valon heijastuminen. Korkeilla vuorilla, missä ilma on ohuempaa kuin laaksoissa, onkin taivas tummempi väriltään.

Sileästä pinnasta, se on pinnasta, jonka kaikki osat muodostavat yhden ainoan tason tai käyrän pinnan, on valon heijastuminen säännöllinen. Tällaisen pinnan muoto määrää sitä vastaan mielivaltaiseen pisteeseen piirretyn kohtisuoran suunnan ja voimme siis aina tulo- ja heijastuskulman avulla löytää sen suunnan, johon mielivaltainen pintaa kohtaava säde heijastuu. Säteiden suunta on heijastuksen jälkeenkin täydellisesti määrätty. Tällaista pintaa nimitämme kuten tiedämme peilipinnaksi. Luonnollisia peiliä ovat nesteiden vapaat pinnat ja myös eri tiheiden kaasukerrosten pinnat voivat heijastaa valoa kuten peili. Keinotekoiset peilipinnat valmistetaan kiilloitusta metallista tai lasista, jonka takapinnalle valetaan sekoitus tinaa ja elohopeaa, kun lasi ensin on kuumennettu, tai peitetään lasin peiliksi valmistettava pinta ohuella hopeakerroksella, joka sitten kiilloitetaan.



Kuva 142. Tasainen peili.

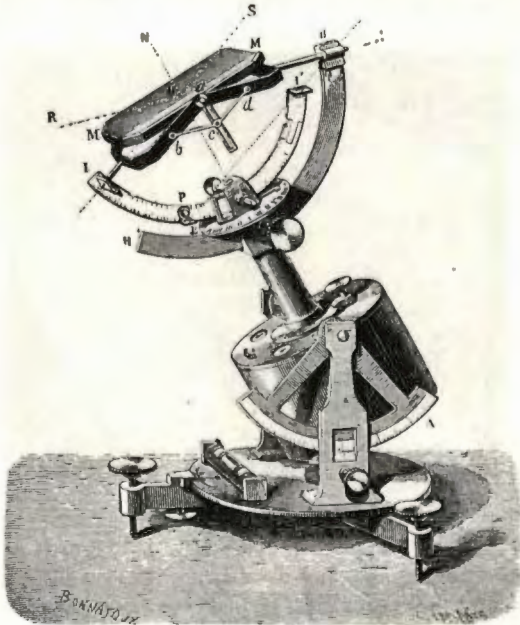
Enin käytetty on tasainen peili; sellainen on tavallinen kuvastin. Kaikki kokemuksesta tietävät, että kuvastimesta heijastuu valo ainoastaan määrättyyn suuntaan. Kuvastimen eteen asetetun esineen jostakin pisteestä lähtevät säteet heijastuvat kaikki peilistä siten, että ne näyttävät tulevan peilin takana olevasta pisteestä, joka on yhtä kaukana peilin takana kuin esineen piste on peilin edessä. Tämä näennäinen peilin takana oleva piste on esineen pisteen kuva. Samalla lailla syntyy esineen muistakin pisteistä kuva peilin takana. Näemme siis esineen kuvan peilin takana vallan samanlaisena kuin esinekin on. Ainoa ero on, että oikea ja vasen ovat vaihtuneet. Peilin takana olevaa esineen kuvaa, josta valo näyttää tulevan, vaikka todellisuudessa valo tulee katsojan silmään peilin pinnasta, sanotaan *valekuvaksi*.

Tasaista peiliä käytetään valo-opillisissa koneissa heijastamaan valoa johonkin määrättyyn suuntaan. Niinpä *helios-tati* on kellolaitoksen pyörittämä peili, joka heijastaa auriongon valoa aina samaan suuntaan, maan akselin suuntaan, josta suunnasta sitten valon voi toisen kiinteän peilin avulla heijastaa mielivaltaiseen suuntaan. Parisin maailmannäyttelyssä v. 1900 löytyi 60 m pitkä jättiläiskaukoputki yleisön käytettävänä taivaankappaleiden tarkastamista varten. Kaukoputki itse oli liikkumattomana vaakasuorassa asemassa, mutta sen edessä oli suuri peili, kellolaitoksen käyttämä, jonka avulla voi yhtä mittaa heijastaa kaukoputkeen valoa mistä pisteestä taivaanlaella hyvänsä.

Tasaista peiliä käytetään usein tieteellisissä koneissa, joiden avulla aivan vähäpätöisiä liikkeitä on näytettävä. Jos peilin asema tulevaan säteeseen nähden muuttuu, niin heijastunut säde myös muuttaa asemaansa. Heijastuskulma suurenee tai pienenee vallan saman verran kuin tulokulma, joten heijastuneen säteen kääntymä kulma suurenee tai pienenee kaksi kertaa sen kulman, minkä peili kääntyy. Kiinnitetään pieni tasainen peili liikkuvaan kappaleeseen, peiliin sattuu ohut valokimppu kiinteästä valolähteestä ja heijastuu kauempana olevalle varjostimelle tai seinälle kiinnitetyle mitta-asteikolle muodostaen siihen valopilkun. Jos nyt kappale liikkuu siten, että siihen kiinnitetty peili kiertyy, niin siirtyy valopilkku huomattavan matkan, vaikka peili kääntyykin aivan huoma-

mattoman kulman. Kun mitataan asteikon ja peilin väli sekä valopilkun siirtymä matka, on helppo laskea peilin kääntymäkulma.

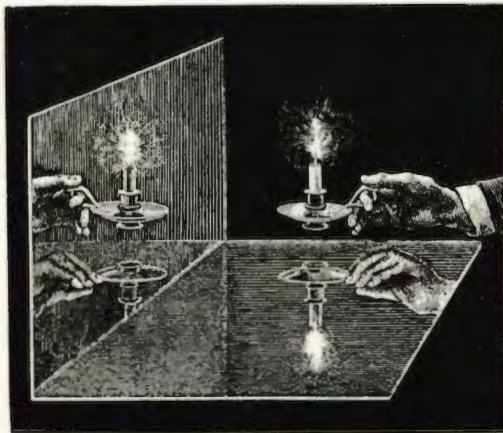
Kaksi peiliä, joiden pinnat muodostavat keskenään kulman, antavat niiden väliin asetetuista esineistä useampia kuvia valon heijastuessa peilistä toiseen. Olkoon peilien välinen kulma suora kulma. Silloin syntyy kummassakin peilissä yksi



Kuva 143. Heliostati.

kuva esineestä. Heijastumisen kautta peilistä toiseen syntyy vielä yksi kuva, siis kaikkiaan kolme kuvaa, jotka näyttävät olevan ympyrän kehällä, jonka keskipiste on peilien leikkausviivalla. Jos peilien välinen kulma on 60 astetta, syntyy viisi kuvaa. Ylipäänsä nähdään esine niin moninkertaisena, esine itse mukaan laskettuna, kuin peilien välinen kulma sisältyy 360 asteeseen. Jos siis peilit ovat yhdensuuntaiset, syntyy ää-

retön luku kuvia. Kahden yhdensuuntaisen peilin välillä olevasta kynttilästä nähdään päättymätön rivi kynttilöitä molemmissa peilissä. *Kaleidoskopi* perustuu myös tällaiseen kulmapeiliin. Putken sisällä on kaksi kaitaista peiliä, joiden välinen kulma on 60 astetta. Putken toisessa päässä on pieni reikä silmää varten ja toisessa päässä kahden lasilevyn välillä, joista ulkopuolinen on himmeäksi hijottu, pieniä esineitä, helmiä, höyheniä, sammaleen oksia y. m. Reijästä katsottaessa



Kuva 144. Kulmapeili.

nähdään nämä esineet ja viisi kuvaa järjestettyinä kuusiosaiseksi tähdeksi, joka muuttuu aina sen mukaan, mihin asemaan esineet putkea pyöritettäessä sattuvat asettumaan. Siten saadaan loppumaton luku kauniita, siroja kuvia.

Peilinä käytetään myös käyriä pintoja. Tavallisesti on käyrä pinta, jota peilinä käytetään, osa pallon pinnasta. Käytetään kyllä muitakin käyriä pintoja esim. parabolista pintaa, jonka voi ajatella syntyneen siten, että parabeli (heittoiviiva) pyörii akselinsa ympäri.

Tarkastamme ensin pallopeiliä. Sellaisen peilin voimme valmistaa joko pallon sisäpuolisesta pinnasta tai pallon ulkopuolisesta. Edellistä sanotaan koveroksi, jälkimäistä kupe-

raksi peiliksi. Sen pallon, jonka pinnasta peili on osa, keskipiste on *peilin keskipiste*. Jokainen keskipisteen kautta kulkeva suora on peilin *akseli*. Akselit ollen pallon säteitä ovat kohtisuorat peilipinnalle. Se akseli, joka kohtaa tuon maljamaisen pallopinnan osan keskipistettä, saa nimen *pää-akseli*, muut akselit ovat sivuakseleja. Kahteen vastakkaiseen pisteeseen peilipintaa rajoittavalla ympyräviivalla vedettyjen sivuakselien muodostama kulma on peilin *aukeama*. Tavallisesti käytetään verrattain pieniä osia pallopinnasta peilinä, aukeama on vain 5, korkeintaan 10 astetta.

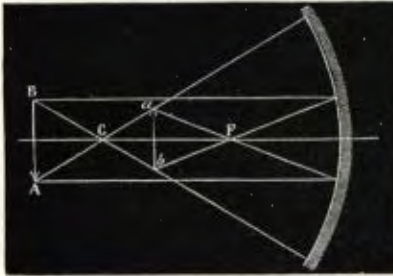
Tarkastamme ensin koveropeiliä. Annamme auringon valon sattua sellaiseen peiliin siten, että valonsäteet muodosta-



Kuva 145. Koveropeili. AC pääakseli. F pääpolttopiste.

vat pienen kulman peilin pää-akselin kanssa. Auringon säteet voimme pitää yhdensuuntaisina. Näemme kuinka säteet heijastuvat peilistä valokeilana, jonka kärki on peilin edessä sillä sivuakselilla, jonka kanssa auringon säteet olivat yhdensuuntaiset. Jos tämän kärjen kohdalle panemme pienen paperipalan, syntyy sille huikaisevan kirkas pieni valopilkku ja pian alkaa paperi savuta ja hiiltyä, voipapa syttyä palamaan liekiläkin. Siinä yhtyvät siis tuon sivuakselin kanssa yhdensuuntaiset valonsäteet ja myös lämpösäteet. Pistettä nimitetään *polttopisteeksi*. Pää-akselilla oleva polttopiste saa nimen *pääpolttopiste*. Polttopisteen väli peilistä, *polttoväli*, on puolet säteestä.

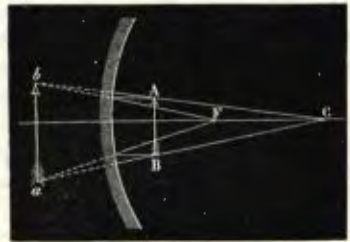
Kaikki yhdensuuntaiset säteet yhtyvät siis polttopisteessä. Päinvastoin, jos valolähde asetetaan polttopisteeseen, niin heijastuneet säteet ovat yhdensuuntaiset polttopisteen kautta kul-



Kuva 146. BA esine, ab kuva. Tai ab esine, BA kuva. Piste C peilin keskipiste.

säteet käyvät yhä enemmän hajoaviksi, kuta lähemmäksi valolähde tulee. Ne muodostavat siis yhä pienemmän kulman sen peilin säteen kanssa, joka vedetään siihen pisteeseen, missä säde kohtaa peilipintaa. Tulokulma pienenee, heijastuskulma siis myös pienenee, säteet yhtyvät kauempana peilistä. Kun valolähde on peilin keskipisteessä, ovat siitä lähtevät säteet kohtisuorat peilipinnalle ja heijastuvat siis takaisin samaa tietä yhtyen taas keskipisteessä. Jokaisella pisteellä äärettömän kaukana olevan pisteen ja keskipisteen välillä on vastaava piste polttopisteen ja keskipisteen välillä ja päinvastoin. Kun vihdoin valolähde on polttopisteen ja peilin välillä, niin ovat valonsäteet niin hajoavia, että ne heijastuksen jälkeenkin ovat hajoavia. Ne näyttävät siis tulevan pisteestä peilin takana. Tässä tapauksessa on peilin antama kuva valekuva. Muissa tapauksissa yhtyvät valonsäteet peilin edessä ja kuva on n. s. todellinen kuva, paitsi siinä tapauksessa, jolloin heijastuneet säteet ovat yhdensuuntaiset, jossa tapauksessa emme voi kuvasta puhua. Voimme siis yleisenä sääntönä sanoa, että valopisteestä lähtevät säteet hei-

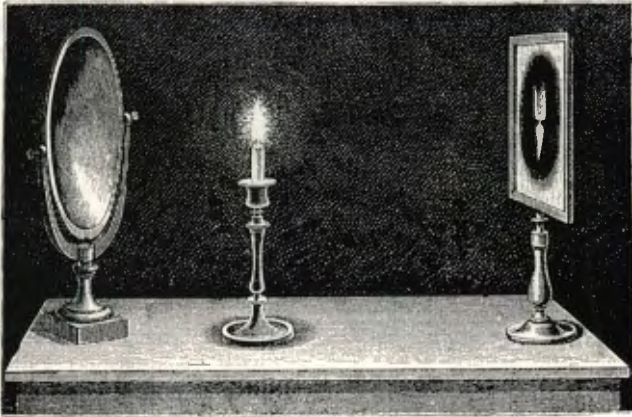
kevan akselin kanssa. Äärettömän kaukana oleva piste ja polttopiste ovat vastaavia pisteitä siten, että jos valonsäteet lähtevät toisesta, yhtyvät ne toiseen, jos otaksumme, että yhdensuuntaiset säteet yhtyvät äärettömän kaukana. Kun valolähde äärettömän kaukaa lähestyy peiliä, niin



Kuva 147. AB esine, F pääpolttopiste, ba valekuva.

jastuksen jälkeen kulkevat yhden pisteen kautta, joka on valopisteen kautta kulkevalla akselilla, joko todellinen piste peilin edessä tai valepiste peilin takana.

Jos valonsäteet lähtevät esineestä, jolla on ulottuvaisuutta, niin jokainen esineen piste aikaansaa kuvansa edellisten sääntöjen mukaan. Nämä kuvapisteeet yhteensä muodostavat esineen kuvan. Koska akselit leikkaavat toisiansa keskipisteessä, niin seuraa siitä, että kaikki todelliset kuvat ovat ylösalaisin esineeseen nähden, sillä keskipiste on esineen ja



Kuva 148. Todellinen koveropeilin antama kuva.

kuvan välillä. Valekuva sitävastoin on samassa asemassa kuin esinekin, sillä esine ja kuva ovat samalla puolella keskipistettä.

Mitä kuvan suuruuteen esineen suuruuteen verrattuna tulee, niin esineen ollessa äärettömän kaukana yhtyvät kaikki säteet polttopisteessä ja kuvakin on vain piste. Kun esine lähestyy peiliä, kasvaa kuva. Esineen ollessa keskipisteessä on kuva, joka on samassa pisteessä, esineen kokoinen. Esineen yhä peiliä lähestyessä siirtyy kuva keskipisteestä ulospäin ja kasvaa suuremmaksi. Kun esine siirtyy polttopisteen ohi, syntyy suurennettu valekuva.

Kuperasta peilistä ei meillä ole paljon sanottavaa. Selaisesta peilistä heijastuvat säteet ovat aina hajoavia. Ne näyt-



Kuva 149. Koveropeilin antama valekuva.

tävät siis tulevan peilin takana olevasta pisteestä. Saadaan siis aina valekuvia ja pienempiä kuin esine.

Koveroa peiliä käytetään valon kokoamiseen valolähteestä pienemmälle alalle ja valo-opillisissa koneissa aikaansaamaan todellisia kuvia esineistä. Tällaisella peilillä suunnataan myös valolähteen säteet määrättyyn suuntaan. Valolähde asetetaan polttopisteeseen, jolloin säteet heijastuvat yhdensuuntaisina. Lajoissa ja majoissa

käytetyissä valonheittäjissä käytetään tällä tavalla koveroa, joko pallomaista tai parabolista peiliä, joka myös heijastaa säteet yhdensuuntaisina, kun ne lähtevät polttopisteestä.

Kuperaa peiliä käytetään esim. puutarhapeilinä, pylvään päähän asetettuna kiiltävänä pallona, ja taskupeilinä, jossa näkee suuren osan arvoisaa itseänsä, vaikka tosin pienennettynä.

Valon taittuminen tapahtuu ennen mainitsemamme Snelliuksen lain mukaan. Tiheämpään aineeseen kulkiessaan taittuu valo kohtisuoraan päin, harvempaan kulkiessaan kohtisuorasta poispäin. Sanat tiheämpi ja harvempi eivät tässä tarkoita vallan samaa kuin mekaniikassa kappaleen tiheydellä tarkoitettiin, sillä aineellisesti tiheämpi aine ei ehdottomasti ole valo-opillisesti tiheämpi. Ylipäänsä aineen valontaittamis-



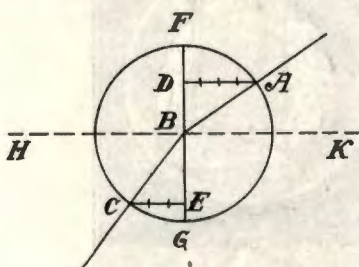
Kuva 150. Kupera pelli.

kyky kasvaa tiheyden kasvaessa, mutta ei verrannollisesti sen kanssa. Mainittakoon tässä muutamien aineiden tiheys (ominaispaino) ja niiden taite-eksponentti ilmasta aineeseen, joista luvuista tämä seikka ilmenee.

	Tiheys	Taite-eksponentti
Vesi	1,00	1,33
Alkoholi	0,79	1,37
Hiilirikkiö	1,27	1,63
Piilasi	3,33	1,73
Timantti	3,53	2,49

Jokaista määrättyä tulokulmaa vastaa aina määrätty taitekulma ja lausuu niiden keskinäisen suuruuden aineiden välinen taite-eksponentti. Lienee ehkä syytä tässä antaa vielä selitys taite-eksponentille toisellakin tavalla kuin aaltoliikkees-

tä puhuessa annoimme. Sanoimme silloin taite-eksponentin olevan aaltoliikkeen nopeuksien suhteen kysymyksessä olevissa aineissa. Mutta Snelliuksen ajalla ei valoa vielä käsitetty aaltoliikkeenä ja vielä vähemmän oli tunnettu, että aallon nopeus eri aineissa on eri suuri. Senpä vuoksi Snellius lausuiakin lakinsa toisella tavalla.



Kuva 151. Valon taittuminen. HK aineiden rajapinta. FG pinnalle kohtisuora. AB tuleva säde. BC taittunut säde. Kohtisuorien AD ja CE suhde on taite-eksponentti.

Tuleva säde, taittunut säde ja pintaa vastaan vedetty kohtisuora ovat kaikki samassa tasossa. Ajatteleme sen pisteen, missä nämä viivat leikkaavat toisiansa, keskipisteeksi ja mielivaltaisella säteellä piirrettyksi mainitussa tasossa ympyräviivan. Niistä pisteistä, joissa ympyrä leikkaa valonsäteitä, piirrämme kohtisuorat jannat pintaa vastaan vedetylle kohtisuoralle. Jos nyt mittaamme nämä kohtisuorat, niin on kohtisuorien suhde valon taittuessa yhdestä aineesta toiseen muuttumaton luku, aineiden taite-eksponentti aina sama luku, olkoonpa tulokulma mikä hyvänsä. Ilman ja veden välinen taite-eksponentti oli 1,33 eli $\frac{4}{3}$. Kohtisuorat suhtautuvat siis kuten 4:3 eli, jos kohtisuora ilmassa jaetaan neljään yhtä suureen osaan, on kohtisuora vedessä kolme sellaista osaa. Esimerkeiksi tulo- ja taitekulman keskinäisestä suuruudesta lausuttuina asteina otamme muutamia kulmia valon kulkiessa ilmasta veteen.

Tulokulma 0° ,	taitekulma 0°
„ 15°,	„ 11 $\frac{1}{3}$
„ 30°,	„ 22 $\frac{1}{3}$
„ 45°,	„ 32 $\frac{1}{3}$
„ 60°,	„ 40 $\frac{1}{3}$
„ 75°,	„ 46 $\frac{1}{3}$
„ 90°,	„ 48 $\frac{1}{3}$

Jos valo kulkee päinvastaiseen suuntaan, on taite-eksponentti tietysti luku, joka saadaan jakamalla luku 1 taite-eks-

ponentilla. Siis on taite-eksponentti vedestä ilmaan $\frac{3}{4}$. Edellisessä taulussa vaihtuvat taitekulma ja tulokulma valon kulkiessa vedestä ilmaan. Näemme silloin, että tulokulmaa $48\frac{1}{2}^\circ$ vastaa taitekulma 90° . Suuremmaksi kuin 90° ei taitekulma voi tulla. Jos siis tulokulma on suurempi kuin $48\frac{1}{2}^\circ$, ei valo enää taitukaan ilmaan, mutta heijastuu kokonaan takaisin veteen. Lasille ja ilmalle on tämä *rajakulma* $40\frac{3}{4}^\circ$, timantille ja ilmalle $23\frac{3}{4}^\circ$ j. n. e.

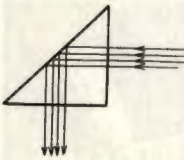
Valon täydellistä heijastumista olemme kyllä tilaisuudessa huomaamaan ja käytetään sitä

usein valo-opillisissa koneissakin peilin asemasta, kun halutaan muuttaa valon suuntaa. Täydellisessä heijastumisessa ei nimittäin mene laisinkaan valoa hukkaan, jota vastoin valon heijastuessa peilistä osa valosta aina imeytyy peilin pintaan.

Jos vesilasin kohotamme ylös niin, että voimme nähdä veden pinnan altapäin viistoon, niin näemme pinnassa lasissa olevien esineiden kuvat kuten vaakasuorassa peilissä ylösalasin. Upotetaan alapäästään suljettu, laajanpuoleinen lasiputki osaksi veteen viistoon asemaan. Vedessä oleva osa kiiltää ikäänkuin se olisi täytetty elohopealla, kun



Kuva 152. Täydellinen valon heijastuminen.



Kuva 153. Prisma valon kokonaisheijastusta varten.

valo heijastuu täydellisesti lasin ja putkessa olevan ilman rajapinnasta. Railo haljenneessa lasissa kiiltää kuin hopealanka valon heijastuessa railoon tunkeutuneen ilmakerroksen pinnasta.

Valo-opillisissa koneissa käytetään tavallisesti valon kokonaisheijastusta varten lasista tehtyä kolmikulmaista särmiötä eli prismaa, kappaletta, jota rajoittaa kolme toisiaan kaksittain leikkaavaa tasoa ja kolmionmuotoiset pohjat. Kokonaisheijastukseen käytetyn prisman pohjat ovat tasakylkisiä suorakulmaisia kolmioita. Kaksi prisman sivupintaa on siis toisilleen kohtisuoraa, kolmas muodostaa niiden kanssa 45° kulmia. Valonsäde kohtaa yhtä kohtisuorista pinnoista kohtisuorasti, kulkee taittumatta sen läpi, kohtaa kolmatta pintaa tulokulman ollessa 45° , heijastuu siitä täydellisesti ja kohtaa toista kohtisuorista pinnoista taaskin kohtisuorassa suunnassa kulkién senkin läpi taittumatta. Säteén suunnan muutos on siis, kun se näin on kulkenut prisman läpi, 90 astetta.

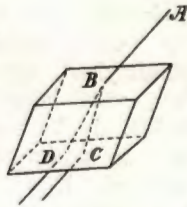
Caprin (Italiassa) sininen luola on kaunis esimerkki valon täydellisestä heijastumisesta. Luola on meren rannalla ja sen aukko on suurimmaksi osaksi veden pinnan alla. Aurinko valaisee luolan ulkopuolella olevaa vettä, siitä tunkeutuvat säteet aukon läpi luolassa olevaan veteen, mutta kohtaavat ne veden pintaa luolassa niin viistoon, että ne heijastuvat pinnasta täydellisesti takaisin veteen. Vesi luolassa saa siten kau- niin sinisen värin. Koko luola saa siten sinisen värin, josta sen nimikin.

Jos valoa taittava aine on kaikkiin suuntiin molekyli- rakenteeltaan samanlainen, niin tapahtuu taittuminen kuten nyt olemme kertoneet. Mutta jos aineen molekyli- rakenne on eri suuntiin erilainen, kuten kiteisssä on laita, niin huomaamme uuden valo-opillisen ilmiön.

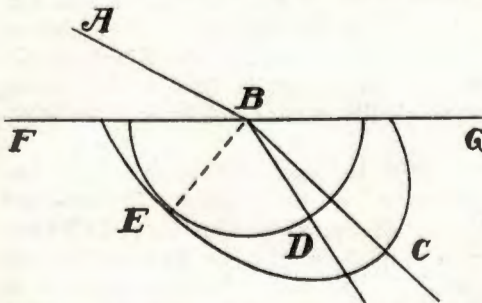
Erasmus Bartholinus kertoo v. 1669 julkaisemassa teokses- saan, että valonsäde taittuessaan kalkkisälpäkiteen läpi jakau- tuu kahteen taittuneeseen säteeseen, joista toinen noudattaa Snelliuksen taittumalakia, toinen ylipäänsä ei noudata sitä. Edellinen on saanut nimen *varsinainen säde*, jälkimäinen *sivu- säde*. Jos annetaan pienestä aukosta lähtevän valon tunkeu-

tua kalkkisälpäkiteen läpi ja sitten sattua varjostimeen, nähdään varjostimella kaksi aukon kuvaa. Jos kidettä käännetään eri aseisiin, nähdään eräessä asemassa molempien kuvien yhtyvän yhdeksi. Tämä tapahtuu silloin, kun säde kulkee kiteen läpi yhdensuuntaisesti kideakselin kanssa. Kaikissa muissa asemassa eroavat säteet toisistaan ja enin eroavat ne silloin, kun taittumistaso on kohtisuora kideakselia vastaan. Taittumistasolla tarkoitamme varsinaisen säteen taittumistasoa, sillä sivusäde ei lankea tähän samaan tasoonkaan muulloin, kuin juuri äsken mainitsemassamme tapauksessa, jossa tapauksessa molemmat säteet noudattavat Snelliuksen lakia, vaikka tosin niiden taite-eksponentit eroavat melkoisesti. Varsinaisen säteen taite-eksponentti on 1,659, sivusäteen 1,487, kun käytetään keltaista valoa.

Kalkkisälpä taittaa siis varsinaisen säteen väkevämmin kuin sivusäteen. Sellaisia kiteitä sanotaan negativisiksi kiteiksi. Jos asianlaita on päinvastoin, saa kide nimen positiivinen kide. Sellainen aine on esim. kvartsi. Sitä suuntaa, jossa varsinainen ja sivusäde yhtyvät, jossa suunnassa siis mitään kahtaistaittumista ei ole, sanotaan kiteen valo-opilliseksi akseliksi. Kalkkisälvällä on yksi sellainen akseli, mutta on ki-



Kuva 154. Kahtaistaittuminen kalkkisälpäkiteessä. BC varsinainen säde. BD sivusäde.



Kuva 155. Varsinainen ja sivuaalto kahtaistaittavassa kiteessä. BD varsinainen säde, BC sivusäde. BE kide-akseli. FG kiteen pinta. BC on kohtisuora kideakselia vastaan.

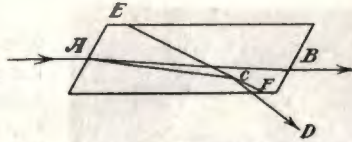
teitä, joilla on niitä kaksikin esim. topasi, kipsi, salpietari. Syyn kahtaistaittumiseen olemme jo valoeetteristä puhuessamme maininneet. Se on eetterin eri suuri tiheys eri suuntiin kiteessä. Jos tutkimme näitä

molempia taittuneita säteitä, huomaamme, että ne kumpikin ovat täydellisesti polariseeratut siten, että niiden värähdykset ovat kohtisuorat toisiansa vastaan. Sivusäteen värähdykset tapahtuvat niin, että värähdyksien taso kulkee akselin kautta tai on yhdensuuntainen sen kanssa, varsinaisen säteen värähdykset ovat kohtisuorat edellistä tasoa vastaan. Kiteessä kulkevat nämä molemmat värähdyksilajit eri suurella nopeudella. Varsinaisen säteen värähdykset kulkevat kaikkiin suuntiin samalla nopeudella, sivusäteen värähdykset taas akselin suuntaan samalla nopeudella kuin varsinaisenkin, mutta muihin suuntiin, jos kide on kuten kalkkisälpä negatiivinen, suuremmalla nopeudella ja kohtisuorasti akselia vastaan suurimmalla nopeudella. Seuraus tästä on, että pisteestä, jossa valonsäde kohtaa kiteen pintaa, leviää kiteeseen kaksi aaltoa, yksi pallomainen ja toinen soikulainen. Soikulainen aalto ympäröi pallomaisen, paitsi akselin suuntaan, jossa suunnassa ne koskettavat toisiansa. Säde, joka kulkee kiteen läpi akselin suuntaan, ei siis hajoa kahdeksi, mitään kahtaistaittumista ei tässä suunnassa ole olemassa. Kaikkiin muihin suuntiin kulkevat säteet eroavat kahdeksi ja enin eroavat nämä kaksi sädettä akselia vastaan kohtisuorassa tasossa.

Turmalinikin on kahtaistaittava kide, sen kyky polariseerata valoa riippuukin juuri tästä seikasta. Mutta turmalinissa ilmenee suuressa määrässä eräs ominaisuus, joka useimmilla kahtaistaittavilla kiteillä on, nimittäin se, että molemmat taittuneet säteet eivät kulje yhtä helposti kiteen läpi, kide imee toista värähdyksilajia enemmän kuin toista. Niinpä turmalini päästää lävitsensä ainoastaan sivusäteen akselin kanssa yhdensuuntaiset värähdykset ja imee melkein kokonaan varsinaisen säteen akselia vastaan kohtisuorat värähdykset.

Kahtaistaittavat kiteet tarjoavat meille erinomaisen keinoon saada polariseerattua valoa. Kuitenkin on pidettävä siitä huolta, että jompikumpi taittunut säde poistetaan, sillä jos molemmat säteet käytetään yhdessä, niin ne yhdistettyinä antavat taas tavallista valoa. Erittäin nerokkaasti tapahtuu tämä kalkkisälpäkiteistä valmistetussa *Nicolin* prismassa. Kide halaistaa kahtia tasolla, joka on kohtisuora kiteen pohjapintoja vastaan. Leikkauspinnat silitetään hiomalla ja kitataan

taas yhteen kanadabalsamilla. Jos nyt tavallinen valonsäde kohtaa pylvään pohjapintaa, jakautuu se kahdeksi säteeksi, väkevämmin taittuneeksi varsinaiseksi ja heikommin taittuneeksi sivusäteeksi. Edellinen koh-



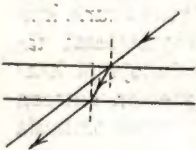
Kuva 156. Nicolin prisma. EF kanadabalsamikerros. AB sivusäde, ACD varsinaisen säde.

taa kanadabalsamikerrosta niin viistoon, että se, koska kanadabalsamin taite-eksponentti on pienempi kuin säteen, heijastuu kerroksesta täydellisesti ja kulkee pylvään sivupinnan kautta ulos. Sivusäde sitävastoin, jonka taite-eksponentti on pienempi kuin kanadabalsamin, kulkee koko pylvään läpi ja on se läpi kuljettuaan täydellisesti polariseerattu.

Ryhdyimme nyt tarkastamaan valoa taittavia kappaleita, joita tavallisimmasti käytetään valo-opillisia koneita rakennettaessa. Oletamme, että käytetty valo on yksiväristä. Jos nimittäin valo sisältää eri pitkiä aaltoja, eri väristä valoa, niin nämä eri pitkät aallot eivät, kuten tiedämme, taitu yhtä paljon. Puhumme sittemmin valkean valon taittumisesta.

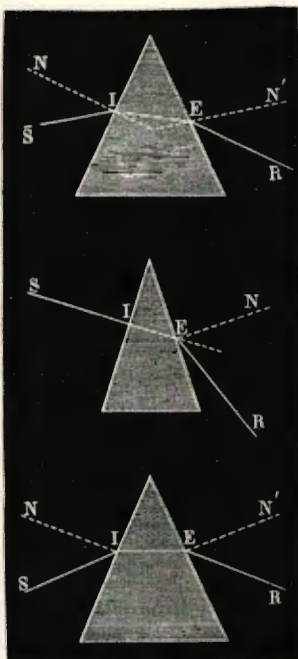
Valoa taittavia kappaleita voi valmistaa kaikista läpinäkyvistä aineista, myös nesteistä ja kaasuistakin sulkemalla ne onttoon lasiastiaan. Taittavan kappaleen pinnat ovat joko tasapintoja tai käyriä pintoja.

Tasapintaisia kappaleita ovat yhdensuuntaisten pintojen rajoittama levy ja prisma. Oletamme levyn olevan tiheämpää ainetta kuin ympäröivä aine. Valonsäde taittuu ensin levyyn tunkeutuessaan kohtisuoraan päin ja sitten levystä ulos tullessaan yhtä paljon kohtisuorasta poispäin. Levystä lähtevä säde on siis yhdensuuntainen levyyn sattuvan säteen kanssa, mutta ei kumminkaan sen jatkona. Se on siirtynyt sivulle päin



sitä enemmän kuin paksumpi levy on ja mitä väkevämmin se taittaa valoa. Ohuissa levyissä on sivulle siirtyminen aivan vähäinen. Niinpä akkunalasien lävitse näemme esineet melkein sillä paikalla ja niin suurina kuin ne todella ovat. Levyä kohtisuorasti kohtaava säde ei tietysti siirry sivulle, koska se kulkee taittumatta levyn läpi.

Kuva 157. Valon taittuminen tasapintaisessa levyssä.



Kuva 158. Prisma. Alimmassa kuvassa on valon poikkeaminen pinnin.

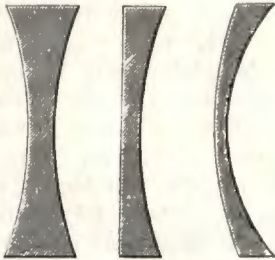
Taan myös, että jos prismaa kääntämällä valonsäteiden ensimmäistä tulokulmaa muutetaan, niin poikkeamisen suuruus myös muuttuu; se on siis riippuva myös tästä tulokulmasta. Pienimmän huomataan poikkeamisen olevan silloin, kun valonsäde muodostaa kummankin prisman pinnan kanssa yhtä suuria kulmia. Tavallisesti asetetaankin prisma sitä käytettäessä tähän asemaan valonsäteeeseen nähden. Nesteprismoja ja kaasuprismoja valmistetaan siten, että aineet täytetään onttoon lasiprismaan, jonka valoa taittavat pinnat ovat tasapintaisia levyjä.

Linssiksi nimitämme läpinäkyvästä aineesta tehtyä kappaletta, jonka valon kohtaamat pinnat ovat joko molem-

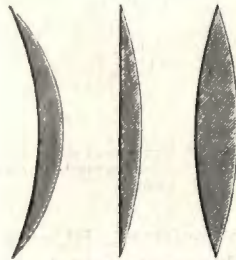
Valo-opillinen prisma on telkkimen muotoinen läpinäkyvä kappale. Tavallisesti on vain kaksi sivupintaa sileäksi tahkotettu, kolmas sivupinta ja pohjat maalataan useinkin mustiksi. Prisman poikkileikkaus on kolmio, tavallisesti tasakylkinen. Kiillotettujen pintojen välinen telkinkulma saa nimen *taittava kulma* ja särmä, jota pitkin mainitut pinnat leikkaavat toisiansa, on taittava särmä. Valonsäde, joka kohtaa yhtä pintaa, taittuu kohtisuoraan päin, kulkee prisman läpi ja taittuu toisen sivupinnan läpi kohtisuorasta poispäin. Valonsäde poikkeaa siis alkuperäisestä suunnastaan taittavasta särmästä poispäin. Valolähde näyttää siis prisman läpi katsottuna siirtyneen taittavan särmään päin. Siirtyminen on sitä suurempi kuin suurempi prisman taittava kulma on ja sitä väkevämmin taittavaa ainetta prisma on. Mutta huomataan

mat käyriä pintoja tai yksi tasapinta, toinen käyrä. Käytännössä annetaan käyrälle pinnalle aina sellainen muoto, että voimme ajatella sen syntyneen viivan pyörimisen kautta kiinteän akselin ympäri n. s. pyörähdyspinnan muoto. Täydellisen käyrän pinnan valmistaminen on erittäin vaikea tehtävä ja sen vuoksi onkin linsien valmistaminen, jos niiden tulee täyttää suurempia vaatimuksia, pitkälinen ja erinomaista tarkkuutta vaativa työ. Helpoin on valmistaa pallomainen pinta ja ovatkin sellaiset linssit valo-opillisissa koneissa ensin käytetyt.

Linssin käyttö valoa taittavana kappaleena on verrattain vanha keksintö. Lasipalloja tai onttoja vedellä täytettyjä palloja käyttivät käsityöläiset vuosisatoja sitten kootakseen



Kuva 159. Koveroja linsejä.

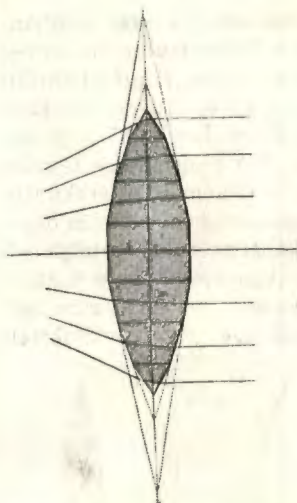


Kuva 160. Kuperia linsejä.

valolähteen valoa paremmin valaistakseen työtään. Kenties voi vieläkin jonkun maasuutarin työpöydällä löytää sellaisen vedellä täytetyn lasipallon.

Ensimmäinen, joka tarkemmin tutki valon taittumista pallomaisissa pinnoissa, lienee luostarin johtaja *Maurclykus* († 1575). Jo kuudennellatoista vuosisadalla käytettiin linsejä silmälaseina.

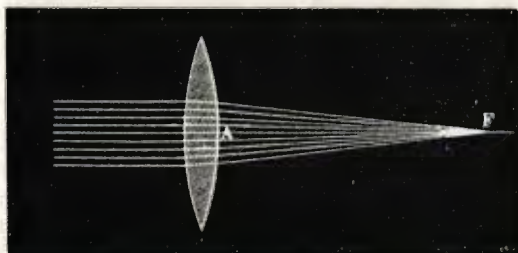
Pallomaisia linsejä on kahta lajia, kuperia (konveksia), jotka ovat keskeltä paksummat ja reunoilta ohuemmat, sekä koveria (konkavia), jotka päinvastoin ovat keskeltä ohuemmat ja reunoilta paksummat. Kumpaakin lajia on vielä kolme eri muotoa: molemmat pinnat kuperat tai koverot, toinen pinta kupera tai kovero ja toinen tasainen, ja vihdoin yksi pinta kupera toinen kovero.



Kuva 161. Miten kuperan linssin voi ajatella kokoonpannuksi prismoista.

Kuperan linssin voimme ajatella kokoonpannuksi ääretömän monesta prismasta, jotka ovat järjestetyt suoran viivan, linssin pää-akselin, ympärille ja kääntävät kaikki taittavan kulmansa viivasta pois päin. Valonsäteet, jotka lähtevät pisteestä linssin yhdellä puolella, taittuvat siis ylipäänsä yhteen pisteeseen linssin toisella puolella, jonka pisteen asema on riippuva valopisteen etäisyydestä linssistä lukien, linssin aineen taiteeksponentista ja noiden oletettujen prismojen taittavasta kulmasta tai toisin sanoen linssin kuperuudesta. Tämä seikka, että linssin molemmat pinnat ovat kuperia tai ainakin toinen on kupera, vaikuttaa sen, että linssi todella ei taita valopisteestä lähteviä säteitä yhteen ainoaan pisteeseen. Ajattelemme säteen, joka kohtaa linssiä pitkin pää-akselia. Piirrämme niihin pisteisiin, joissa pää-akseli leikkaa linssin pintoja, tasot, jotka sivuavat linssin pintoja. Nämä pinnat ovat yhdensuuntaiset ja säde kulkee siis linssin läpi vallan kuin tasapintaisen levyn läpi kohdatessaan levyä kohtisuorasti, siis taittumatta. Otamme säteen, joka kohtaa linssiä lähellä pää-akselia. Piirrämme taas tasot, jotka sivuavat linssin pintoja pisteissä, joissa säde leikkaa näitä pintoja. Tasot muodostavat nyt prisman kaksi sivutasoa, jotka leikkaavat toisiansa verrattain kaukana pää-akselista. Prisman taittava kulma on pieni ja prisman läpi kulkenut säde on verrattain heikosti taittunut. Otamme kolmannen kauempana akselista kulkevan säteen ja menettelemme kuten äsken. Prisman taittava kulma on suurempi, koska tasot leikkaavat toisiansa lähempänä akselia. Säde taittuu väkevämmin. Näemme siis, että linssin reunan kautta kulkevat säteet taittuvat enemmän kuin linssin keskustan kautta kulkevat. Kuta kuperampi linssi on, sitä

suurempi on ero reunasäteiden ja keskussäteiden taitumisessa. Tätä vikaa, *palloaberrationia* (pallopoikkeamista) ei voi mitenkään poistaa, täytyy ainoastaan vähentää se vähimpään määräänsä. Sen vuoksi ei käytetä koskaan kovin kuperia linsskejä; linssin kuperat pinnat ovat tavallisesti osa suurisäteisen pallon pinnasta. Valo-opillisissa koneissa käytetään vielä sen lisäksi linssien edessä läpikuultamatonta levyä, jossa on pyöreä reikä pienempi kuin linssi, joten ainoastaan ne säteet, jotka kohtavat linssiä verrattain lähellä pää-akselia pääsevät läpi. Siten tosin linssin läpi kulkenut valomäärä vähenee, mutta linssin antamat kuvat voittavat selvydessä.

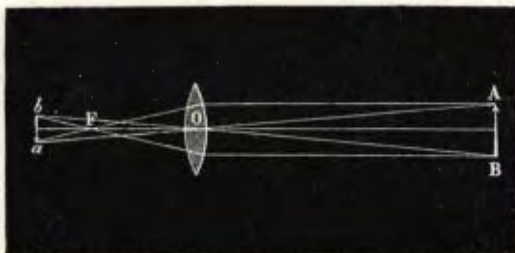


Kuva 162. Yhdensuuntaisten säteiden taituminen polttopisteeseen F.

Koveron linssin voimme myös ajatella kokoonpannuksi prismoista, jotka kaikki kääntävät taittavan kulmansa pää-akselia kohti. Sellainen linssi taittaa läpikulkevat säteet enemmän hajoaviksi kuin mitä ne olivat linssiä kohdatessaan. Palloaberrationi on tietysti olemassa näissäkin linssissä.

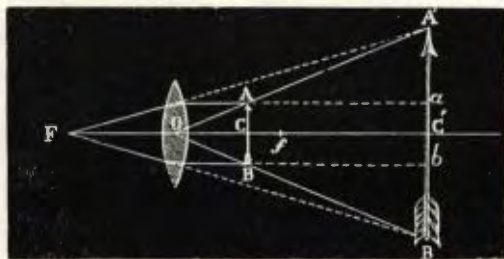
Tarkastamme lyhyesti linssien antamia kuvia. Äärettömän kaukaa tulevat yhdensuuntaiset säteet yhtyvät kuperan linssin läpi kuljettuaan yhteen pisteeseen, jos näet emme ota huomioon palloaberrationia. Tämä piste on linssin polttopiste. Äärettömän kaukana olevasta esineestä syntyy siis pistemäinen todellinen kuva polttopisteessä. Kun esine lähestyy linssiä, käyvät säteet yhä enemmän hajoaviksi ja yhtyvät siis kauempana linssin toisella puolella. Kuva siirtyy polttopisteestä kauemmas ja suurenee. Kuva on esineeseen nähden ylös-

alaisin käännetty. Jos nimittäin ajattelemme esineen äärimäisistä pisteistä vedetyiksi yhdensuuntaiset säteet, niin ne taituttuaan leikkaavat toisiansa polttopisteessä ja, kun kuva oli kauempana kuin polttopiste, täytyy kuvan olla ylösalaisin.



Kuva 163. AB esine. ba pienennetty ylösalaisin käännetty todellinen kuva.

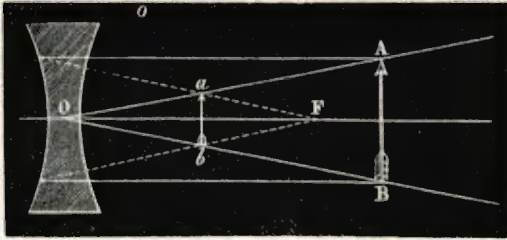
Kuta lähemmäksi polttopistettä esine tulee sitä kauemmaksi siirtyy kuva ja sitä suuremmaksi se käy. Esineen tultua polttopisteeseen ovat taittuneet säteet yhdensuuntaiset, kuvaa ei synny. Jos esine lähestyy vieläkin lähemmäksi linssiä, ovat



Kuva 164. Esine AB linssin ja polttopisteen f välillä. AB suurennettu valekuva.

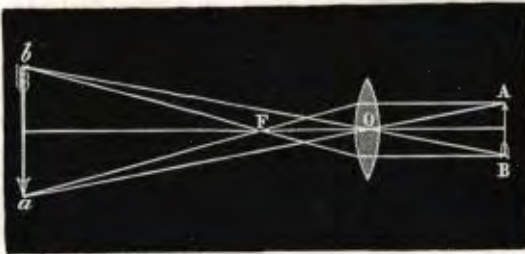
säteet taittumisen jälkeenkin hajoavia. Ne näyttävät tulevan pisteistä, jotka ovat samalla puolella linssiä kuin esinekin. Syntyy siis tässä tapauksessa valekuva, joka on suurennettu ja samassa asemassa kuin esinekin.

Koverot linssit antavat aina valeskuvia olipa esineen välimatka linssistä mikä hyvänsä. Kuvat ovat kuten valeskuvat ainakin samassa asemassa kuin esine. Suuruudeltaan pienemmät kuin esine.



Kuva 165. Kovero linssi. AB esine; ab pienennetty valeskuva.

Valon taittumiseen perustuvat valo-opilliset koneet ovat uuden ajan keksintöjä. Niin hyvin itse taittavan aineen virheetön valmistaminen kuin myös taittavan kappaleen virheettömän muodon aikaansaaminen ovat vielä tänäkin päivänä tehtäviä,

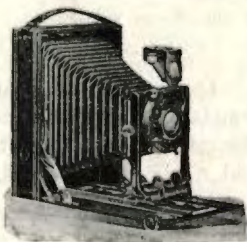


Kuva 166. AB esine. ba suurennettu ylösalaisin käännetty todellinen kuva.

joissa ainoastaan harvat valo-opilliset tehtaot ovat saavuttaneet ansaitun maailman maineen.

Yksinkertaisin kone on epäilemättä yksi ainoa linssi. Kupera linssi antaa esineestä, joka on kauempana kuin polttopiste, todellisen kuvan ja esineestä, joka on polttopisteen ja linssin välillä, valeskuvan. Kumpaankin näistä linssin ominaisuuksista perustuu yksi valo-opillinen kone.

Aatelismies *della Porta* († 1615), kotoisin Neapelista, on kirjoittanut suuren teoksen »*Magia naturalis*» (luonnonperäinen taikataito), joka oli tarkoitettu sisältämään kertomuksen kaikista siihen aikaan saakka tehdyistä keksinnöistä ja fysikalisisista kokeista. Teos olisikin erittäin arvokas, jos hän olisi siinä maininnut, kuka kunkin keksinnön on tehnyt ja jos hän olisi voinut erottaa mikä oli todellista mikä kuviteltua. Senpävuoksi on meidän mahdoton ratkaista onko *della Porta* valo-opillisen koneen »*Camera obscuran*» (pimeään huoneen) keksijä vai onko hän saanut keksinnön muilta. Tiedämme, että jos pimeään huoneen seinään tehdään pieni aukko, niin vastaisella seinällä näemme aukon edessä olevien esineiden kuvat ylösalaisin. Tämän seikan tunsii jo kuuluisa maalari *Leonardo da Vinci* († 1519).

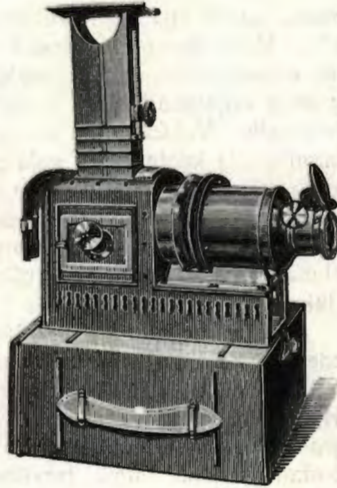


Kuva 167. Valokuvauskone.

Della Porta kertoo suurentaneensa aukon ja sovittaneensa siihen kuperan linssin. Kuvat tulivat siten paljon selveemmiksi ja valovoimakkaammiksi. *Della Portan* keksintö on saanut hyvinkin laajan käytännön valokuvauskoneena. Valokuvauskone on sisältä mustaksi maalattu laatikko, jonka etuseinässä on kupera linssi, objektiivi, ja takaseinänä on himmeäksi hiottu lasilevy. Etu- ja takaseinät ovat toisiinsa yhdistetyt joko palkeentapaisella nelisivuisella torvella tai on laatikko kaksiosainen, joista toisen voi työntää toisen sisään. Muuttamalla etu- ja takaseinän väliä voi levyllä syntyvän kuvan saada selväksi. Lasilevyn sijalle asetetaan sitten valonarka valokuvauslevy, linssi peitetään ja valokuvauslevy paljastetaan vetämällä sivulle levyä peittävä kansi. Kun nyt linssin kansi poistetaan, syntyy kuva valokuvauslevylle ja valokuvaus on toimitettu. Valokuvauskoneita löytyy nykyään lukemattomia eri rakenteita, mutta kaikki perustuvat ne kumminkin kuperan linssin antamaan todelliseen kuvaan.

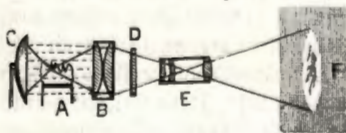
Linssin eteen asetettujen esineiden asemasta käytti jo *Porta* lasilevylle maalattuja, läpikuultavia kuvia. Valo kulkee ensin kuvan ja sitten linssin läpi. Asettamalla kuva kyllin lähelle linssiä saadaan vastaiselle seinälle suurennettu todelli-

nen kuva. Tämä keksintö oli alku nykyjään erinomaisen paljon käytettyyn koneeseen, *taikalyhtyyn* (laterna magica). Tuskin sitä tieteen alaa löytyy, jonka tuloksia ei voisi taikalyhdillä näyttää ja näyttää vaikkapa tuhansille henkilöille yhtäkaa. Tämä kone on tullut välttämättömäksi apuneuvoksi niin hyvin puhtaasti tieteellisissä suullisissa esityksissä kuin myös kansantajuisissa luennoissa. Se on todellakin taikalyhty, se loihii silmiemme eteen kaukaisien seutujen maisemat, vieraiden kansojen elämän ja tavat, työn ja työtavat teollisuuden työpajoissa, luonnon-



Kuva 168. Taikalyhty.

kappaleet aina silmälle näkymättömistä pienimmistä olennoista taivaan tähtiin saakka, kaikki loihii se valkoiselle varjostimelle nähtäväksemme. Ja kuitenkin on kone perin yksinkertainen. Rautapeltilaatikossa on valolähde. Aina sen mukaan, miten suuria kuvia ja miten valovoimakkaita halutaan, käytetään erilaisia valolähteitä, öljylamppua, kaasutai sähkövaloa. Laatikon etuseinässä on kupera linssi, valaisulinssi, joka taittaa valolähteen valon yhdensuuntaisiksi tai tarvittaessa yhtyviksi säteiksi. Linssin eteen asetetaan lasilevy, jolla suurennettava kuva on, ylösalaisin. Lasilevyn toisella puolella on kupera linssi, projektionilinssi, niin kaukana



Kuva 169. Valon kulku taikalyhdyssä. A valolähde. B valaisulinssi D kuva. E projektionilinssi. F varjostin. C kovero peili valon vahvistamista varten.

kuvasta, että kuva on polttopisteen ulkopuolella. Linssi antaa lasikuvasta suurennettun kuvan oikeassa asemassa varjostimelle. Kuten lähempänä projektionilinssin polttopistettä lasikuva on sitä suurempi on kuva varjosti-

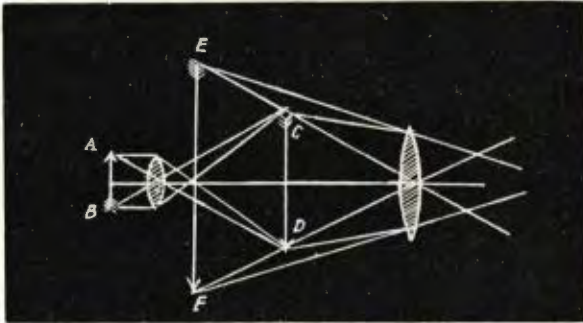
mella, mutta sitä voimakkaamman täytyy myös valolähteen olla. Myös pienempiä esineitä voi täten kuvata varjostimelle, jos esineet ovat ainakin osaksi läpinäkyviä. Tautien ituja y. m. s. suljetaan kahden lasilevyn välille ja suurennetaan varjostimelle. Valolähde on silloin voimakas sähkölamppu ja valaisulinssillä kootaan sen valo pienelle alalle. Koska linssi kookoo myös lämpösäteet, syntyy säteiden kohtaamispaikassa suuri kuumuus. Tämän estämiseksi asetetaan lampun ja linssin väliin jotakin lämpösäteitä imevää läpinäkyvää ainetta esim. alunaliuosta tai rautaoksiduliammoniakkia sisältävä lasilaa-tikko.

Taikalyhdyn on amerikalainen *Thomas Edison* kehittänyt edelleen tehden sen vieläkin kummallisemmaksi. Hän on puhaltanut elävän hengen kuviin, tehnyt kuvat »eläviksi kuviksi». Hänen koneensa, *kinematografi* s. o. liikkeiden kuvaaja tai *biografi* s. o. elävien kuvien kone, perustuu erääseen näköelimen ominaisuuteen. Silmä tarvitsee näet jonkun ajan, noin $\frac{1}{10}$ sek., ennenkuin katsoja saa käsityksen näkemästään esineestä. Jos sama esine kuvataan eri asemiin ja nämä kuvat saatetaan peräkkäin samalle paikalle silmän eteen niin nopeasti, että kukin kuva pysähtyy paikalle lyhemmän ajan kuin $\frac{1}{10}$ sek., niin silmä ei näe kuvia kutakin erikseen, vaan näyttää kuvattu esine liikkuvan ensimmäisestä kuvatusta asemasta viimeiseen. Valokuvaamalla kuvataan joku tapahtuma läpinäkyvästä aineesta tehdylle kaitaiselle nauhalle, noin 900 kuvaa minutissa. Tämä nauha kierretään telalle ja juoksee nauha taikalyhdyssä paikalla, johon lasikuvakin asetettiin, valaisu- ja projektiolinssin välillä, jolloin jokainen kuva pysähtyy noin $\frac{1}{15}$ sek. molempien linssien välille. Kuva varjostimella näyttää silloin liikkuvan.

Kuperan linssin ominaisuus, että se polttopisteen ja linssin välille asetetusta esineestä antaa suurennetun valeskuvan, tulee käytäntöön linssiä käytettäessä *suurennuslasina* eli yksinkertaisena *mikroskopina*. Pieniä esineitä on vaikea paljain silmin nähdä; löytyy esineitä ja olentoja, joita paljain silmin emme ollenkaan näekään. Tällaisella yksinkertaisella suurennuslasilla emme kumminkaan kauaksi pääse. Saadaksemme suurennuksen tuntuvaksi, täytyisi linssin olla hyvin kupera ja silloin palloaberrationi tekee kuvat epäselviksi. On kyllä aivan

yksinkertaisilla keinoilla tällä alalla saavutettu huomattavia tuloksia. Niinpä alankomaalainen tiedemies *Leeuwenhoek* († 1723) teki tärkeitä eläintieteellisiä havaintoja suurennuslasilla, jonka hän valmisti niin, että hän metallilevyyn tehtyyn pieneen reikään tipautti pisaran sulaa lasia. Pisara jäähmettyi reikään melkein pallomaiseksi linssiksi.

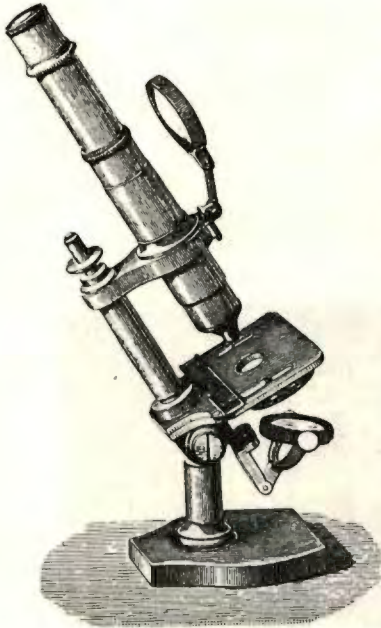
Vuonna 1622 oleskeli Galilei Roomassa. Siellä näki hän mikroskopin, jonka eräs alankomaalainen oli tuonut mukanaan. Omistaja oli kuollut, eikä kukaan tiennyt mikä tuo kone oli ja mitä sillä tehtiin, kunnes Galilei sai sen käsiinsä ja se-



Kuva 170. Yhdistetty mikroskopi. AB esine. CD objektivin antama suurennettu todellinen kuva. EF okularin antama suurennettu valekuva.

litti sen käytännön. Hän valmisti sittemmin itse mikroskopia, mutta mikroskopin keksijänä ei hän koskaan ole itseensä pitänyt. Yhdistetyn mikroskopin keksijä on meille tuntematon.

Yhdistetyssä mikroskopissa on kaksi kuperaa linssiä sovitettuina putken päihin. Esineeseen päin käännetty linssi, objektivi, on verrattain pieni linssi, jolla on lyhyt polttoväli. Silmään päin käännetty linssi, okulari, on suurempi ja sen polttoväli pitempi. Esine asetetaan hiukan objektivin polttopistettä kauemmaksi. Silloin syntyy siitä todellinen suurennettu kuva. Tätä kuvaa tarkastetaan sitten okularilla kuten suurennuslasilla. On selvää, että siten saadaan väkevämpi suurennus kuin yhdellä linssillä. Jos objektivi suurentaa esim.



Kuva 171. Yhdistetty mikroskopi.

10 kertaa ja okulari saman verran, on mikroskopin suurennus 100 kertainen; esine, jonka pituus on vain $\frac{1}{100}$ mm., näyttää mikroskopilla katsottuna 1 mm. pituiselta. Esineet, joita yhdistetyllä mikroskopilla tarkastetaan, asetetaan lasilevyille, peitetään tavallisesti pienellä ohuella lasilla ja tämä mikroskopillinen valmiste kiinnitetään objektivin alla olevalle pienelle pöydälle. Pöydässä on reikä, jonka läpi valmistetta valaistetaan pöydän alla olevalla tasaisella tai koverolla peilillä. Esineiden tulee siis olla läpikuultavia. Esineet nähdään valaistua taustaa vastaan ja vaikuttaa tämä seikka häiritsevästi yksityiskohtien ja hyvin pienien esineiden näkemiseen.

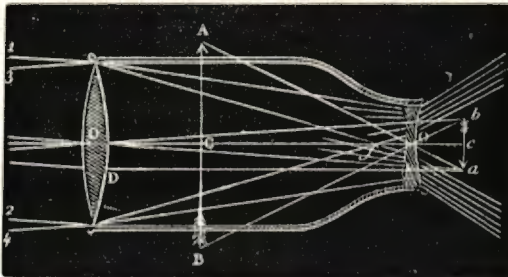
On viime aikoina senvuoksi aljettu rakentaa mikroskopia, joissa esineet valaistetaan sivulta. Ne nähdään silloin pimeää taustaa vastaan ja tulokset ovat olleet erittäin tyydyttäviä.

Kuta lähemmäksi objektivin polttopistettä esine asetetaan ja kuta lyhempi objektivin polttoväli on, sitä enemmän suurentaa objektivi. Mutta tälläkin on rajansa. Polttovälin lyhentämistä varten täytyy linssi tehdä yhä kuperammaksi. Paitsi palloaberrationin häiritsevää vaikutusta on huomattava, että vihdoin polttopiste tulee linssin aineen sisään ja linssiä on mahdoton käyttää. Linssin voi kuitenkin tehdä vieläkin kuperammaksi, jos linssin ja valmisteiden välillä ilman asemasta käytetään öljyä ja linssin kuperuus lasketaan sen mukaan.

Suurennus vaihtelee tietysti aina mikroskopin laadun ja tarkoituksen mukaan. Harvoin käytetään kumminkaan väkevää suurennusta kuin noin 1,200, korkeintaan 1,500 kertaa.

Esine voi näyttää silmään pieneltä ei ainoastaan sen vuoksi, että se on todellisuudessa pieni, mutta myös sen vuoksi, että se on kaukana silmästä. Tässä tapauksessa on silmän apuna käytettävä toista valo-opillista konetta *kaukoputkea, teleskopia*.

Kuka ensimmäisen kaukoputken rakensi, sitä emme myöskään varmuudella tiedä. Galilei kuuli v. 1609 oleskellessaan Venedigissä, että eräs alankomaalainen oli näyttänyt Oranian prinssille Moritzille lasilla varustetun putken, jolla kaukana



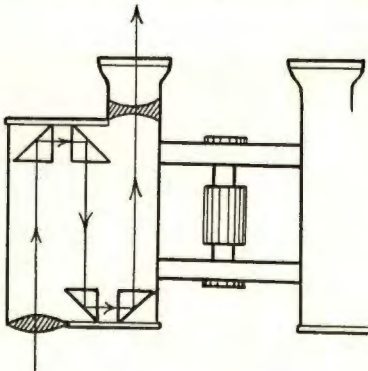
Kuva 172. Galilein kaukoputki. Objektivi antaisi esineestä pienennetyn kuvan ba okularin takana. Okulari hajottaa säteet, joten syntyy valekuvaa AB.

olevat esineet näki yhtä selvästi kuin lähellä olevat. Tiedämme kumminkin, että eräs Middelburgissa asuva silmälasien valmistaja *Lippersheim* sai v. 1608 yksinoikeuden kaukoputkien valmistamiseen. Väitetään tosin, että eräs toinen silmälasien valmistaja *Zacharias Janssen* jo v. 1590 olisi sattumalta keksinyt kaukoputken.

Galilei ryhtyi asiaa miettimään ja tuli pian siihen tulokseen, että yksi ainoa linssi ei riitä tätä mainittua vaikutusta aikaansaamaan. Pian keksikin hän miten kone oli kahdesta linssistä kokoonpantava. Hänen rakentamansa kaukoputki käy nimellä Galilein eli hollantilainen kaukoputki. Esineeseen päin käännetty linssi, objektivi, on kupera linssi. Se antaisi esineestä, joka kaukoputkea käytettäessä on aina kaukana

linssistä, pienennetyt todellisen kuvan, mutta ennenkuin säteet yhtyvät kuvaksi, kohtaavat ne koveroa linssiä, okularia, joka hajoittaa nuo yhtyvät säteet. Siten syntyy esineestä suurennettu valekuva, joka on samassa asemassa kuin esinekin, koska säteet kohdatessaan koveroa linssiä eivät vielä ole kulkeneet ristiin. Galilein kaukoputkella on niin hyvin etunsa kuin myös haittansa muihin kaukoputkiin verrattuna. Etuina on pidettävä, että kaukoputki on verrattain lyhyt ja ala, min-kä sillä näkee, suuri. Haittoina taas, että suurennus on ver-rattain pieni, ainoastaan 3—5 kertainen ja että kaukoputkea ei voi käyttää mittauskoneissa, koska siinä ei synny mitään todellista kuvaa. Kaukoputken samoin kuin mikroskoopinkin käyttäminen mittauskoneissa perustuu nimittäin siihen, että hienoista langoista tehty risti tai useampia yhdensuuntaisia ja joku niitä kohtisuorasti leikkaava lanka jännitetään siihen paikkaan, missä objektivin antama todellinen kuva syntyy. Okularin läpi katsova silmä näkee silloin kuvan ja langat yht-aikaa. Kääntämällä putkea tai mikrometriruuvilla siirtämällä lankoja asetetaan ristin keskus tahi liikkuva lanka peittämään jonkun pisteen kuvassa. Sitten tehdään sama toiseen pisteeseen nähden. Pisteiden väli on silloin astemittana putken käänty-mä kulma tai mikrometriruuvin kiertyminen lausuttuna joko astemittana tai pituusmittana aina mittauksen laadun mukaan.

Galilein kaukoputkea on äskettäin valo-opillisten konei-



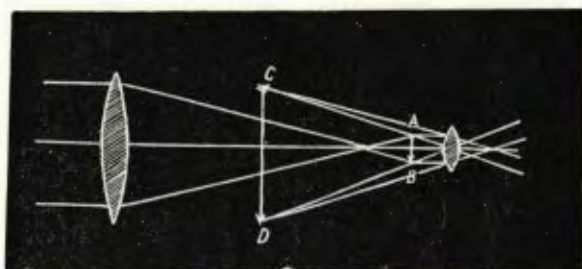
Kuva 173. Valon kulku triederikauko-putkessa.

den tehdas Zeiss Jenassa parantanut. Zeissin n. k. Triederibinokkelissa kohtaa objektivista tuleva valo täydellisesti heijastavaa prismaa, siitä toista samanlaista prismaa. Valonsäde kulkee nyt takai-sinpäin. Se kohtaa taas kahta tällaista prismaa ja sitten okularia. Siten kulkee valo kolme kertaa putken pituuden ennenkuin se kohtaa okularia. Putkea pitentämättä voi

siten saada suurennuksen tuntuvammaksi, noin 6—12 kertaiseksi.

Tavallisesti yhdistetään kaksi Galilein kaukoputkea vierekkäin. Sellainen yhdistys on tunnettu nimellä teatteri-kaukoputki.

Tähtitieteellisiin tutkimuksiin ei Galilein kaukoputki sovellu, sillä sellaisen kaukoputken tulee soveltua juuri mittauksiin. Senpä vuoksi kuuluisa Kepler rakensi v. 1611 tätä tarkoitusta varten tähtitieteellisen kaukoputken. Senkin objektiivi on kupera linssi, joka esineestä antaa ylösalaisen

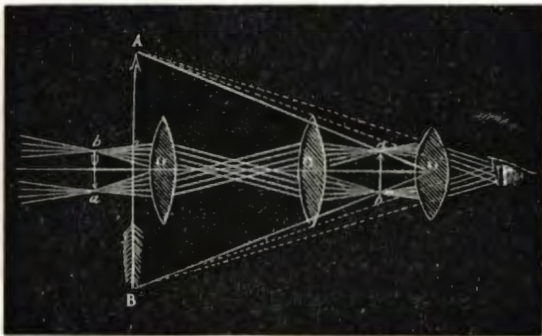


Kuva 174. Tähtitieteellinen kaukoputki. AB objektivin antama todellinen pienennetty kuva. CD okularin antama suurennettu valekuva.

käännetyn pienennetyin todellisen kuvan. Tätä kuvaa katsotaan okularilla, joka myös on kupera linssi, kuten suurennuslasilla. Mittaukseen käytettävät langat pingoitetaan objektivin antaman todellisen kuvan kohdalle. Esineet näkyvät tähtitieteellisessä kaukoputkessa ylösalaisin, mutta tämä ei laisinkaan haittaa taivaankappaleita tarkastettaessa.

Kuta pitempi objektivin polttoväli on sitä suurempi on sen antama todellinen kuva ja sitä enemmän suurentaa kaukoputki. Mutta linssin polttovälin kasvaessa täytyy putkenkin pituuden kasvaa ja sellainen putki on raskas, se taipuu helposti omasta painostaan ja on muutoinkin vaikeasti käsiteltävä. Heti kaukoputken keksimisen jälkeen koetettiin kyllä rakentaa pitkiä kaukoputkia, mutta sen ajan konerakennustaito kohtasi tässä pian voittamattomia vaikeuksia. Koetettiinpa vähentää putken painoa niinkin, että koko

putki jätettiin pois ja objektiivi ja okulari kiinnitettiin pitkän tangon päihin. Danzigilainen raatimies Hevelius († 1687) rakensi sellaisen »ilmakaukoputken», oikean jättiläisen, ja teki sillä erittäin arvokkaita havaintoja. Vaikka tosin nykyajan linssien valmistustaito tekee mahdolliseksi verrattain lyhylläkin kaukoputkilla yhtä hyvien ja parempienkin havaintojen tekemisen kuin noilla menneiden aikojen jättiläisillä, niin täytyy meidän vielä nytkin, kun erittäin voimakas kaukoputki on rakennettava, tehdä se kyllä pitkäksi. Nykyajan suurimmat tähtitieteelliset kaukoputket ovat 18—20



Kuva 175. Maakaukoputki. Esine *ba*. Todellinen kuva *ab*. Suurennettu valemakuva *AB*.

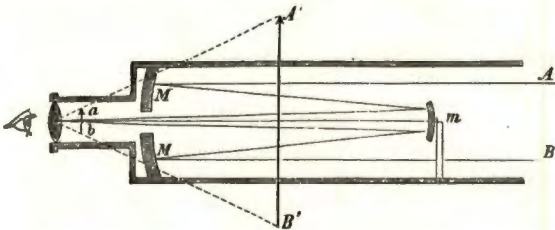
m pitkät, mutta niin täsmälleen tasapainoon asetetut, että ne voi kääntää eri asemiin vaikka yhdellä sormella.

Objektivin suuruus taas vaikuttaa kaukoputken valovoimaan; kuta suurempi objektiivi sitä enemmän valoa kokoaa se, sitä heikkovaloisempia esineitä voi kaukoputkella nähdä. Paitsi sitä, että suurien linssien valmistaminen on vaikeaa, niin kuta suurempi linssi on sitä paksumpi on se myös ja sitä vähemmän läpikuultava valolle on se. Linssi, joka on 70 cm läpimitassa, on noin 10 cm paksu keskeltä. Se imee silloin valonsäteistä noin 16 % ja valokuvauslevyyn vaikuttavista säteistä noin 35 %. Tähän tulee vielä lisäksi säteiden heijastuminen linssin pinnoista. Kaiken kaikkiaan menetämme siten noin 35 % valonsäteistä ja 50 % valokuvaussäteistä. *Šaavutam-*

me täten vihdoin rajan, jonka yli linssin läpimitan suurentaminen ei enää tuota mitään hyötyä valovoimaan nähden. Suurimmat tätänykyä käytännössä olevat linssit ovat 100—120 cm läpimitassa.

Maanpinnalla olevia esineitä tarkastettaessa olisi tietysti epämukavaa nähdä ne ylösalaisin. Senvuoksi lisätään *maakaukoputkessa* objektivin ja okularin välille vielä kolmas kupera linssi, joka kääntää objektivin antaman todellisen kuvan oikeaan asemaan antaen siitä uuden todellisen kuvan, jota sitten okularilla katsotaan.

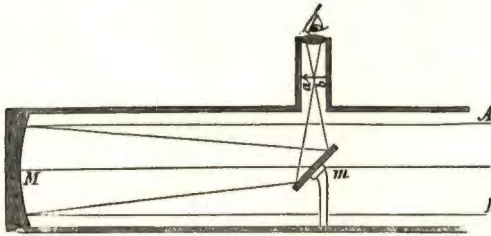
Metallista tehty peilipinta, esim. hopeoitu pinta, heijastaa valonsäteistä noin 95 %, valokuvaussäteistä hiukan vähemmän. Heijastuneen valon voimakkuus kasvaa myös samassa suhteessa



Kuva 176. Gregoryn kaukoputki, MN suuri kovero peili. m pieni kovero peili. Todellinen kuva ab, Okularin antama suurennettu valekuva A'B'.

sa kuin peilin koko. Oli siis luonnollista, että aikaisemmin, kun suurien linssien valmistaminen oli vaikeaa ja kun ei tunnettu keinoja, jolla valon taittuessa ilmaantuva värien hajautuminen oli poistettavissa, käytettiin kaukoputkissa koveroita peilejä, jotka myös antavat todellisia kuvia. Vielä nytkin käytetään niitä samaan tarkoitukseen.

Vuonna 1663 oli Edinburghin professori *James Gregory* julaissut ehdotuksensa rakentaa kaukoputki käyttämällä kahta koveroa peiliä. Kaukoputken pohjana on suuri kovero peili. Se antaisi esineestä todellisen pienennetyn kuvan putken sisällä. Ennenkuin säteet yhtyvät, kohtaavat ne toista putken sisälle asetettua pientä koveroa peiliä, jonka aukeama on käännetty putken pohjaa kohti. Siten syntyy todellinen kuva suuremman peilin keskellä olevaan reikään kiinnitettyssä

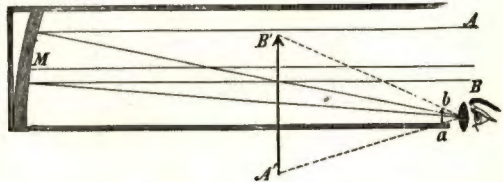


Kuva 177. Newtonin kaukoputki.

putkessa. Kuvaa katsotaan sitten tämän putken päässä olevalla linssillä. Kun kumminkin pienien koveroiden peilienkin valmistaminen oli vaikeaa, ehdotti Newton tuon pienen koveron peilin asemasta käytettäväksi tasaista peiliä, joka muodosti 45° kulman kaukoputken akselin kanssa ja johon suuren koveron peilin säteet sattuvat ennenkuin ne yhtyvät kuvaksi. Tasainen peili heijastaa säteet kaukoputken seinää kohti ja yhtyvät ne kuvaksi seinässä olevassa putkessa, jonka päässä on okularilinssi.

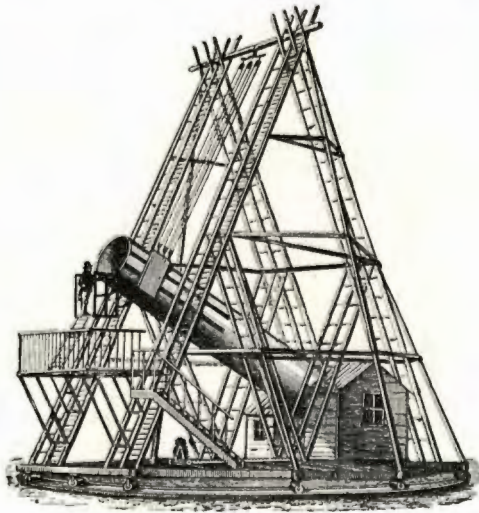
Kuuluisa tähtitieteen tutkija *William Herschel* († 1822) rakensi koko joukon erinomaisia peilikaukoputkia ja teki niillä erittäin arvokkaita havaintoja, muun muassa keksi hän v. 1783 kiertotähden Uranuksen. Suurimman hänen valmistamansa kaukoputken peili oli 2 m läpimitassa. Peili oli putken pohjalla hiukan kallellaan ja säteet yhtyivät todelliseksi kuvaksi putken yläpäässä lähellä sen aukon reunaa. Katsojan täytyi siis, kun okulari oli kiinnitetty putken yläpään reunaan, olla ylhäällä putken yläpäässä ja hänen päänsä peitti osan putken aukkoa, joka seikka näin laajassa putkessa ei kumminkaan merkinnyt mitään. Toinen samaan tapaan rakennettu ja yhtä suuri kaukoputki on vielä olemassa. Sen omistaa Lordi Rosse Parsonstownissa Irlannissa.

Kaikissa valo-opillisissa koneissa tulee valo viime tilassa silmään. Mitä väkevimmillä valo-opillisilla koneilla nähdään, se riippuu lopulta siitä mitä silmä näkee. Näkeminen on erittäin monimut-



Kuva 178. Herschel'in kaukoputki.

kainen ilmiö, jonka todellinen laatu, kuten muittenkin elämän-
 ilmaisumuotojen, on meille vallan tuntematon. Ainoas-
 taan valon kulun silmän läpi tunnemme, mutta miten va-
 lontunne näköhermon päistä kulkee aivoihin ja miten se siel-
 lä järkemme avulla sitten muuttuu itsetietoiseksi näkemiseksi,
 siitä meillä ei ole mitään käsitystä. Varmaa on kumminkin,
 että jokaisen ihmisen täytyy oppia näkemäänkin. Niin hyvin
 vasta syntynyt lapsi kuin myös sokeakin, joka saa näkönsä

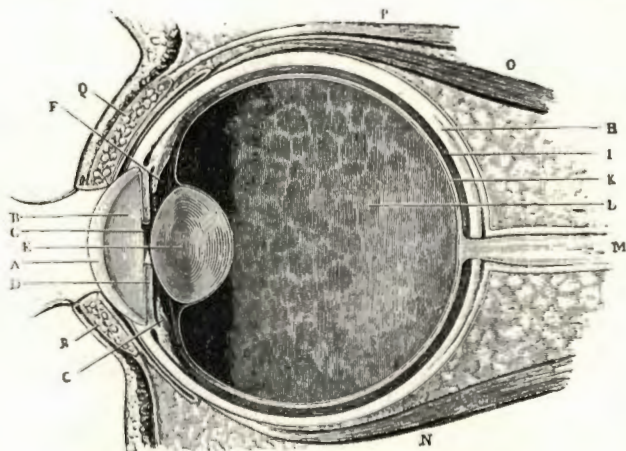


Kuva 179. Herschelin suuri kaukoptki.

esim. silmäleikkauksen kautta, eivät aluksi näe mitään, vaikka
 kyllä valo vaikuttaa heidänkin silmänsä samalla lailla kuin
 »näkevän». Vasta vähitellen oppivat he näkemään ottamalla
 muut aistinsa etupäässä tuntoaistinsa avukseen. Ja kuinka
 eri lailla ihmiset sittenkin käyttävät silmiänsä? Missä yksi nä-
 kee paljonkin yksityisseikkoja, siinä toinen ei huomaa mitään.
 Näkeminenkin on taito, jota harjoituksen kautta voi kehittää
 ja ylläpitää kuten jokaista muutakin kykyä. Etenkin luonnon-
 tutkijalta vaaditaan tällaista kehittyntä näkemisen taitoa,
 sillä hänen työnsä saattaa hänet tekemisiin vaikeasti huomatt-

tavien ominaisuuksien ja ilmiöiden kanssa, joita hänen tulee oikein huomata ja mitatakin.

Ihmisen ja korkeampien eläinten silmä on pallonmuotoinen. Se on lihaksilla kiinnitetty silmäkuoppaan, jossa se voi kääntyä ylös ja alas, oikealle ja vasemmalle. Ulommaisena on kova, valolle melkein läpikuultamaton valkea kalvo, joka etupuolella muuttuu läpinäkyväksi *sarveiskalvoksi*. Kovan kalvon sisällä on *suonikalvo*, jonka tiheät verisuonet muodostavat. Suonikalvon sisällä tapaamme mustan kalvon, *pigmentin*, jon-



Kuva 180. Silmä. A sarveiskalvo. I suonikalvo. K hermokalvo. M näköhermo. B vesineste. D silmäteränkalvo. C silmäterä. E kristallilinsi. L laslainsaine. O ja N lihaksia.

ka tehtävänä on estää valon heijastumista silmän sisäseinistä. Seuraa sitten silmän tärkein kalvo, *hermokalvo*, jossa näköhermon haarat päättyvät soluihin. Näitä soluja on hermokalvossa kahta lajia, voisimme niitä nimittää sauvoiksi ja tapeiksi, sauvat ovat pitempiä, tapit lyhempiä. Nämä tapit, joiden paksuus on noin 0,003 mm, ovat erinomaisen tiheässä hermokalvolla. Keskellä hermokalvoa löytyy niitä 13,000—14,000 yhden neliömillimetrin alalla. Sauvojen päiden päällä on ohut kalvomainen kerros, joka on purppuran värinen silloin, kun valo ei vaikuta silmään. Kalvon pintaa pitkin valuu nimittäin yhtämittäa

nestemäistä ainetta, *näköpurppuraa*, joka valon silmää kohdassa hajoaa ja muuttuu värittömäksi.

Sarveiskalvon takana on *silmäteränkalvo*, joka eri henkilöillä on eri värinen, vaihdellen vaalean sinisestä mustan ruskeaan. Sen keskellä on pyöreä reikä, *silmäterä*. Kuta voimakkaampi silmää kohtaava valo on, sitä pienemmäksi supistuu silmäterä. Sen läpimitta vaihtelee 8—1 mm. Silmäterä päästää siis suurimpana ollessaan 64 kertaa enemmän valoa läpi kuin pienimpänä ollessaan. Silmäterän takana tapamme silmän varsinaisen valo-opillisen osan, *kristallilinssin*. Se on kupera linssi, kimmoavaista ainetta, keskeltä noin 4 mm paksu, etupinta heikommin, takapinta väkevämmin kupera. Sarveiskalvon ja kristallilinssin väli sisältää vesikirkasta nestettä, vesinestettä, ja silmäontelo kristallilinssin takana kimmoavaista, sakeampaa ainetta, lasiasainetta. Silmässä on siis kolme taittavaa pintaa, sarveiskalvon pinta ja kristallilinssin molemmat pinnat. Viiva, joka ajatellaan vedetyksi silmäterän ja kristallilinssin keskipisteiden läpi, on silmän akseli. Sen pituus sarveiskalvosta hermokalvoon on 22 mm.

Valo kohtaa ensin sarveiskalvoa, taittuu vesinesteeseen, siitä hiukan tiheämpään kristallilinssiin ja siitä harvempaan lasiasaineeseen. Hermokalvolla syntyy esineestä pienennetty ylösalaisin käännetty todellinen kuva. Esimerkkinä siitä kuinka suuri kuva hermokalvolla on mainittakoon, että 1 m pituisen esineen, jonka väli silmästä on 10 m, kuva hermokalvolla on noin 1,5 mm pitkä.

Kuva hermokalvolla on ylösalaisin. Miten näemme esi neet kumminkin oikeissa asemissaan? Syynä tähän on yksinomaan tottumus, me emme voi nähdä muulla tavalla, niin olemme elämämme alusta tottuneet siihen, että esineet ovat päinvastaisessa asemassa kuin kuva hermokalvolla. Voimme yksinkertaisella kokeella näyttää tuon tottumuksen voiman. Painamme kynnellä lievästi silmää juuri ohimoluun reunan vierellä. Pimeässä näemme silloin silmän sisällä pienen loistavan kehän. Mutta tämä kehä ei näy sillä paikalla, missä paine lievänä kipuna tuntuu, vaan nenän puolella silmää. Vaistomaisesti sijoitamme tässäkin vaikutuksen hermokalvon vastaiselle puolelle.

Hermokalvon tunnokkaisuus ei ole suinkaan yhtä suuri koko kalvolla. Suurin on tunnokkaisuus sillä paikalla, missä silmän akseli kohtaa kalvoa. Kalvo on tämän pisteen ympärillä väriltään keltainen ja löytyy tällä paikalla ainoastaan hermotappia. Kun halutaan jotakin oikein tarkkaan nähdä, asettuu silmä aina niin, että kuva sattuu juuri tälle paikalle. Sivuille päin vähenee näkemisen tarkkuus hyvinkin pian. Onpa kalvolla paikka, joka on kokonaan sokeakin. Se on se paikka, jossa näköhermo kohtaa hermokalvoa ja josta hermo haarautuu yli koko kalvor.

Kun valo vaikuttaa hermokalvoon, väsy kalvo sillä paikalla, johon valo vaikuttaa. Tämän väsymisen syynä on luultavasti joku kemiallinen ilmiö kalvossa. Väsymyksen seurauksena on, että lyhytkin valaisu, esim. sähkökipinä, näyttää kestävänsä kauemmin kuin se todella kestää. Jos valovaikutukset siis seuraavat toisiansa kyllin nopeasti, niin silmä ei voi niitä enää toisistaan erottaa, vaan näyttää valo yhtenäiseltä. Tätä seikkaa käytetään, kuten jo olemme maininneet, kinematografissa eli biografissa. Jos valo on erittäin voimakas, niin tuo silmän väsyminen kestää kauankin, useampia minutteja, tuntiakin, silmä huikenee. Jos katsomme jotakin kirkkaasti valaistua esinettä hetken ja sitten suljemme silmämme, näemme esineen luonnollisine värineen muutamia sekuntia, sitten vaihtelee sen väri ja vähitellen häviää koko kuva n. s. *jälkikuva*. Että hermokalvo on väsynyt, huomaamme siitäkin, että jos katsomme jotakin valoisaa pintaa, kun jälkikuva vielä silmässä kestää, niin näemme kuvan tällä pinnalla, mutta tummana.

Olemme linseistä puhuessamme maininneet, että kuvan etäisyys linssistä on riippuva esineen etäisyydestä linssistä. Esineen selvän näkemisen ehtona on, että sen kuva lankeaa hermokalvolle. Kristallilinssin ja hermokalvon väli on kuitenkin muuttumaton. Silmän täytyy siis tässä suhteessa olla vallan eri lailla rakennettu kuin valo-opilliset koneemme, joissa kuva saadaan lankeamaan määrätulle pinnalle muuttamalla linssin ja pinnan välimatkaa. Niin onkin. Kristallilinssi on kiinnitetty ohueen kalvoon. Kalvo jännittää linssiä ja antaa sille siten määrätyn muodon. Eräs lihas voi vetää tätä kalvoa eteenpäin, jolloin linssi muuttuu kuperammaksi ja sen polttoväli ly-

henee, kun lihaksen jännitys lakkaa, vetäytyy kalvo entiseen asemaansa, linssi käy litteämmäksi ja polttoväli pitenee. Kauaksi katsominen ei siis vaadi silmältä mitään erityistä työtä, se ei rasita silmää. Kuta lähemmäksi silmää esine tulee sitä kuperammaksi täytyy linssin tulla, sitä enemmän rasittuu silmä. Silmän *sovittamiskyky* (akkommodationikyky) ei ole rajaton. Terve silmä voi sovittua aina äärettömästä välimatkasta noin 25 cm välimatkaan; lähempänä silmää olevaa esinettä ei silmä näe selvään ilman tuntuva rasitusta. Vanhemmalla iällä kovettuu linssi, se ei voi enää saada niin kuperaa muotoa kuin lyhemmillä välimatkoilla näkeminen vaatii, silmä muuttuu *pitkänäköiseksi*. Päinvastainen virhe syntyy silmässä, kun linssi taittaa valoa liian väkevästi, tulee liian kuperaksi. Sellainen virhe tavataan usein niiden henkilöiden silmissä, joiden työ vaatii silmän pitkäaikaista sovittamista verrattain lyhyelle välimatkalle, kuten lukeminen, kirjoittaminen, kaivertaminen j. n. e. Etenkin nuorella iällä syntyy tämä vika helposti, jos tottuu pitämään työtänsä tarpeettoman lähellä silmää, työskentelee huonossa valaistuksessa j. m. s. Molemmat viat voivat syntyä muistakin syistä. Seurauksena näistä vioista on, että henkilön täytyy turvautua silmälasin. Pitkänäköisen tulee nähdäkseen lähellä olevia esineitä käyttää kuperaa linssiä silmän edessä ja likinäköisen nähdäkseen kaukana olevia esineitä koveraa linssiä.

Joskin esineen kuva lankeaa hermokalvolle, niin silmä ei voi kumminkaan aina nähdä esineen yksityiskohtia. Siihen vaaditaan, että esineen kuvalla hermokalvolla on määrätty pienin koko. Olemme nähneet, että hermosauvat ja tapit ovat kylläkin tiheässä hermokalvolla, mutta yhtenäistä pintaa eivät niiden päät kumminkaan muodosta, josta syystä kuva hermokalvolla onkin tavallaan pisteistä kokoonpantu, valo vaikuttaa tiheässä oleviin pisteisiin eikä pintaan. Keltaisessa pilkussa olevien hermotappien läpimitta on noin 0,0015—0,0025 mm. Jos nyt esineestä tuleva valo kuljettuaan silmän läpi aikaansaa hermokalvolla kuvan, jonka läpimitta ei ole suurempi kuin äsken mainitut luvut, niin silmä käsittää kuvan yhtenä ainoana pisteenä, toisin sanoen silmä ei enää näe esinettä. Näin pieneksi tulee esineen kuva hermokalvolla, jos silmästä esineen äärimäisiin pisteisiin vedettyjen viivojen muodostama kulma,

näkökulma, ei ole suurempi kuin 30 kaarisekuntia. Jos 1 m pituinen esine asetetaan noin 6,900 m silmästä, on näkökulma näin suuri. Jos mieli nähdä kaksi pistettä erillään, on siis näkökulma oleva suurempi kuin 30", vähintään noin 50". Tämä on silmän n. s. *erottamiskyky*. Jos 0,06 mm pitkä esine asetetaan selvälle näkömatkalle terveestä silmästä, on näkökulma mainittu kulma. Kaikki nyt sanottu koskee hyvin valaistuja vaaleanvärisiä esineitä, jotka eivät itse säteile valoa. Jos esine itse säteilee valoa tai jos sen pinta on kiilloitettu peilintapainen pinta, kuten kiiltävän metallilangan t. m. s. ja sitä kohtaa kirkas valo, niin voi esineen nähdä, vaikkakin näkökulma on paljon alle mainitun rajan, aina niinkin pieni kuin 5"—1". Kiinnotähdet näemme vaikka näkökulma on mittaamattoman pieni.

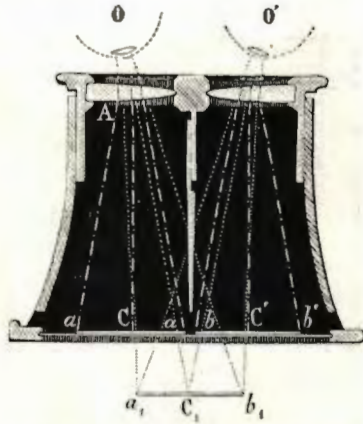
Näkökulma voi käydä pieneksi joko siitä syystä, että esine on todellakin pieni tai siitä syystä, että esine on kaukana silmästä. Edellisessä tapauksessa tulee mikroskopi, jälkimmäisessä kaukoputki käytäntöön silmän apuna.

Olemme nyt puhuneet näkemisestä yhdellä silmällä. Ihmisellä on kuitenkin kaksi silmää ja molemmissa syntyy esineen kuva. Luulisi siis, että näkisimme kaksi esinettä. Niin ei kumminkaan ole asian laita, sillä katsottaessa kahdella silmällä, asettuvat silmien akselit niin, että ne tähtäävät samaa pistettä esineessä. Kuvat molemmissa silmissä lankeavat silloin vallan vastaaville paikoille hermokalvoilla ja sulavat yhteen yhdeksi kuvaksi. Että kuvat ainoastaan tällä ehdolla sulavat yhteen, sen voi pienellä kokeella näyttää. Katsomme jotakin esinettä ja pakoitamme toisen silmän akselin työntämällä sormellamme silmää hiukan ylöspäin tai sivulle päin poistumaan luonnollisesta asemastaan. Akselit eivät nyt ole tähdätyt samaan pisteeseen, eivätkä kuvat lankea vastaaville paikoille hermokalvoilla. Seurauksena on, että näemme kaksi esinettä.

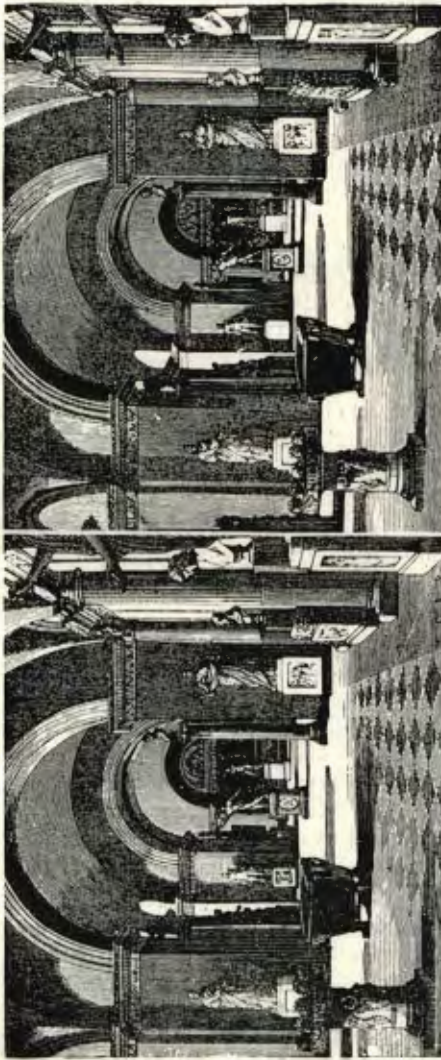
Kahdella silmällä katsomisesta on monta etua yhdellä silmällä katsomiseen nähden. Kun kuvat sulavat yhdeksi, niin valon vaikutus on tietenkin voimakkaampi kuin yhdellä silmällä katsottaessa. Tämä ei kuitenkaan ole suurin etu, mikä kahdella silmällä katsomisesta on. Kun katsomme esinettä yhdellä silmällä, näyttävät esineen eri osat olevan yhdessä ainoassa tasossa, esine ei näytä kappaleelta. Syynä tähän lie-

nee se, että hermokalvolla olevan kuvan kaikki pisteet ovat samalla pinnalla, hermokalvolla. Kun esinettä katsotaan kahdella silmällä, niin oikealla silmällä näemme esineen hiukan oikealta puolelta, vasemmalla hiukan vasemmalta. Kuvat molemmissa silmissä eivät siis ole vallan samanlaiset. Näiden erilaisten kuvien yhteensulaminen aiheuttaa sen, että esine näyttää todellakin kappaleelta.

Löytyy yksinkertainen kone, jolla voimme näyttää, että kaksi tasapinnalle kuvattua kuvaa, joista toinen esittää esinettä sellaisena kuin se näyttää katsottuna oikealla silmällä, toinen sellaisena kuin se näkyy vasempaan silmään, yhteensulaessaan aikaansaavat saman vaikutuksen kuin itse esineen katsominen kahdella silmällä. Tämä kone on *stereoskopi*. Levyyn tehdään kaksi aukkoa, joiden väli on silmien väli toisistaan. Aukkoihin asetetaan kaksi samanlaista prismaa taittavat särmät vastakkain. Kaksi samaa esinettä esittävää kuvaa asetetaan aukkojen eteen ja niitä katsotaan prismojen läpi. Oikeanpuoleisen prisman edessä oleva kuva on sellainen kuin esine oikealla silmällä katsottuna, vasemmanpuoleinen kuva on esine vasemmalla silmällä katsottuna. Valon taittuessa prismojen läpi sulavat molemmat kuvat yhdeksi ja kuvassa näyttävät esineet todellisilta kappaleilta. Tällaisia kuvia valmistetaan tavallisesti valokuvaamalla. Valokuvauskoneessa on silloin kaksi objektivia, joiden väli on silmien väli toisistaan ja valokuvauskone on väliseinällä jaettu kahteen osaan. Valokuvauslevylle saadaan siten kaksi kuvaa vierekkäin, toinen oikealla, toinen vasemmalla silmällä katsottuna. Stereoskopi-kuvissa saa vesi, lasi ja metalliesineet luonnollisen kiiltonsa, jota ne tavallisissa valokuviissa eivät koskaan saa.



Kuva 181. Stereoskopi. aa ja bb kuvat. $a_1 b_1$ molemmat kuvat yhtyneinä.



Kuva 182. Stereoskopikuva.

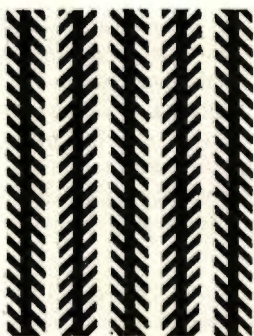
Tavallisella-
kin valokuvaus-
koneella voi val-
mistaa stereosko-
pikuvia siten, et-
tä esineestä ote-
taan ensin yksi
kuva ja sitten
siirretään valoku-
vauskonetta hiu-
kan oikealle tai
vasemmalle ja
otetaan toinen
kuva. Myös täh-
titieteessä on käy-
tetty tapaa val-
mistaa stereosko-
pikuvia taivaan-
kappaleista. Jos
jostakin kiertot-
ähdestä otetaan
kaukoputkella
valokuva ja sit-
ten esim. yhden
vuorokauden ku-
luttua toinen ku-
va, niin stereo-
skopissa nähdään
kiertotähden ole-
van lähempänä
katsojaa kuin
kuvin löytyvät
kiintotähdet, nä-
kee selvästi sen
häilyvän tyhjässä
avaruudessa.

Molempien
silmien käyttämi-
nen on siis vält-

tämätön välimatkojen arvostelemiseen. Jo lyhyitäkin välimatkoja arvostellessa erehtyy helposti, jos käyttää vain yhtä silmää. Lukija koettakoon seuraavaa menettelyä. Henkilö asettuu jonkun matkan päähän seinästä, sulkee toisen silmänsä ja astuu seinää kohti sekä pysähtyy niin kaukana seinästä, että hän ojentamalla käsivartensa voi sormillaan juuri koskettaa seinään. Ainakin kaksi kertaa kolmesta erehtyy, pysähtyy joko liian kauas tai liian lähelle. Molempia silmiä käyttämällä onnistuu tempu helposti.

Välimatkojen arvostelu molempia silmiä käyttämällä tapahtuu ainakin osaksi sen kulman avulla, jonka silmien akselit muodostavat, kun silmät tähtäävät samaa pistettä esineessä. Kuta lähempänä esine on sitä suurempi on tuo kulma. Kuta suurempi silmän ja esineen välimatka on, sitä vähemmän vaikuttaa tuntuvakin muutos välimatkassa mainittuun silmien akselien väliseen kulmaan, sitä vaikeampi on oikein arvostella välimatkaa. Täytyy silloin turvautua muihin apukeinoihin. Voi ensin arvostella välimatkan lähempänä olevaan esineeseen ja sitten siihen verrata välimatkaa kauempana olevaan esineeseen. Missä tällaisia välillä olevia esineitä ei ole, kuten merellä, on pitempien välimatkojen arvosteleminen erittäin vaikea. Myös esineen näennäisen suuruuden mukaan arvostelomme usein välimatkaa.

Kaikellaisia näköhairahduksiakin syntyy välimatkan erilaisesta arvostelusta. Mainittakoon tässä muuan sellainen. Tiedämme kaikki, että aurinko ja kuu taivaanrannalla näyttävät suuremmilta kuin korkealla taivaalla ollessaan. Ilmiö on kumminkin vain näköhairahdus, sillä jos kulmanmittauskoneella mittaamme niiden läpimitan, on se sama oikoonpa sitten aurinko ja kuu taivaanrannalla tai ylhäällä taivaalla. Että ne taivaanrannalla näyttävät suuremmilta, riippuu yksinomaan siitä, että niiden ollessa taivaanrannalla näemme silmän ja taivaankappaleen välillä maanpinnalla olevia esineitä. Me arvostelomme välimatkan näihin taivaankappaleisiin yhtä pitkäksi kuin näköpiiriä rajoittaviin esineihin ja tietämättämme suurennamme niiden näennäisen koon verratessamme niiden suuruutta maanpinnalla olevien esineiden kokoon. Taivaankappaleiden ollessa korkealla taivaalla emme näe mitään esineitä silmän ja tai-



Kuva 183. Näköhairahdus.

vän sinne päin, missä vian suuntaisten välillä, näyttävät yhty-
aukko on. poikkiviivojen muodostamien kulmien

Paitsi esineen muotoa erottaa silmä myös esineiden värin. Miten värien tunteen silmässä otaksutaan syntyvän, siitä puhumme seuraavassa luvussa, jossa otamme puheeksi värit.

XVI.

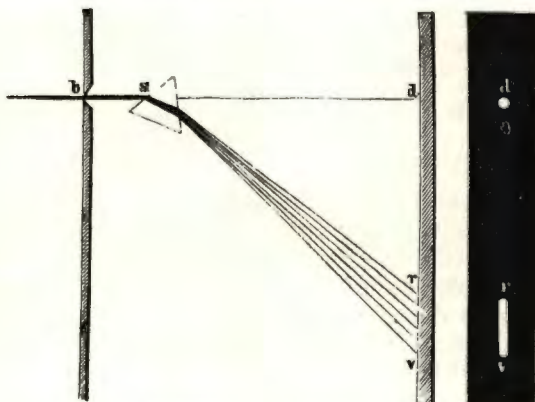
Valon hajoittaminen eri väreiksi. Värien yhdistäminen. Kolmiväripaino. Värien vaikutus silmään. Värisokeus. Kappaleiden värit. Komplementtivärit. Yhtenäinen spektri. Fraunhoferin viivat spektrissä. Spektrianalyysi. Viivaspektri. Imeytymisspektri. Dopplerin sääntö. Saman aineen erilaiset spektrit. Aineen spektrin riippuvaisuus aineen fysikalisisista ja kemiallisista ominaisuuksista. Spektriviivojen säännöllisyys. Vyöspektri.

Olemme edellisessä puhuessamme valon taittumisesta oletaneet, että valo on yksiväristä, sisältää ainoastaan yhtä lajia aaltoja, joilla on sama pituus. Jos valo sisältää eri pitkiä aaltoja, niin etenevät aallot kappaleen molekyylien välisessä eetterissä eri suurella nopeudella, sitä pienemmällä kuta lyhempi aalto on. Seurauksena tästä on, että aallot eivät taitu yhtä paljon; kuta lyhemmät aallot ovat, sitä enemmän ne taittavat.

Olemme jo maininneet Newtonin näyttäneen, että valkea valo kulkiessaan lasiprisman läpi hajoaa eri väreiksi, samoiksi väreiksi, jotka näemme sateenkaudessa ja että Newton huomasi valkeassa valossa *seitsemän* pääväriä: punainen, punaisen-keltainen, keltainen, viheriä, sininen, tummansininen ja sini-punerva. Tavallisesti nykyjään sinistä ja tummansinistä ei pidetä eri värinä. Me sanomme siis valkeassa valossa löytyvän *kuusi* pääväriä. Newtonin koe on helppo uudistaa. Pimeään huoneeseen annetaan pienestä vaakasuorasta aukosta tunkeutua kimppu valkeaa auringon valoa. Valo kohtaa prismaa, jonka taittava särmä olkoon ylöspäin. Prismän takana on valkea varjostin. Varjostimella nähdään silloin aukon kuva venytettyä pystysuoraksi valovyöksi, joka eri paikoilta on eri värinen, ylinnä punainen ja alinna sinipunerva. Värit eivät ole jyrkästi rajoitetut, vaan muuttuu yksi väri vähitellen toiseksi.

Valovyössä on siis todellisuudessa äärettömän monta eri väriä, vaikka nuo mainitut kuusi ovat päävärit. Tällaista valon hajautumisesta syntynyttä värillistä vyötä sanotaan, kuten tiedämme, *spektriiksi* eli *kirjoksi*.

Olemme myös maininneet, että Newton selitti värit eritysteoriansa mukaan siten, että löytyy eri suuria valo-ainehiukkasia ja kuta pienempiä hiukkaset ovat sitä enemmän taittuu kysymyksessä oleva väri ja että värähdysteorian kannalta katsottuna väri on valoon nähden vällän sama asia kuin korkeus

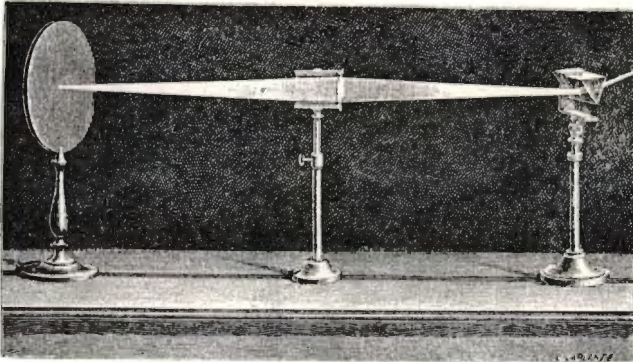


Kuva 184. Valon hajautuminen.

säveleeseen nähden. Kuten sävelen korkeus on riippuva kapaleen värähdysluvusta ja siitä seuraavasta aallonpituudesta, niin on valon värikin riippuva eetterihiukkasten värähdyksien lukumäärästä ja siitä seuraavasta valo-aallon pituudesta. Niiden eetteri-aaltojen pituudet, jotka vaikuttavat näköhermoomme ja jotka siis käsitämme valona, ovat rajojen 0,8 ja 0,4 tuhannesosaa mm välillä. Vastaavat värähdysluvut ovat, kun valon nopeus tyhjässä avaruudessa on 300 tuh. km sekunnissa, noin 400 ja 800 biljonaa värähdystä sekunnissa.

Yhdistämällä spektrin kaikki värit taas yhteen saadaan valkeata valoa. Yhdistäminen voi tapahtua niin, että annetaan spektrin langeta kuperalle linssille. Linssi taittaa hajonneet värit yhteen ja linssin taakse asetetulla varjostimella näem-

me aukon kuvan valkeana. Voi menetellä niinkin, että spektrin värit maalataan ympyräiselle levyille siten, että kahden säteen ja välillä olevan kaaren rajoittama osa ympyrää maalataan samalla värillä. On kumminkin huomattava, että valkean valon spektri ei sisällä noita kuutta tai seitsemää väriä yhtä paljon. Väkevämmin taittuvia värejä viheriää, sinistä ja sinipunaista on enemmän kuin heikommin taittuvia punaista, punakeltaista ja keltaista. Ympyrälohkojen pinta-alojen tulee siis olla verrannolliset värien määrään spektrissä. Kun nyt



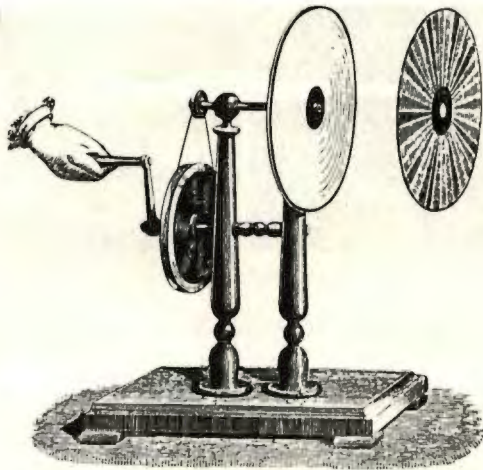
Kuva 185.

Värien yhdistäminen valkeaksi valoksi kuperan linssin avulla.

levy pannaan nopeasti pyörimään, ei silmä erota eri väriä, vaan sulavat ne yhteen valkeaksi tai oikeammin harmaan valkeaksi, sillä maalivärit eivät koskaan ole niin puhtaita kuin spektrin värit, jota paitsi levyllä ei ole päävärien välisiä värejä kuten spektrissä on.

Jos spektrin väreistä jätetään pois joku tai joitakuita ja jäljelle jääneet yhdistetään, niin sekoitus on joku sekaväri. Jokainen maalari tietää, että muutamista pääväreistä voi sekoittamalla saada suuren määrän sekavärejä, vieläpä kaikki luonnossa esiintyvät sekavärit. Tutkimus on näyttänyt, että punainen, keltainen ja sininen ovat ne perusvärit, joita sekoittamalla voidaan saada kaikki spektrin värit. Tämä seikka on saanut käytännön n. s. *kolmiväripainossa* värillisiä kuvia

valmistettaessa. Kuvaa varten valmistetaan kolme painolevyä, jotka kaikki esittävät painettavaa kuvaa. Yksi laatta painetaan ensin paperille punaisella värillä. Sen päälle painetaan toinen laatta keltaisella värillä. Paikottain peittää keltainen väri punaisen, paikottain on väri punainen, paikottain keltainen ja paikottain on kuvalla valkea paperin väri. Tämän punakeltaisen kuvan päälle painetaan vihdoin sininen laatta. Silloin kaikki kolme väriä paikottain peittävät toisensa, paikottain punainen ja keltainen tai punainen ja sininen tai keltainen ja



Kuva 186. Värilevy.

sininen, paikottain on kuvassa ainoastaan punaista tai keltaista tai sinistä tai valkea paperi. Siten saa kuva luonnolliset värit.

Samaa menettelyä on äskettäin *Jolly* käyttänyt yhteydessä taikalyhdyn kanssa. Hän ottaa esineestä kolme valokuvaa, yhden käyttämällä objektivin edessä levyä tai nesteellä täytettyä astiaa, joka päästää lävitsensä ainoastaan punaisia säteitä n. s. värisiivilää, toisen käyttämällä keltaista siivilää ja kolmannen käyttämällä sinistä. Näin saaduista valokuvauslevyistä valmistetaan valokuvia lasille. Valokuvat ovat muutoin samanlaisia, mutta varjo- ja valopaikat ovat niissä erilaiset.

Niinpä punaisella siivilällä otetussa valokuvassa viheriä metsä on melkein musta ja läpikuultamaton, jota vastoin punainen ruusu on melkein valkea ja läpinäkyvä. Keltaisella siivilällä otetussa ja samoin sinisellä otetussa on taas metsä vaalea, läpikuultava, punainen ruusu musta.

Nämä valokuvat asetetaan kolminkertaiseen taikalyhtyyn, jolla on kolme objektiviä vierekkäin. Yhden objektivin ja kuvan väliin asetetaan taas punainen värisiivilä, toisen keltainen ja kolmannen sininen. Vastaavilla siivilöillä otetut valokuvat asetetaan näihin taikalyhtyihin ja kaikki objektivit suunnataan niin, että kaikki kolme kuvaa yhtyvät täydellisesti varjostimella. Kuva nähdään silloin varjostimella luonnollisine värineen, useinkin ihastuttavan kauniina.

Melkein samanlaisen kuin kolmen värin vaikutus kolmi-väripainossa on oletetaan värien vaikutuksen olevan silmässäkin. Jo v. 1807 selitti Young silmän kyvyn käsittää värejä siten, että hän oletti silmässä löytyvän useampaa eri lajia, ainakin kolmea lajia, hermotappia, joista kukin laji on tunnokas etupäässä määrätyle värille. Tätä oppia kehitti edelleen von Helmholtz. Mitään täydellistä varmuutta ei meillä kumminkaan nytkään ole tässä suhteessa. Tukea tälle otaksumiselle antaa se seikka, että löytyy henkilöitä, jotka ovat värisokeita, joiden silmään määrätty väri ei ollenkaan vaikuta. Värisokeus ilmenee punaisen, viheriän ja sinisen eli sinipunaisen sokeutena. Keltaisen sokeita henkilöitä ei ole. Voimme olettaa siis silmässä löytyvän punaiselle, viheriälle ja sinipunervalle tunnokkaita hermotappia ja värikäsityksen syntyvän siitä, että nämä värit kukin vaikuttavat etupäässä juuri kysymyksessä olevalle värille tunnokkasiin hermotappiin. Värisokeuden syynä olisi siis se, että jollekin näistä väreistä tunnokkaat tapit joko puuttuvat silmän hermokalvosta tai ovat syystä tai toisesta menettäneet tunnokkaisuutensa.

Mistä saavat siis kappaleet värinsä, joiden vaikutusta silmään juuri olemme tutkineet? Ennen aikaan oli tiedemiehienkin mielipide väreistä se, että väri on jotakin aineelle omituista, että kappaleen aineella on tuo värinsä läpi koko kappaleen ja että kappaleella on värinsä kaikissa olosuhteissa. Moni luulee ehkä, että niinhän se onkin, on ehkä vakuutettu siitä, että jos viheriä lehti pannaan valoapitävään rasiaan, niin se lehti kyllä

on viheriä siellä rasian sisälläkin, vaikka sitä ei näe. Että asian laita ei niin ole, sen huomaamme helposti. Kun annoimme valkean valon spektrin langeta valkealle varjostimelle, niin varjostin sai punaisen valon kohdalla punaisen värin, keltaisen kohdalla keltaisen j. n. e. Otamme nyt paperiliuskan, jolla auringon valossa on viheriä väri ja kuljetamme sitä läpi koko spektrin punaisesta alkaen. Jos paperilla on puhdas spektrin viheriä väri, niin se kaikissa muissa väreissä on vallan musta, paitsi viheriässä, jossa se on loistavan viheriä. Varjostin on ainetta, jolla on karkea valoa heijastava pinta. Koska kaikki spektrin värit näkyvät varjostimella yhtä hyvin, niin voimme siitä päätätä, että pinta, jolla auringon valossa on valkea väri, heijastaa kaikkia spektrin värejä samassa suhteessa kuin ne spektrissäkin esiintyvät. Tällainenkin pinta imee kyllä osan kutakin väriä, sillä ei ole mitään ainetta olemassa, joka olisi vallan läpikuultamaton säteilylle. Jokaisessa aineessa, yksin metalleissakin, tunkeutuu valosäteily jonkun verran, joskin hyvin ohuen kerroksen läpi, aineeseen. Heijastuminen ei siis tapahdu kappaleen äärimäisellä ulkopinnalla, vaan on heijastunutkin osa valosta kulkenut ohuen ainekerroksen läpi ja tämä kerros imee valosäteilystä muut säteet paitsi ne, joita kappale heijastaa. Koska viheriä paperi näyttää kaikissa muissa väreissä paitsi viheriässä mustalta, niin päätämme siitä, että se imee kaikki muut valonsäteet paitsi viheriät, jotka imeytymättä kulkevat tuon ohuen pintakerroksen läpi ja heijastuvat takaisin kappaleesta. Täydellisesti musta olisi kappale, joka imee kaikki valonsäteet, ei heijasta mitään väriä, ja harmaja on kappale, joka imee suurimman osan kaikista väreistä, mutta heijastaa niistä kustakin osan ja samassa suhteessa kuin väri esiintyy spektrissä. Kuta täydellisemmin kappale heijastaa jotakin väriä ja kuta täydellisemmin se imee muut värit valkeasta valosta sitä selvempi on kappaleen väri. Kappaleen väri katsottuna siltä puolen, mistä valo kappaleetta kohtaa, on siis aina seuraus siitä, mitä säteitä kappale imee. Jos siis kappaleesta heijastuvan valon annetaan kulkea prisman läpi, niin näin saadusta spektristä puuttuvat ne säteet, joita kappale imee.

Peilipinnoilla ei ylipäänsä ole omaa väriä, ne heijastavat kaikki niitä kohtaavat säteet. Kaikista aineista paras tässä suhteessa on hopea. Kiilloitettu kulta sitävastoin antaa val-

SPEKTRI-TAULU.

Auringon
spektri

Natrium

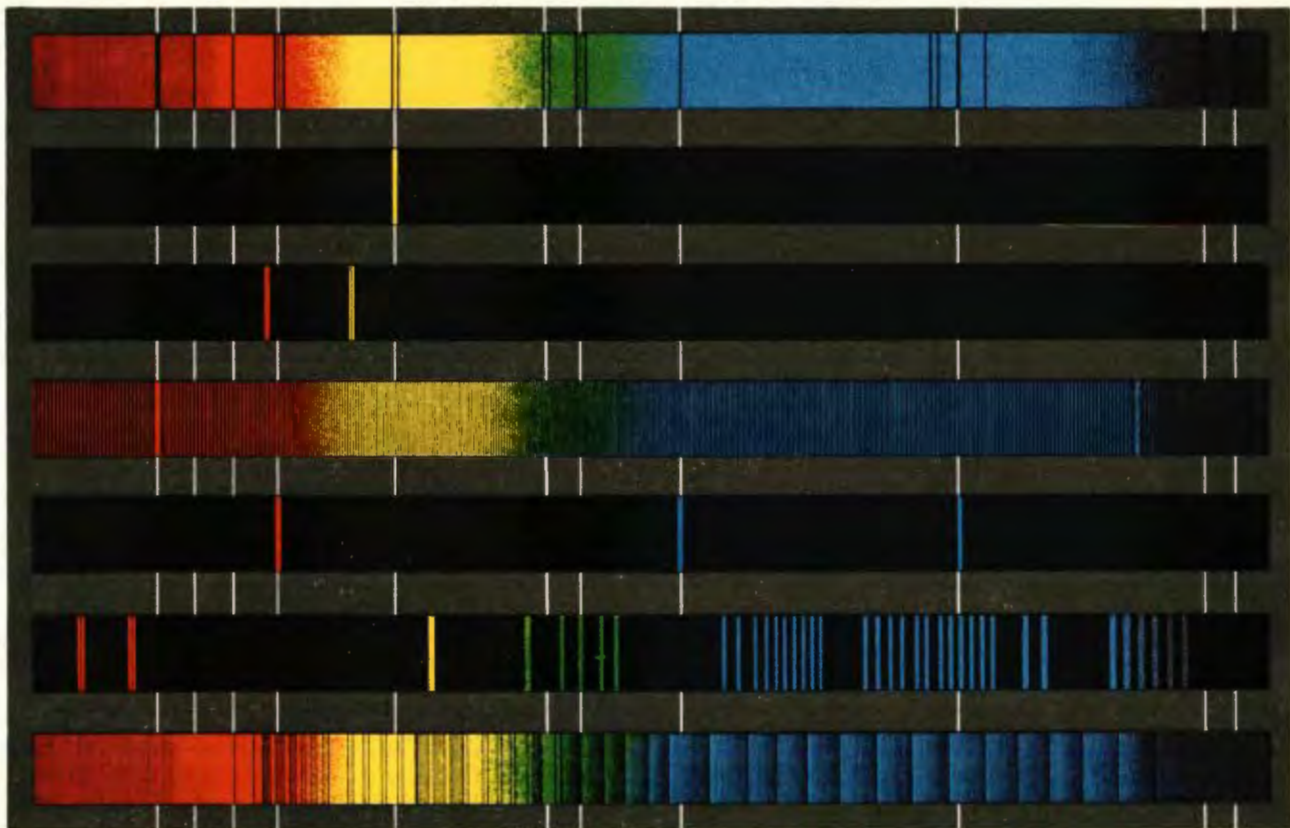
Litium

Kalium

Vety

Happi

Typpi



keistakin esineistä kellertäviä kuvia, se heijastaa parhaiten keltaisia säteitä.

Mitä valolle läpinäkyviin kappaleisiin tulee, niin niiden väri on myös riippuva siitä mitä säteitä aine imee, ainoastaan ne säteet, joita aine ei ime, pääsevät läpi. Senpä vuoksi onkin sellaisilla kappaleilla ylipäänsä sama väri katsottuina niin hyvin siltä puolelta mistä valo niitä kohtaa kuin myös läpikatsottuina. Jos aukkoon, minkä läpi valkea valo tulee prismaan, asetetaan joku värillinen läpikuultava kappale, niin syntyneestä spektristä puuttuvat ne säteet, joita aine imee. Spektrissä löytyvät siis vain ne värit, jota kappale heijastaakin. Koska kappaletta kohtaava valo on valkeaa, niin kappaleen väri ja niiden värien sekoitus, joita se imee, muodostavat yhteensä myös valkeaa. Värejä, jotka sekoitettuna muodostavat valkeaa, sanotaan *komplementtiväreiksi* (täyteväreiksi). Valkean aikaansaamiseksi ei tarvita ehdottomasti spektrin kaikkia värejä. Komplementtivärejä ovat esim. seuraavat väriparit: sinipunerva ja viheriänkeltainen, indigo ja keltainen, kyanisininen ja punaisenkeltainen, viheriänsininen ja punainen, viheriä ja purppura.

Olemme lämpö-opissa maininneet, että jokainen kappale tulee 525° lämpötilassa punaisen hehkuvaksi. Yhä edelleen kuumennettaessa kappaletta muuttuu sen väri, kunnes se noin $1,500^{\circ}$ — $1,600^{\circ}$ lämpötilassa on valkean hehkuva. Jos tätä lämpötilan kohoamista tarkastetaan kappaleesta säteilevän valon spektrin avulla, niin huomaamme spektrissä ensin vain punaisen värin. Sittemmin tulevat muut spektrin värit lisäksi ja valkean hehkuvana antaa kappale spektrin, jossa kaikki värit seuraavat toisiansa katkeamatta. Sellaisesta spektriä nimitetään *yhtenäiseksi* spektriiksi. Kaikki kiinteät ja sulat kappaleet antavat, olkoonpa niiden kemiallinen kokoomus mikä hyvänsä, samanlaisen spektrin eikä kappaleen spektristä siis voi laisinkaan päättää mitä ainetta hehkuva kappale on.

Tunnettu valo-opillisten koneiden valmistaja *Fraunhofer* († 1826) Münchenissä koetteli tyytymättömänä sen aikaisilla tähtitieteellisillä kaukoputkilla saavutettuihin tuloksiin parantaa niitä ja kokeili senvuoksi erilaisilla lasilajeilla tutkia akseen niiden värien hajoituskyyä. Sitä varten oli hän teh-

nyt pimeään huoneen akkunaluukkuun kaitaisen raon ja asettanut kaukoputken niin, että hän kaukoputkessa näki tarkan aukon kuvan, kun auringon valo tunki aukosta huoneeseen. Kaukoputken eteen asetti hän prisman, jonka taittava särmä oli pystysuorassa asennossa. Kääntämällä kaukoputkea voi hän siten tarkastaa koko prisman synnyttämää spektriä. Hämmentykseen huomasi hän (v. 1814) näin saadussa erittäin selvässä spektrissä poikittaisia tummia viivoja, jotka sitten ovat saaneet nimen *Fraunhoferin viivat*. Jo v. 1802 oli tosin englantilainen *Wollaston* nähnyt samat viivat tehdessään saman kokeen kuin Fraunhofer, kuitenkin kaukoputkea käyttämättä, mutta hän ei ollut ymmärtänyt tätä havaintoaan sen kauemmaksi kehittää. Fraunhofer merkitsi keksimiään viivoja aakkosiston suurilla kirjaimilla A, B, C, j. n. e.

Samalla huomasi Fraunhofer myös kuinka erinomaisen keinoon nämä viivat tarjoavat jonkun määrätyn spektrin kohdan taite-eksponentin määräämiseen.

Näiden auringon spektrissä esiintyvien tummien viivojen selittäminen teki vaikeuksia. Erityisiä tarkoituksia varten, etenkin ilotulituksissa, oli jo kauan käytetty värillisiä liekkejä. Tiedettiin, että alkuaine strontium antaa liekille punaisen, barium viheriän värin ja että liekki, johon pannaan keittosuolaa tai soodaa, saa keltaisen värin. Jos aukkoa, josta valo tunkeutuu prismaan, valaistiin tällaisella värillisellä liekillä, niin spektrissä huomattiin yksi tai useampia värillisiä viivoja. Erittäin oli Fraunhofer huomannut, että keittosuolaa liekkiin pantaessa liekki antoi yhden ainoan keltaisen viivan, paitsi heikkoa yhtenäistä spektriä, jonka väkiviinalampun liekki itse antoi. Vielä oli hän huomannut, että tämän keltaisen viivan taite-eksponentti oli vallan yhtä suuri kuin tumman viivan D auringon spektrissä.

Kun tietty aine aina antoi määrättyt muuttumattomat viivat spektriin, niin englantilaiset *Talbot* ja *John Herschel* lausivat v. 1826 sen arvelun, että jokaisen alkuaineen spektrissä on aina määrätty sille aineelle omituiset viivat, kun aine on hehkuvana kaasuna, ja että näitä viivoja voisi käyttää hyväkseen, kun on näytettävä, että liekki sisältää pieniä määriä jotakin ainetta. Tämän ajatuksen toteuttaminen edellytti, että alkuaineiden spektrit olivat tarkoin tunnetut ja senvuoksi tut-

kimus tällä alalla suuntautuikin etupäässä aineiden spektrien tutkimiseen. Vasta v. 1860 lausuvat Heidelbergin professorit *Bunsen* († 1899) ja *Kirchhoff* († 1887) ensimmäisinä selvästi sen lain, että loistavat viivat hehkuvan kaasun spektrissä riippuvat yksinomaan kaasun kemiallisesta kokoomuksesta ja että kaasun kemiallisen kokoomuksen voi täydellä varmuudella saada selville sen spek-



Kuva 187. Robert Kirchhoff.

rissä esiintyvien viivojen luvusta ja asemasta spektrissä. Tämä laki sisältää *Spektrianalysin* perusteen, tieteen, joka epäilemättä tarjoaa meille tunnokkaimman keinon mitä meillä on aineen kokoomuksen tutkimista varten ja jonka tutkimusala ei ole rajoitettu ainoastaan maanpinnalla löytyviin aineisiin, vaan sallii se meidän täydellä varmuudella ratkaista mitä aineita kaukaisimmissa, taivaan pohjattomassa avaruudessa tuikkivissa, tähdissä on, joista tähdistä tuo nopea sanansaattaja valo, joka meille kaiken tämän kertoo, on ollut matkalla ehkä kymmeniätuhansia vuosia. Esimerkkinä siitä kuinka tunnokas tutkimuskeino spektralianalyysi on mainittakoon, että jo *Bunsen* löysi sen avulla kaksi uutta metallia *Dyrkheimin* kivennäislähteen vedessä. Vedessä on näiden metallien klooriyhdistyksiä niin paljon, että kilogramma vettä sisältää mainittuja yhdistyksiä yhteensä 0,4 milligrammaa.

Miten on sitten selitettävissä, että jokainen kiinteä tai sula kappale valkean hehkuvana antaa yhtenäisen spektrin, kaasut vain kullekin kaasulle omituiset loistavat viivat, n. s.

viivaspektrin, ja mistä syntyvät Fraunhoferin viivat aurin-
gon spektriin?

Olemme usein olleet tilaisuudessa vertaamaan valo-ilmiöitä ääni-opista tunnettuihin ilmiöihin. Tässäkin tulemme parhaiten asian perille tekemällä samalla lailla.

Kappale, joka ei voi vapaasti suorittaa värähdyksiä, ei voi antaa säveltä. Jos se saatetaan väräjämään, niin sen eri osat väräjävät eri lailla ja seurauksena on koko joukko erilaisia säveliä, jotka sekoittuvat seka-ääneksi. Tiedämme, että lämpö on kappaleen molekyylien väräjämistä. Molekyylien väräjäminen vaikuttaa eetterimolekyleihin, jotka myös joutuvat väräjävään liikkeeseen, ja kun värähdykset ovat kyllin nopeita, säteilee kappale valoa. Jos nyt kappale on kiinteä, ovat sen molekyylit sidotut toisiinsa, ne eivät voi suorittaa värähdyksiään vapaasti, syntyy erilaisia värähdyksiä, hitaampia ja nopeampia. Eetterimolekyylit joutuvat samanlaiseen värähdykseen ja seurauksena on, että kappaleesta säteilee eri pitkiä eetteri-aaltoja. Kappale säteilee valkeaa valoa ja spektri on yhtenäinen. Vallan sama on asianlaita sulissakin kappaleissa.

Vallan toinen on asian laita hehkuvissa kaasuisa. Kuten tiedämme ovat kaasujen molekyylit vapaita toisistaan. Ne voivat suorittaa vallan säännöllisiä värähdyksiä, jolloin värähdysluku pysyy muuttumattomana, aivan niinkuin ääniraudan tai heilurin heilahdukset ovat muuttumattomia. Niinkuin äänirauta, jolla on määrätty koko, pituus ja paksuus, antaa määrätyn sävelen, niin hehkuvan kaasunkin molekyylien väräjäminen synnyttää valo-aaltoja, joilla on määrätty pituus, määrätty väri, joka aallon pituus on riippuva kaasun molekyylien fysikalisisista ominaisuuksista, toisin sanoen, eri alkuaineiden spektrissä huomataan, kun aineet ovat hehkuvina kaasui-
na, eri paikoille spektriä lankeavia loistavia viivoja.

Tiedämme, että väräjävä kappale, joskaan ei äänirauta, ei anna yhtä ainoata säveltä, vaan koko joukon säveliä, nimittäin perussävelen ja sen sointuisat yli-äännet, ja että näistä yli-ään-
nistä on sävelen sointi riippuva. Samalla lailla voivat kaasun molekyylit suorittaa koko joukon erilaisia värähdyksiä, kaasu voi säteillä eri pitkiä valo-aaltoja. Saman kaasun spektrissä voi siis löytyä suuri lukumäärä viivoja, voipa niiden luku-

määrä nousta tuhansiinkin. Me voimme siis silmällämme nähdä valosävelen, jos niin voimme sanoa, soinnin, kuten korvallamme kuulemme äänisävelen soinnin.

Vielä on meidän selitettävä nuo tummat Fraunhoferin viivat. Turvaudumme tässäkin ääni-oppiin. Tunnumme ääniopista sen ilmiön, joka käy nimellä resonanssi eli kumu. Jos meillä on kaksi äänirautaa, jotka antavat saman sävelen, ja panemme toisen soimaan, niin toinenkin ääntää, vaikka siihen emme laisinkaan koske. Ensimmäisestä leviävät ääni-aallot painavat toisenkin väräjämään, mutta ainoastaan sillä ehdolla, että molemmilla on sama värähdysluku. Saattamaan toisenkin ääniraudan väräjämään tarvitaan joku määrä energiaa ja tämän energiamäärän luovuttaa äänirautaa kohtaava ääni-aalto. Tämän ääni-aallon täytyy senvuoksi jonkun verran heikota, ensimmäisen ääniraudan sävelen kuulua heikommalta. Tämän toiseikan kokeellinen näyttäminen kahdella ääniraudalla on kumminkin mahdotonta.

Mutta voisimme ajatella kokeen järjestetyksi toisella tavalla. Ajattelemme kaksi huonetta ja niiden välillä seinän, jonka läpi ääni ei tunkeudu. Seinässä on aukko ja aukossa kimmoava levymäinen kieli, joka melkein peittää aukon ja joka antaa jonkun määrätyn sävelen, kun se väräjä. Nyt soittamme yhdessä huoneessa eri säveliä. Lähellä aukkoa kuuluvat sävelet toisessakin huoneessa. Kun soitossa sattuu se sävel, jonka aukossa oleva kieli antaa, näemme, että kieli alkaa väräjämään, mutta samalla huomaamme, että tämä sävel kuuluu heikompana kuin muut sävelet, voipipa käydä kokonaan kuulumattomaksikin. Jos asettaisimme seinään aukkoihin useampia kieliä, jotka antavat eri säveliä, ja soittaisimme yhdessä huoneessa jonkun soittokappaleen, niin toisessa huoneessa soittoa kuultaessa, huomattaisiin soittokappaleesta puuttuvan ne sävelet, joilla on sama värähdysluku kuin kiellillä.

Nyt sovitamme tämän valoon. Jostakin kiinteästä tai sulasta aineesta lähtevä valo on soittokappale, joka sisältää kaikkia silmään vaikuttavia valosäveliä, valo-aaltoja. Aukossa olevaa kieltä vastaa joku hehkuva kaasu, jonka läpi tuon kappaleesta säteilevän valon täytyy kulkea, ennenkuin se saapuu meidän prismaan. Useimmat aaltolajit kulkevat esteettömästi kaasun läpi, mutta ne aallot, jotka ovat yhtä pitkiä kuin heh-

kuvan kaasun säteilemät aallot luovuttavat energiansa kaasun molekyyleille ja heikkonevat siten tai pidättää kaasu ne kokonaan. Kappaleen spektristä puuttuvat siis nämä värit tai ainakin näyttävät ne verrattuina muihin spektrin osiin huomattavasti heikommilta. Seurauksena on, että spektriin syntyy tummia viivoja samoille paikoille, missä hehkuvan kaasun loistavat viivat olisivat, jos kaasu yksin olisi valolähteenä. Hehkuva kaasu imee sen läpi kulkevasta valkeasta valosta ne säteet, joita kaasu itse säteilee. Tällainen spektri saa senvuoksi nimen *imeytymisspektri* (absorbtiionspektri). Tämä selittää täydellisesti Fraunhoferin viivat auringon spektrissä. Aurinko itse on kiinteän ja sulan muodon välisessä tilassa ja säteilee valkeata valoa. Kehä hehkuvia kaasuja ympäröi aurinkoa kuten ilmakehä maata. Kun valkea valo kulkee tämän kaasukerroksen läpi, imeytyy siihen valkeasta valosta ne säteet, joita kaasut itse säteilevät. Fraunhoferin viivoista voimme siis päättää, mitä alkuaineita aurinkoa ympäröivässä hehkuvassa kaasukehässä on. Samalla lailla voimme tutkia muidenkin auringoiden, kiintotähtien, aineellista kokoomusta. Näiden tutkimuksien tuloksien selittäminen kuuluu kumminkin tähtitieteelle.

Olemme sanoneet, että Fraunhoferin viivat spektrissä ovat tummia. Tämä ei ole kumminkaan käsitettävä niin, että niistä valo kokonaan puuttuisi. Onhan selvää, että viivojen kohdalla on tuon hehkuvan kaasun valo. Mutta jos kiinteän kappaleen valo on voimakkaampi kuin kaasun valo, niin näyttävät viivat muihin spektrin väreihin nähden, jotka esteettämästi kulkevat kaasun läpi, tummilta. Kuta korkeampi aineen lämpötila on sitä kirkkaampaa valoa säteilee aine. Jos siis spektrissä huomataan tummia viivoja, niin voimme siitä päättää, että valkeata valoa säteilevän kappaleen lämpötila on korkeampi kuin sen kaasun, jonka läpi valkea valo on kulkenut. Päinvastoin jos kaasun lämpötila on korkeampi, niin se säteilee voimakkaampaa valoa kuin kiinteä kappale ja silloin näkyvät kaasun viivat spektrissä kirkkaampina kuin kiinteän kappaleen yhtenäinen spektri. Saamme siis jatkuvaan spektriin loistavia viivoja. Jos vihdoin kiinteän aineen ja kaasun lämpötila olisi vallan sama, niin spektrissä emme näe tummia emmekä loistaviakaan viivoja. Spektristä emme sil-

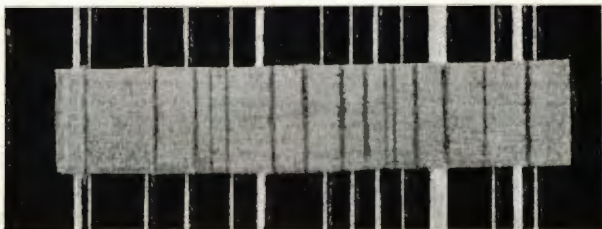
loin voi ollenkaan päättää onko valkea valo kulkenut hehkuvan kaasun läpi.

Niinkauan kuin valoa säteilevän kaasun lämpötila on verrattain alhainen, ovat sen spektriviivat tarkoin rajoitetut. Jos kaasun lämpötilaa korotetaan tai jos kaasua puristetaan kokoon, niin huomataan, että spektriviivat laajenevat ja niiden reunat käyvät epäselviksi. Yhä edelleen kaasua kokoonpuristettaessa leviävät viivat siinä määrin, että ne vähitellen sulavat yhteen ja vihdoin saamme kaasustakin ytenäisen spektrin. Kun näet lämpötila on alhainen, niin molekyylien värähdyksien värähdysväli on verrattain pieni. Lämpötilan kohotessa kasvaa värähdysväli. Nämä voimakkaat värähdykset synnyttävät kaasun molekyleissä myös värähdyksiä, joiden värähdysluku on melkein yhtä suuri kuin väräjävien molekyylien. Samalla lailla voi äänirautakin, joka tekee esim. 400 värähdystä sekunnissa, saada toisen ääniraudan, jonka värähdysluku on 401, ajottain väräjäämään. Sillä aina 200 värähdykseen saakka lisäävät edellisestä leviävät aallot jälkimäisen liikettä ja vasta sen jälkeen vastustavat ne tätä liikettä, sen jälkeen taas vahvistavat j. n. e. Että kaasun kokoonpuristaminen vaikuttaa spektriviivojen laajenemisen, on luonnollista, sillä kaasua kokoonpuristettaessa lähestyvät sen molekyylit yhä enemmän toisiansa, ne eivät enää voi suorittaa vapaita värähdyksiä, vaan syntyy kaasussa kuten kiinteissä kappaleissa erilaisia värähdyksiä, josta on seurauksena yhä uusia valo-aaltoja.

Spektriviivojen asema spektrissä on muuttumaton niinkauan kuin valolähteen ja silmän välimatka pysyy muuttumattomana. Mutta jos valolähde loittonee silmästä tai lähestyy silmää, niin huomaamme valoonkin nähden saman ilmiön, josta jo ääni-opissa puhuimme ja joka kävi nimellä Dopplerin sääntö. Valolähteen loittoneemis- tai lähestymisnopeuden täytyy, kun sääntö on sovitettava valoon, olla kumminkin paljoakin suurempi kuin ääntä synnyttävän kappaleen nopeus, kilometrejä sekunnissa metrien asemasta. Kun valolähde loittonee, niin saapuu silmään sekunnissa pienempi luku valo-aaltoja, kuin valolähteen ja silmän välimatkan pysyessä muuttumattomana. Spektriviivat siirtyvät kaikki punaiseen päähän päin Valolähteen lähestyessä taas siirtyvät viivat spektrin sinipu-

nervaan päähän päin. Sama on tietysti tulos, jos katsoja loittonee tai lähestyy ja valolähde pysyy paikallaan.

Maan pinnalla ei tietysti tavata niin suuria nopeuksia, että tämä viivojen siirtyminen tulisi näkyviin. Ainoastaan taivaankappaleiden liike on kyllin nopea aikaansaamaan tämän ilmiön. Jo v. 1848 huomautti ranskalainen Fizeau sitä seikkaa, että tähtien liikkeen maata kohti tai maasta pois päin täytyy vaikuttaa viivojen siirtymistä niiden spektrissä, mutta samalla huomautti hän myös, kuinka vaikeaa tulee olemaan mitata tätä siirtymistä, sillä taivaankappaleidenkin nopeus on pieni verrattuna valon nopeuteen. Vasta v. 1867 ryhtyi Huggins tällaisiin mittauksiin ja v. 1871 Vogel. Molemmat



Kuva 188. Osa raudan spektriä ja kiintotähden spektriä valokuvatut samalle levyille. Tähti loittonee maasta $72 \frac{\text{km}}{\text{sek}}$.

huomasivat mittaukset erittäin vaikeiksi. Vuodesta 1888 alkaen, jolloin Vogel ryhtyi valokuvauksen avulla määräämään viivojen siirtymistä, on tiede tälläkin alalla edistynyt nopein askelin. Tähtien spektri ja jonkun aineen, tavallisesti raudan, jonka spektrissä on runsaasti viivoja, valokuvataan samalle levyille. Spektriviivojen siirtymisen vastaaviin raudan viivoihin nähden voi silloin huomata selvästi jo silmäläkin. Tutkimuksien tuloksien laajempi selittäminen ei kuulu kumminkaan tähän. Mainittakoon vain pari esimerkkiä. Aldebaran loittonee meistä nopeudella $49 \frac{\text{km}}{\text{sek}}$, Sirius lähestyy meitä $9 \frac{\text{km}}{\text{sek}}$ ja Vega $15 \frac{\text{km}}{\text{sek}}$; kaikki luvut Vogelin ja Scheinerin tutkimuksien mukaan.

Olisi väärin luulla, että aineiden spektrit aina esiintyvät vallan niin yksinkertaisina kuin edellisessä olemme kertoneet.

Viimeksikuluneiden vuosikymmenien ahkerat tutkimukset tällä alalla ovat päinvastoin vieneet yhä uusiin ilmiöihin ja uusiin arvoituksiin. On kyllä kieltämätön totuus, että kullakin alkuaineella ja myös alkuaineiden yhdistyksillä, jotka hajomatta kestävät sen lämpötilan, mikä valon säteilyä varten on tarpeellinen, on oma spektrinsä, josta aine ilman vähintäkään epäilystä tunnetaan, mutta voimme myös sanoa, että kullakin aineella ei ole vain yksi spektri, vaan useampia, riippuen siitä tavasta, jolla aine saatetaan siihen tilaan, että se säteilee valoa. Aineen eri spektrit voivat olla aivan erilaiset tai on niillä yhteisiä viivoja ja niiden lisäksi kullakin spektrillä omituiset viivansa.

Aineen voi saada valoa säteilemään neljällä eri tavalla. Aineet, jotka jo alhaisessa lämpötilassa ovat kaasuja tai helposti muuttuvat kaasuiksi, voi saada valoa säteilemään sulkemalla ne lasiputkeen, jonka päiden läpi johdetaan putken lasiin sulatetut platinalangat, n. s. Geisslerin putkeen. Putken läpi johdetaan sähkövirta.

Korkeampi lämpötila saadaan liekkiä käyttämällä, etupäässä n. s. Bunsenin kaasuliekkiä. Se on valokaasuliekki, jonka sisään johdetaan ilmavirta. Sellaisessa liekissä on palaminen varsin täydellinen ja liekki itse loistaa heikolla valolla.

Vieläkin korkeampi kuumuus saadaan käyttämällä sähköistä valokaarta, joka syntyy kahden hiukan toisistaan erillään olevan hiilitangon välille, kun väkevä sähkövirta kulkee niiden läpi. Neljäs tapa on melkein samanlainen. Sähkö purkautuu kipinästä itse aineesta tehtyjen kärkien välillä. Ei löydy mitään ainetta, jota ei näillä kahdella keinolla voisi saattaa hehkuvan kaasun muotoon.

Yksinomaanko eri korkea lämpötila aiheuttaa saman alkuaineen erilaiset spektrit tai myötävaikuttavatko ehkä, etenkin kahdella viimeainitulla tavalla sähköä käytettäessä, muutkin seikat tähän, siitä ei meillä ole varmaa tietoa. Nykyjään annetaan tässä suhteessa lämpötilalle ehkä suurempi merkitys kuin aikaisemmin. Tämä alkuaineiden spektrien vaihtelevaisuus vaikeuttaa suuresti määrin tutkimuksia, jotka tarkoittavat saada selville yhteyttä aineen fysikalisten ja kemiallisten ominaisuuksien yhdeltä puolen ja sen spektrin välillä toiselta puolen. Vasta sitten kun kaikkien tunnettu-

jen aineiden spektrit eri säteilytiloissa ovat täydellisesti tutkitut, voi toivoa tuloksia tässäkin suhteessa.

Kemiasta on tunnettu, että alkuaineet voi järjestää n. s. luonnolliseksi järjestelmäksi. Venäläinen kemisti *Mendelejeff* on ensimmäisenä laatinut sellaisen järjestelmän. Järjestelmän voi sovittaa taulun muotoon, jossa aineet ovat järjestetyt vaakasuoriin riveihin atomipainon mukaan siten, että aineet, joilla on samanlaiset fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet tulevat taulussa samaan pystysuoraan riviin. Tämän saavuttamiseksi täytyy tauluun kyllä jättää paikottain aukkojakin, sillä emme vielä tunne kaikkia alkuaineita. Jos tähän luonnolliseen järjestelmään merkitään myös viivojen lukumäärä kunkin aineen spektrissä, niin huomataan, että viivojen luku kasvaa atomipainon kasvaessa. Otamme muutamia keskiarvoja, vaikka itse taulua emme tähän pane. Ensimmäisessä rivissä olevien aineiden atomipainojen keskiarvo on 13, aineiden spektriviivojen lukumäärien keskiarvo on 32, kolmannessa rivissä 50 ja 985, viidennessä 94 ja 995, seitsemännessä 143 ja 949, yhdeksännessä 187 ja 1,322 ja yhdennessätoista 237 ja 3,670. Poikkeuksia kyllä löytyy, kuten ylläolevista luvuistakin jo nähdään, mutta syynä tähän lienee sekä se, että aineiden spektrit eivät ole koko niiden ulottuvaisuudessa tutkitut, osaksi se seikka, että monella aineella on koko joukko niin heikkoja spektriviivoja, että on vaikea niitä huomata, ja vihdoin se, että emme tunne kaikkia alkuaineita, taulussa on aukkoja. Kaikkien aineiden viivojen luku lienee noin 70,000 sen mukaan mitä nykyjään tiedetään.

Voisimme vielä kysyä: onko tultu mihinkään tuloksiin saman aineen spektriviivoihin nähden, noudattavatko ne mitä niiden paikkaan spektrissä tulee jotakin määrättyä lakia, vai onko niiden asema spektrissä vallan satunnainen? Ylipäänsä on huomattava, että aineiden spektriviivojen luku kasvaa spektrin punasinervää päätä kohti, verrattain harvoja viivoja on punaisen pään puoleisissa väreissä. On kyllä huomattu säännöllisyyttäkin aineen spektriviivojen asemassa. Niinpä vetykaasun spektrissä. Viivat alkavat punaisesta ja jatkuvat säännöllisesti punasinervään. Niiden väli käy yhä pienemmäksi. Jo v. 1885 esitti *Balmer* kaavan, jonka mukaan vetykaasun spektriviivojen aseman voi laskeakin.

Kuinka tarkkaan tämä kaava esittää viivojen paikkaa spektrissä, näkyy muutamista luvuista. Viivaa vastaavan valoaallon pituus havainnon mukaan: 0,65650 tuh. osaa mm, laskun mukaan: 0,65650, havainnon mukaan: 0,38368, laskun mukaan 0,38367 j. n. e. Samanlaisia kaavoja on löydetty muillekin alkuaineille, vaikka ei niin yksinkertaista kuin vedylle.

Monen alkuaineen viivat esiintyvät ryhminä, kaksi, kolme ja useampiakin viivoja ryhmässään ja tällainen ryhmä uudistuu spektrissä aina uudelleen. Ovatpa sellaisen viivaryhmän viivat välistä niinkin tiheässä, että ne sulavat yhteen muodostaen spektriin vöitä. Sellainen *vyöspektri* on esim. barium-metallilla.

Eri aineiden spektriviivojen tarkastaminen veisi meidät tässä liian kauaksi. Riittääköön, kun mainitsemme viivojen lukumäärän muutamien aineiden spektrissä. Vedyllä on kaksi spektriä, toisessa on 29 viivaa, toisessa noin 130. Samoin on hapen laita, jolla paitsi kahta viivaspektriä on vielä kolme vyöspektriä. Sähkökipinän kulkiessa hapen läpi saadaan 104 viivaa. Elohopean spektrissä on 94, kuparin 290, hiilen 58, raudan 1,517 ja uranin 5,270 viivaa.

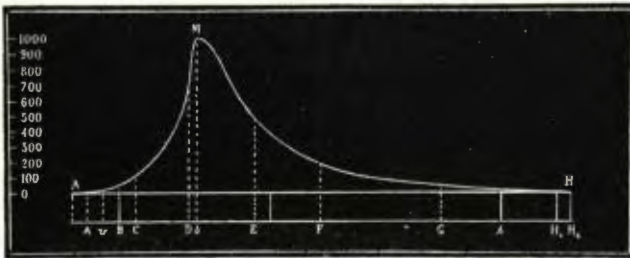
XVII.

Ultrapunainen ja ultrasinipunerva spektri. Spektroskopi. Suoraan hajoittava prisma. Hilaspektrit. Valoaallon pituuden määrittäminen. Aineen taittamis- ja hajoittamiskyky. Akromatiinen prisma ja linssi. Valon kemiallinen vaikutus. Valokuvaus. Värien valokuvaus. Fluoresenssi- ja fosforesenssi. Valoilmiöt ilmakehässä. Kangastus. Taivaan väri. Aamu- ja iltarusko. Saateenkaari.

Olemme jo ennen maininneet, että valosäteily on vain noin $\frac{1}{600}$ kappaleen koko säteilystä. Löytyy kuten tiedämme myös lämpösäteily ja paitsi sitä kemiallinen säteily. Valon samalla lailla kuin valonsäteet voimme hajoittaa myös lämpösäteet ja kemialliset säteet niiden eri suuren taittuvaisuuden avulla. Osaksi voi tämä tapahtua lasiprismalla ja silmällä nähtävällä spektrillä onkin sekä lämpövaikutuksia että kemiallisia vaikutuksia. Jos tarkastamme näiden kolmen säteilyn vaikutuksen voimakkuutta näkyvässä spektrissä, niin huomaamme, että ne eivät suinkaan muutu samalla lailla. Voimakkaimman valon kohtaamme spektrin keskikohdalla keltaisessa ja viheriässä värissä, voimakkaimman lämmön punaisessa ja tehokkaimmat kemialliset säteet sinisessä ja sinipunervassa. Mutta lämpösäteily ei loppu siinä, missä punainen valo loppuu, lämpösäteitä tapaamme vielä kauas ulkopuolelle punaista väriä. On olemassa siis näkyvän spektrin jatko ulkopuolelle punaista väriä n. s. *ultrapunainen* (ulkopunainen) spektri. Samoin ulottuu kemiallinen säteily ulkopuolelle sinipunaista muodostaen *ultrasinipunervan* spektrin. Lämpösäteilyn on huomattu ulottuvan aina aallonpituudesta 0,10000 mm läpi koko näkyvän spektrin ja aina aallonpituuteen 0,00018 mm, siis ultrasinipunervaankin spektriin. Kauemmaksi ei sitä ole voitu seurata, sillä niin lyhyille aalloille on jo ilma hyvinkin

ohuina kerroksina läpäisemätön. Kemialliset säteet alkavat näkyvässä spektrissä aallon pituudella 0,00050 mm. Kuinka kauas ultrasinipunerva spektri ulottuu, siitä ei meillä ole varmaa tietoa, ehkä aallonpituuteen 0,00010 mm.

Ultrapunaisen ja ultrasinipunervan spektrin tutkimiseen ei lasiprisma sovellu hyvin. Tiedämme lämpö-opista, että lasi ei päästä lävitsensä pimeitä lämpö-säteitä. Samoin imee se kemiallisista säteistä suuren osan. Ultrapunaisen spektrin tutkimista varten käytetään vuorisuolaprismaa ja ultrasinipunervan tutkimiseen vuorikideprismaa. Ultrasinipunervan spektrin tutkiminen on paljon helpompi kuin ultrapunaisen,



Kuva 189. Käyrä AMH esittää valon voimakkuutta näkyvässä spektrissä.

sillä löytyy hyvin yksinkertainen keino, jolla spektrin saa näkyviin, nimittäin valokuvaus. Valokuvauslevyyn vaikuttavat nimittäin juuri kemialliset säteet, toisin sanoen väkevästi taittavat säteet. On toinenkin keino saada tämä spektri silmälle näkyväksi. Löytyy aineita, joilla on se ominaisuus, että niitä kohdannut säteily, jonka aine imee, muuttuu ainakin osaksi valoksi eikä lämmöksi. Ne ovat n. s. fluoriseeraavat aineet, joista vielä myöhemmin puhumme. Sellainen aine on esim. bariumplatina-cyanyri. Tällä aineella sivellään paperivarjostin ja annetaan voimakkaan spektrin langeta sille. Silloin nähdään spektri varjostimella sellaisena, että punainen on siirtynyt tavallisen spektrin punaisen ulkopuolelle, punaisen keltainen punaisen paikalle, keltainen punaisen keltaisen j. n. e. ja ultrasinipunerva nähdään varjostimella sinipunervana.

Valokuvauksen avulla on voitu tutkia auringon ultrasinipunervaa spektriä aallon pituuteen 0,00030 mm. Myös tässä

spektrin osassa huomataan Fraunhoferin viivoja ja kaikki mitä näkyvässä spektrissä olevista viivoista olemme sanoneet, koskee näitäkin viivoja.

Paljon pitemmälle on päästy auringon ultrapunaisessa spektrissä. Löytyy useampia keinoja tutkia ultrapunaista spektriä. Niin omituiselta kuin se kuuluukin voi tähän tarkoitukseen käyttää valokuvausta. *Abney* on keksinyt keinon sekoittaa valokuvauslevyjen valmistamiseen käytettyyn aineeseen erästä hartsilajia. Levyt ovat silloin tunnokkaita niinkin pitkille aalloille, jotka säteilevät kiehuvaasta vedestä. Auringon spektri on voitu siten valokuvata aina aallonpituuteen 0,0010 mm. Toinen keino on käyttää aineita, jotka säteilyn jälkeen loistavat, n. s. fosforiseeraavia aineita. Kirkkaan spektrin annetaan langeta sellaiselle aineelle. Sitten lopetetaan äkkiä säteilytys, jolloin aine hetken aikaa vielä loistaa ja ultrapunainen spektri nähdään tällaisille aineille omituisessa valossa, tummine viivoineen. Spektri häviää kumminkin pian ja mittaukset ovat vaikeita.

Kolmas keino on tutkia lämpösäteilyn voimakkuutta ultrapunaisessa spektrissä. *Langley* on rakentanut tätä varten erittäin tunnokkaan koneen, jolla voi mitata yhden miljonasosan astetta. Koneessa käytetään hienon hienoa platinalankaa, jonka läpi heikko sähkövirta kulkee. Kuta voimakkaampi lämpösäteily lankaa kohtaa sitä enemmän vastustaa se sähkövirran kulkua. Erityisellä koneella, josta sähkö-opissa puhumme, mitataan sähkövirran vaihtelut ja siitä lämpötilan vaihtelut. Tällä koneella on *Langley* tutkinut auringon spektriä aina aallonpituuteen 0,0056 mm.

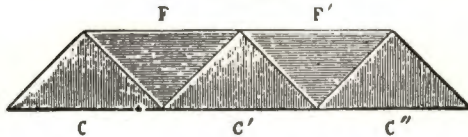
Ne koneet, *spektroskopit*, joilla spektriä tutkitaan, ovat nykyaikana saavuttaneet erinomaisen täydellisyyden mutta mitään varsin monimutkaisia koneita ne eivät ole. Tärkeintä on, että säteilyä hajoittava osa on huolellisesti valmistettu ja että se hajoittaa väkevästi, sillä siitä kuinka suuri koneen aikaansaama hajoitus on, riippuu spektrin yksityiskohtien, lähekkäin olevien spektriviivojen j. n. e. huomaaminen. Hajoituksella tarkoitamme tässä sitä kulmaa, minkä spektrin äärimäiset säteet muodostavat keskenään, jos ajattelemme niitä jatketuiksi siihen suuntaan, mistä säteily tulee. Tätä varten on prisma valmistettava lasista, joka hajoittaa voimakkaas-

ti. Sellainen lasi on raskas lyijynsekainen piilasi. Mutta kuta raskaammaksi lasilaji tehdään sitä keltaisemmaksi se käy värittään ja vihdoin siniset ja sinipunervat säteet eivät laisinkaan pääse sen läpi.

Toinen keino hajoituksen lisäämiseen on suurentaa prisman taittavaa kulmaa, mutta silloin valo vihdoin kohtaa prisman sivupintaa niin viistoon, että se ei ollenkaan tunkeudu prismaan. Kokemus on näyttänyt, että piilasiprisman kulmaa ei voi tehdä suuremmaksi kuin 60° . Hajoituksen voi kumminkin suurentaa käyttämällä useampia prismoja, jotka asetetaan kehään peräkkäin siten, että valo kulkee kaikkien läpi. Edullista on myös käyttää eri lasilajeista tehtyjä prismoja. Piilasiprisman, jonka taittava kulma on noin 90° , molemmille taittaville pinnoille liitetään heikosti taittava ja heikosti hajoittava kruunulasiprisma, taittava särmä piilasiprisman asemalla. Nämä kolme prismaa muodostavat yhteensä prisman, jonka taittava kulma on paljon pienempi kuin piilasiprisman. Kun valo ensin taittuu kruunulasiprismassa, kohtaa se piilasiprismaa jyrkemmin ja siten saadaan tuon tylsän piilasiprisman avulla suurempi hajoitus, vaikkakin kruunulasiprismat sitä osaksi vähentävät.

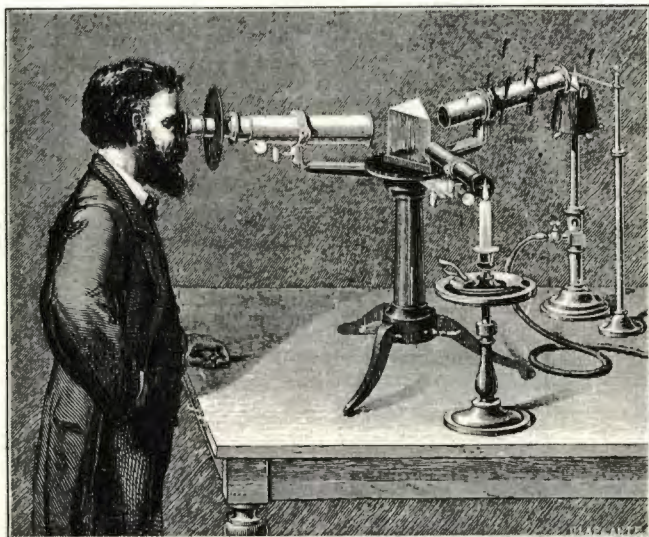
Tätä keinoa on edelleen kehitetty n. s. *suoraan hajoittavassa* prismassa. Siinäkin käytetään keskellä piilasiprismaa, mutta kaikkien prismojen taittavat kulmat ovat suuremmat kuin edellisessä tapauksessa ja niin lasketut, että esim. vihreä säde kulkee prismojen läpi taittumatta. Punainen taittuu silloin ylöspäin, mutta sinipunerva alaspäin, jos piilasiprisman taittava särmä on ylöspäin. Usein käytetään viittäkin prismaa, kahta piilasi- ja kolmea kruunulasiprismaa.

Spektroskopiin kuuluu vielä putki, jonka päässä on kaitainen rako, josta tutkittavan valolähteen valo tulee spektroskopiin. Putkessa on linssi, jonka polttopisteessä rako on. Linssi taittaa valonsäteet yhden-suuntaisiksi. Prisma tai prisma yhdistyksen antamaa spektriä tarkastetaan siten kauko-



Kuva 190. Suoraan hajoittava prismayhdistys. F ja F' piilasiprismat, C, C' ja C'' kruunulasiprismat.

putkella. Usein on spektroskopissa vielä kolmas putki. Putkessa on mittakaava ja linssi antaa kaavasta kuvan prisman pinnalle, josta kuva heijastuu kaukoputkeen. Joku lamppu valaisee putkessa olevaa mittakaavaa. Kaukoputkessa nähdään silloin spektri ja kaava yhtäikaa ja voi kaavan avulla määrätä spektriviivojen aseman. Tarkempia mittauksia varten käytetään kuitenkin samaa menettelyä kuin tähtitieteellisessä



Kuva 191. Spektroskopi.

kaukoputkessa, mikrometriruuvilla siirrettävää lankaristää. Spektrin valokuvausta varten annetaan spektrin langeta valokuvauslevylle.

Kuten jo olemme kertoneet saadaan valon interferenssillä käyttämällä hila, jonka läpi valo kulkee tai josta valo heijastuu, erittäin selviä ja valovoimakkaita spektriä. Erittäin soveltuvat hilat ultrapunaisen ja ultrasinipunervan spektrin tutkimiseen, koska hila ei ime mitään osaa säteilystä. Rowland on käyttämällä onttevaa heijastushilaa valmistanut au-

ringon spektrin, joka sinipunervan osan kanssa on 10 m pitkä ja jossa huomataan noin 5,000 Fraunhoferin viivaa.

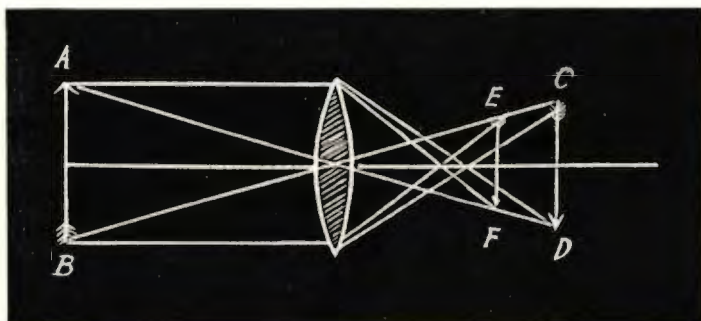
Tällaisilla hilaspektrillä ovat valo-aaltojen pituudet määrättykin. Olkoon määrättävä keltaista viivaa, jonka keitto-suolassa sisältyvä natrium antaa, vastaava aallonpituus. Väkiinlampun liekkiin panemme hiukan keittosuolaa ja annamme valon kulkea kohtisuorasti hilan läpi ja langeta varjostimelle. Varjostimella näemme keskellä keltaisen viivan ja sen molemmilla puolilla yhä kauempana toisistaan heikompiä keltaisia viivoja. Nyt on ensin määrättävä hilan aukkojen väli. Se saadaan helposti, kun tunnetaan montako aukkoa hilassa on esim. 1 cm pituudella. Sitten mitataan hilan ja varjostimen kohtisuora etäisyys ja vihdoin vaikkapa ensimmäisen viivan etäisyys keskusviivasta varjostimella. Tiedämme, että ensimmäisessä sivuviivassa varjostimella yhtyvät hilan läpi kulkeneet sädekimput, kun kahden viereisen aukon läpi kulkevien sädekimppujen kulkemien matkojen ero on aallonpituus. Aivan yksinkertanen lasku antaa sitten meille aallonpituuden.

Newton, valon hajautumisen keksijä, oli sitä mieltä, että aineen tahttamiskyky ja hajoittamiskyky ovat verrannollisia. Seuraus siitä olisi, että on mahdotonta poistaa valon hajautumista samalla poistamatta tahtumista. Valon hajautuminen on tietysti hyvin haitallinen seikka valo-opillisissa koneissa, kaukoputkessa, mikroskopissa j. n. e. Ajattelemme kuvaa, minkä kupera linssi antaa valkeasta esineestä. Punasinervät säteet tahtuvat ensin. Lähimmäksi linssiä syntyy esineestä sinipunerva kuva, hiukan kauempana on sininen, sitten viheriä j. n. e. ja kauimpana on punainen kuva. Kuvat eivät ole yhtä suuria. Kauimpana oleva kuva on suurin, lähimpänä oleva pienin, jos esineen kuva näet on pienennetty todellinen kuva. Kun esinettä katsotaan linssin läpi, niin keskellä kaikki värit kyllä sekoittuvat valkeaksi, mutta ei kuvan reunoilla, missä ei enää ole kaikkia värejä. Reunat tulevat siis värillisiksi ja etenkin huomataan punainen väri, joka tietysti ulottuu kaikkien muiden värien ulkopuolelle.

Lontoolainen valo-opillisten koneiden tekijä *John Dollond* († 1761) teki valon hajautumista koskevia kokeita ja huomasi

Newtonin mielipiteen vääräksi. Hän huomasi näet, että aineen hajottamiskyky ja taittamiskyky eivät ole verrannollisia. Niin onkin asian laita. Otamme tähän muutamia numeroita. Merkitköön e aineen taite-eksponenttia viheriän värin keskipohdalla (Fraunhoferin viiva E) ja $p-s$ äärimäisen punaisen ja äärimäisen sinipunervan taite-eksponenttien eroa, toisin sanoen valon kokonaishajautumista.

	e	$p-s$
Vesi	1,335	0,015
Alkoholi	1,366	0,015
Kruunulasi	1,519	0,021
Piilasi	1,762	0,076



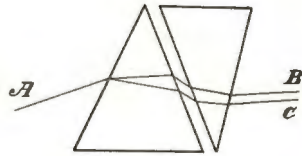
Kuva 192. Valon hajautuminen valon kulkiessa linssin läpi. AB esine. CD punainen kuva. EF sinipunerva kuva.

Näemme luvuista, että piilasi antaa lähes neljä kertaa niin pitkän spektrin kuin kruunulasi, jos molemmista tehdään samanlainen prisma, jotavastoin piilasin taite-eksponentti on vain noin $\frac{1}{6}$ suurempi kuin kruunulasin. Vesi ja alkoholi antavat yhtä pitkän spektrin, mutta alkoholi taittaa väkevämmin.

Jos asetamme kaksi samasta aineesta tehtyä prismaa, joilla on sama taittava kulma, vierekkäin taittavat särmät vastakkaisiin suuntiin, niin toinen prisma kumoaa toisen valon hajottamisen, mutta se kumoaa myös sen aikaansaaman taittumisen. Muodostavathan prismat tässä tapauksessa tasapintaisen levyn.

Vallan toisin käy, jos toinen prisma on väkevämmin hajottavaa, mutta melkein yhtä väkevästi taittavaa ainetta.

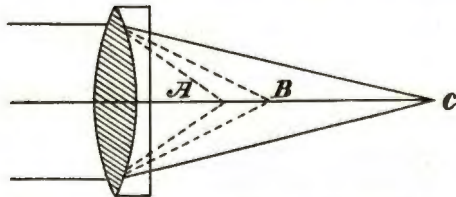
Oletetaan, että toinen aine hajottaa kaksi kertaa väkevämmin. Asetamme ensimmäisen prisman viereen tästä toisesta aineesta tehdyn prisman, jonka taittava kulma on puolet ensimmäisen prisman kulmasta. Tämä prisma taittaa kyllä säteet vastakkaiseen suuntaan ensimmäiseen nähden, mutta



Kuva 193. Akromatinen prisma. AB punainen säde. AC sinipunerva säde.

kun sen kulma oli vain puolet ensimmäisen kulmasta, ei se voi kumota ensimmäisen aikaansaamaa taittumista. Sitävastoin kumoo se ensimmäisen aiheuttaman hajoitumisen ja säteet ovat prismojen läpi kuljettuaan keskenään yhdensuuntaiset, värit ovat taas yhtyneet valkeaksi valoksi. Tällaisessa prismassa on eri värien eri suuri taittuminen, *kromatinen poikkeaminen* (aberrationi), poistettu ja prisma on, kuten sanotaan, *värittämätön* (akromatinen).

Samalla lailla kokoonpannaan myös värittämättömiä linsejä. Kruunulasista tehtyyn molemmin puolin kuperaan



Kuva 194. Akromatinen linssi. Kupera linssi taittaisi punaiset säteet pisteeseen B ja sinipunervat pisteeseen A. Akromatinen linssi taittaa valon pisteeseen C.

linssiin yhdistetään piilasista tehty tasanisesti kovero linssi. Piilasilinssi vähentää kyllä kruunulasilinssin aikaansaamaa taittumista, pitentää polttoväliä, mutta yhdistää sen hajoitamat värit taas

yhteen. Spektrissä on kumminkin äärettömän monta väriä, eri paljon taittuvia. Kahdella prismalla tai kahdella linssillä emme voi niitä kaikkia täydellisesti yhdistää, osa väreistä jää kumminkin jäljelle. Valo-opillisia tarkoituksia varten valitaan linssit tavallisesti niin, että punainen, keltainen ja viheriä häviävät, valokuvausta varten taas niin, että sininen ja sinipunerva yhtyvät. Edellisessä tapauksessa jäävät siis heikkovaloisemmat värit yhtymättä, jälkimäisessä taas värit, joilla ei ole sanottavaa kemiallista vaikutusta.

Valon kemiallista vaikutusta olemme tilaisuudessa näkemään paljonkin. Etupäässä huomaamme sen vaikutuksen väriaineisiin; kankaat, värillinen paperi j. n. e. vaalenevat auringon valossa. Toiselta puolen taas huomaamme, kuinka valo on välttämätön erityisten väriaineiden muodostumiselle. Lehdet tulevat viheriöiksi ainoastaan auringon valon niihin vaikuttaessa, iho käy ruskeaksi auringon valossa y. m. s. Valo vaikuttaa välistä hajoittaen kemiallisia yhdistyksiä, välistä taas yhdistää se aineet kemiallisiksi yhdistyksiksi.

Tärkeän käytännöllisen merkityksen on valon kemiallinen vaikutus saanut valokuvauksessa. Jo v. 1566 mainitsee meisseniläinen *Georg Fabritius*, että kloorihopea mustuu, kun valo siihen vaikuttaa. Hallen professori *Schulze* käytti v. 1727 tätä kloorihopean ominaisuutta kirjainten jäljentämiseen siten, että kirjain leikattiin valolle läpikuultamattomaan paperiin, jonka alle pantiin kloorihopealla valmistettu paperi. Kirjaimet mustuivat silloin auringon valossa. Vuodesta 1777, jolloin ruotsalainen *Scheele* julkaisi tutkimuksensa kloorihopeasta, voimme lukea tieteellisen valokuvauksen alun. Vaikeuksia teki kuvan säilyttäminen, sillä kun valo sai kuvaan vaikuttaa, mustuivat nekin osat, jotka olivat valolta suojellut ja koko kuva hävisi siten. Vuonna 1819 oli John Herschel kumminkin keksinyt, että jos kuvaa käsitellään alarikkihapokkeisella natrionilla, niin kuva ei muutu enää valon vaikutuksesta, kuva on kiinnitetty.

Kaikissa näissä kokeiluissa sai valo suorittaa tuon kemiallisen hajoitustyön aina loppuun saakka, siksi kunnes kuva oli vallan valmis, ja siihen tarvittiin pitkä aika. Paljon nopeammin käy valokuvaaminen, jos valon annetaan vain niin sanoaksemme panna tuon hajoitustyön alulle ja se sitten saatetaan loppuun muilla keinoilla. Ensimmäinen, joka käytti tätä keinoa oli parisilainen koristemaalari *Daguerre*. Vuonna 1839 keksi hän pitkällisten kokeilujen jälkeen valokuvaamistavan, joka käy nimellä daguerreotypia. Kiilloitettuun hopealevyyn annetaan jodihöyryn vaikuttaa. Pinnalle syntyy silloin kerros valonarkaa jodihopeaa. Levy valotetaan nyt valokuvauskoneessa. Mitään kuvaa ei näy levyllä, kuva on ensin kehitettävä. Se tapahtui niin, että levy pantiin laatikkoon, jossa oli lämmintä elohopeaa. Elohopeahöyry tarttuu silloin pieninä pisa-

roina niille paikoille, joita valo oli kohdannut. Kuva kiinnitettiin sitten alarikkihapokkeisella natronilla.

Vuonna 1850 keksi *Le Gray* n. k. kollodiumimenettelyn. Huolellisesti puhdistetulle lasilevyllä valetaan kollodiumia, eetteriin ja alkoholiin liuotettua pumpuliruutia. Kollodiumi jähmettyy pian lasille ohueksi kalvoksi. Sen jälkeen upotetaan levy salpietarihapoisen hopean liuokseen ja on sitten valmis käytettäväksi. Valonarka on se ainoastaan niinkauan kuin se on kostea. Kuva kehitetään sitten rautavihtrillillä ja kiinnitetään. Tällä menettelyllä on juuri äsken mainittu haitta, että levy on heti käytettävä. Se seikka rajoittaa koko joukon valokuvauksen käyttämistä muualla kuin erityisissä valokuvaamoissa, joissa voi levyn valmistaa pimeässä huoneessa ja heti käyttää.

Jo v. 1847 oli *Niépce* tehnyt kokeita gelatinillä valonarkaa ainetta sisältävänä kerroksena valokuvauslevyillä. Mutta vasta v. 1871 keksi *Maddox* bromihopea-gelatinilevyt, jotka sittemmin parannettuina ovat tehneet valokuvauksen niin mukavaksi, että nykyään jokainen voi, jos haluaa, sitä harjoittaa. Gelatinikerros, johon on sekoitettu bromihopeaa, valetaan lasilevyllä ja saa siihen jähmettyä. Levyt käytetään kuivina ja pysyvät hyvin säilytettyinä vuosikausia valonarkoina. Levyt valmistetaan nykyään yksinomaan tehtaissa.

Kun valo kohtaa sellaista levyä, vaikuttaa se hajoittavasti bromihopeaan. Levyt voi valmistaa niin tunnokkaiksi, että niitä hyvässä valossa ei tarvitse valottaa kauemmin kuin noin $\frac{1}{1000}$ sek. Hajoittaminen toimitetaan sitten loppuun huuhtomalla levyä jollakin hajoittavalla nesteellä, jollaisia nykyään käytetään monta eri lajia, ja kiinnitetään. Näin saadaan lasilevyllä n. s. *negatiivinen kuva*. Kuvassa ovat nimittäin valopaikat mustia, enemmän tai vähemmän sen mukaan miten kirkas valo on kutakin paikkaa kohdannut. Varjopaikat taas ovat kirkkaat, läpinäkyvät, sillä niillä paikoilla bromihopea ei ole hajonnut, vaan on hajoamattomana poistunut levyä kiinnitettäessä. Valopaikkojen musta väri johtuu hienon hienosta hopeajauhosta, joka bromihopean hajoittumisesta syntyy. Kun levy on kuivanut, asetetaan se puitteeseen ja sen taakse pannaan valonarkaa paperia. Valo saa nyt kulkea levyn läpi ja vaikuttaa paperiin. Negatiivisen kuvan mustien paikkojen läpi

ei mene valoa, kirkkaitten paikkojen läpi menee. Paperille syntyy siis kuva, jossa valopaikat ovat valkeat ja varjopaikat tummat, n. s. *positivinen kuva*. Valokuvaus on tullut käytäntöön melkein kaikilla tieteen aloilla aina taivaan tähdistä mikroskopilla nähtäviin olennoihin ja ilmiöihin. Valokuva puhuu aina lahjomatonta totuutta, valokuvauslevy ei erehdy niinkuin silmä erehtyy.

Yksi epäkohta, eikä niinkään vähäinen, on vielä nytkin valokuvauksella. Valokuvassa ei ole värejä. Kaikki värit esiintyvät valokuvauksessa ainoastaan kuvan värin eri vivahduksina. Värien valokuvauskeinoa on kyllä ahkerasti haettu, mutta verrattain vähäisellä menestyksellä. *Lippmann* Parisissa on keksinyt keinon, joka ainakin osaksi toteuttaa värien valokuvauksen. Tavallisen tunnokkaan valokuvauslevyn taakse asetetaan elohopea-astia, jonka yhtenä seinänä levy on. Valo tunkeutuu levyn läpi ja heijastuu elohopean pinnasta. Heijastuneet aallot ja etenevät aallot synnyttävät levyn valonarassa kerroksessa seisovia aaltoja, kerroksessa syntyy värähdyssoilmuja sitä lähempänä toisiansa kuta lyhempiä valo-aallot ovat. Sinipunervan valon solmut ovat siis lähinnä toisiansa, punaisen valon kauimpana toisistaan. Tiedämme, että seisovassa aallossa solmut ovat levossa, värähdyskuvat nopeimmassa liikkeessä. Valon kemiallinen vaikutus on heikoin solmuilla, voimakkain kuvuilla. Levyn valonarka kerros jakautuu siis, kun levy kehitetään, äärettömän ohuihin kerroksiin, jotka vastaavat seisovien aaltojen värähdyskupuja. Näillä paikoilla syntyy näet runsaimmin tuota hienoa hopeajauhoa. Tällainen levy ei eroa missään suhteessa tavallisesta levystä, jos katsotaan sen läpi. Mutta jos sen taakse asetetaan peilipinta, niin nähdään kuva luonnollisine väreineen, sillä nuo ohuet kerrokset pakottavat peilistä heijastuneet valo-aallot muodostamaan samanlaisia seisovia aaltoja kuin ne aallot olivat, jotka synnyttivät kerrokset.

Niin huomiota herättävää kuin tämä menettely onkin tieteisperäiseltä kannalta, niin vaillinainen se kumminkin on käytännölliseltä kannalta katsottuna. Kuvat muistuttavat noita peilimäisesti kiiltäviä daguerreotypikuvia ja näkee ne selvästi ainoastaan asettumalla määrättyyn asemaan kuvaan nähden.

Valokuvauslevyjen valmistajat veljekset *Lumière* ovat keksineet kolmiväripainoa muistuttavan keino värillisten valokuvien valmistamista varten. He sekoittavat levyn valonarkaankaan kerrokseen pienen pieniä punaisia, keltaisia ja sinisiä tärkkelysjiviä. Levy valotetaan ja kehitetään kuten tavallinen levy. Mutta jos katsotaan levyn läpi, nähdään esineet luonnollisine väreineen. Paperille ei värillisiä valokuvia voi saada.

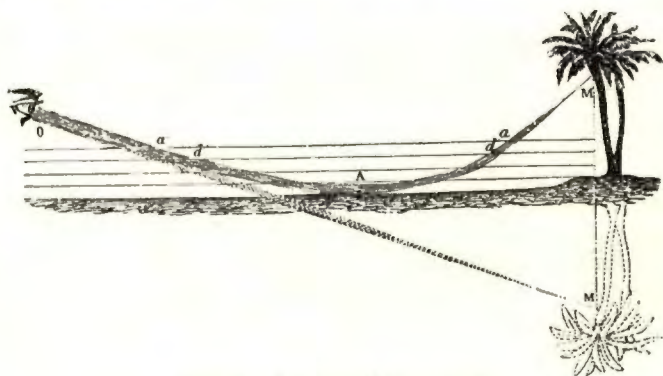
Fluoresenssi- ja fosforesenssi-ilmiöitä mainitsimme ohimennen puhuessamme ultrasinipunervasta ja ultrapunaisesta spektristä. Muutama sana vielä näistä ilmiöistä. Lehtivihreä on tietysti viheriää väriltään. Jos annetaan valkean valon kulkea lehtivihreän läpi, niin nesteen läpi kulkeva valokimppu näyttää sivulta katsottuna punaiselta. Nesteen läpi kulkenut valo on viheriää. Petroleumi on sivulta katsottuna sinertävää, läpikatsottuna keltaista. Eosiniliuos on sivulta katsottuna viheriää, läpikatsottuna punaista. Näillä aineilla on siis ominaisuus säteillä valona se osa säteilystä, jonka ne imevät, sen sijaan, että imeytynyt osa säteilystä muissa aineissa muuttuu lämmöksi. Syytä ilmiöön ei varmuudella tunneta.

Melkein samanlainen ilmiö on fosforesenssi. Ero on vain se, että valosäteily aineesta kestää vielä valaisun jälkeenkin. Tämä ominaisuus on useilla aineilla, timantilla, monen aineen rikkiyhdistyksillä j. n. e. Fosforiseeraavia aineita sekoitetaan maaliin, jolla pimeässä loistavia esineitä maalataan, kellontauluja, tulitikkuasettimia y. m.

Valo aikaansaa maan ilmakehässä koko joukon ilmiöitä, jotka osaksi riippuvat valon taittumisesta ja heijastumisesta eri tiheissä ilmakehässä, osaksi taas valon hajoittumisesta ilmassa löytyvissä vesipisaroissa ja jääkiteissä ja vihdoin valon imeytymisestä ilmakehään ja siinä löytyvään vesihöyryyn.

Ilmakehä ohenee ylöspäin. Valonsäde, joka avaruudesta tunkeutuu ilmakehään, kulkee siis ohuemmista kerroksista tiheämpiin ja taittuu kohtisuoraan päin. Säde muodostaa

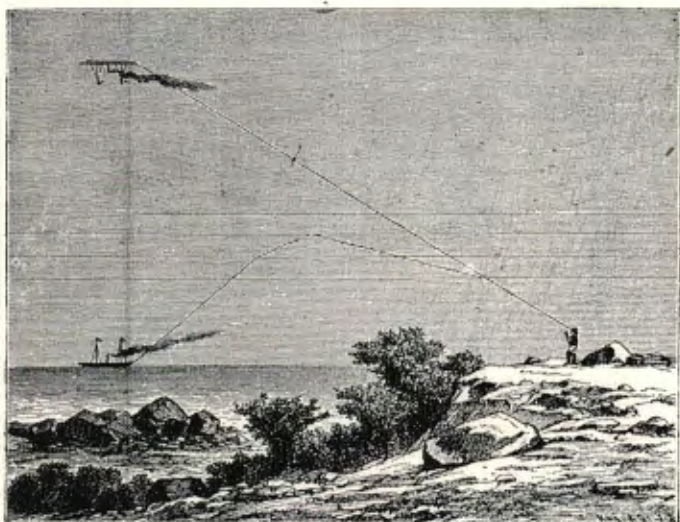
alaspäin kaarevan viivan ja silmä näkee siis tähden ylempänä taivaalla kuin se todella on. Taittumisen suuruus kasvaa taivaslaen keskus pisteestä, jossa sitä tietysti ei ole, koska säde kohtaa ilmakerroksia kohtisuorasti, taivaanrantaan kohti. Kuta lähempänä taivaanrantaan tähti on, sitä viistompaan kohtaa säde ilmakerroksia ja sitä enemmän taittuu se. Taivaanrannalla näyttää tähti olevan lähes 35' korkeammalla kuin se on. Tähtitieteellisiä havaintoja tehdessä on tämä taittuminen aina otettava huomioon.



Kuva 195. Kangastus hieta-aavikolla.

Samanlainen valon taittuminen huomataan myös lähellä maanpintaa olevissa ilmakerroksissa, kun ilmakerroksilla on lämmön vaikutuksesta huomattavasti eri suuri tiheys. Hieta-aavikolla kuumenee maa auringon säteilystä ja lähellä maata on ilma lämpimämpää ja ohuempaa kuin ylempänä. Jostakin pisteestä, joka on maanpinnan yläpuolella, esim. puunlatvasta, lähtenyt valonsäde taittuu siis kulkiessaan viistoon maata kohti kohtisuorasta poispäin. Vihdoin kohtaa se ilmakerroksen rajapintaa niin viistoon, että tapahtuu täydellinen heijastuminen. Säde heijastuu ylöspäin ja kulkee nyt ohuemmista kerroksista tiheämpiin taittuen kohtisuoraan päin. Säde muodostaa siis alaspäin kaarevan viivan ja silmä näkee esineen kuvan esineen alapuolella ylösalaisin vallan kuin tyynessä vedenpinnassa. Usein sininen taivaslaki kuvastuu täten ilmaker-

roksien rajapinnassa. Luulee silloin näkevänsä sinisen järvenpinnan keskellä hieta-aavikkoa. Ilmiö saa nimen *kangastus*. Merellä huomataan toisenlainen kangastus. Ilma lähellä merenpintaa on usein kylmempi ja tiheämpi kuin ylempänä. Valonsäde, joka lähtee jostakin pisteestä lähellä merenpintaa viistoon ylöspäin, taittuu kohtisuorasti pois päin muodostaen ylöspäin kaarevan viivan. Silmä näkee esineen ylempänä kuin se on. Kaukana olevat saaret näyttävät usein ikään-



Kuva 196. Kangastus merellä.

kuin uivan ilmassa, voivatpa usein saaret ja karit, jotka ovat kuperan merenpinnan takana, nousta ylös näkyviin. Jos ylöspäin kaareutuva valonsäde, ennenkuin se kohtaa silmää, on täydellisesti heijastunut ylhäällä olevan ilmakerroksen rajapinnasta, nähdään esineen kuva esineen yläpuolella ylösalaisin. Laivan kuva nähdään laivan yläpuolella mastot alaspäin.

Valon taittuminen voi tapahtua myös eri tiheissä pystysuorissa ilmakerroksissa. Valonsäde taittuu silloin oikealle tai vasemmalle ja esineet, jotka ovat toisten takana, tulevat nä-

kyviin. Koko seutu voi siten saada aivan toisen näön. Kuvat vaihtelevat sen mukaan miten nuo eri tiheet kerrokset vaihtavat paikkaa.

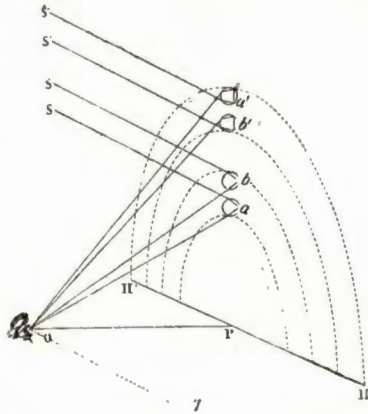
Värien hajautumisesta johtuvista ilmiöistä mainittakoon, tässä taivaan väri, aamu- ja iltarusko ja sateenkaari. Taivaan sininen väri syntyy siitä, että valo kulkiessaan ilmakehän välitse hajautuu kuten hilan läpi kulkiessaan. Enin hajautuvat lyhimmat aallot, siniset ja sinipunervat, jonka vuoksi etupäässä sininen väri vallitsee ilmakehässä. Ilmakehän läpi kulkeneessa valossa sitävastoin on vähemmän sinistä ja sinipunaista kuin ilmakehää kohtaavassa valossa. Ilmassa löytyvä tomu ja pienet vesipisarat vaikuttavat samalla lailla hajoittavasti valoon, mutta hajoittavat kaikkia värejä. Ne antavat siis valkeaa heijastunutta valoa ja siten syntyy hyvin tunnettu valkeansininen valo, joka taivaalla on meidän seuduilla, missä aina on tiivistynyttä vesihöyryä ilmassa.

Aamu- ja iltarusko syntyy valon imeytymisen kautta ilmassa löytyvään vesihöyryyn. Vesihöyry imee etupäässä lyhempiä aaltoja, viheriää, sinistä ja sinipunervaa. Auringon ollessa alhaalla taivaanrannalla on valolla kuljettavana paljoa pitempi matka ilmakehän läpi kuin auringon ollessa korkealla taivaalla. Imeytyminen on silloin täydellisin, jonka vuoksi vain punaiset ja keltaiset säteet pääsevät ilmakehän läpi.

Kaunein ja enin huomiota herättävä valoilmio ilmakehässä lienee sateenkaari. Aina vanhoista ajoista on koetettu sateenkaaren syntyä selittää. Jo Aristoteles selitti sen syntyvän valon heijastuksesta sadepisaroiissa. Ensimmäisen oikean selityksen on antanut persialainen *Al Schirasi* († 1311). Kuten tunnettu on syntyä sateenkaari silloin, kun sataa ja suoranaisten auringon valo kohtaa sadepisaroita. Aurinko, katsojan silmä ja sateenkaaren keskipiste ovat samalla suoralla viivalla. Tähtäysviiva kaaren ulkoreunaan muodostaa mainitun suoran kanssa $42 \frac{1}{2}^\circ$ kulman ja sisäreunaan $40 \frac{1}{2}^\circ$ kulman. Kaaren leveys on siis noin 2° . Ulommaisena huomataan punainen väri, sisimmäisenä sinipunerva.

Kaari syntyy seuraavalla tavalla. Auringon valo kohtaa sadepisaran katsojan puoleista pintaa, taittuu pisaran sisään ja hajoittuu samalla. Punainen on ylinnä, sinipunerva

alinna valon kulkiessa pisaran läpi. Pisaran takaseinästä heijastuu valo ja kulkee taas pisaran etuseinää kohti. Heijastuksen jälkeen on punainen alinna ja sinipunerva ylinnä. Valo taittuu taas pisaran etuseinän läpi ulos katsojaa kohti. Pisarasta säteilevät siis kaikki spektrin värit ja niin, että punaiset säteet muodostavat pisaraa kohtaavien auringon säteiden suunnan kanssa $42\frac{1}{2}^\circ$ ja sinipunervat $40\frac{1}{2}^\circ$ kulman. Siis muodostavat punaiset säteet ja sinipunervat säteet mainitut kulmat myös auringon ja katsojan silmän kautta vedetyn viivan kanssa, joka tietysti on yhdensuuntainen auringon säteiden kanssa. Pisarasta, johon silmästä vedetty suora muodostaa $42\frac{1}{2}^\circ$ kulman äsken mainitun suoran kanssa, tulee silmään vain punaista valoa, alempana olevasta pisarasta punakeltaista j. n. e., kunnes pisarasta, johon tähtäysviiva muodostaa $40\frac{1}{2}^\circ$ kulman, tulee sinipunervaa valoa. Jos sadepisaroi-
 olisi vain yksi pystysuora rivi, niin näkisimme pystysuoran spektrin, jonka yläpää olisi punainen ja alapää sinipunerva. On selvää, että jos ajattelempa tähtäysviivan pisaraan, josta punaista valoa tuli silmään, pyörivän auringon ja katsojan silmän kautta vedetyn suoran ympäri, kaikki ne pisarat, jotka ovat näin syntyneellä keilanpinnalla, ovat samassa asemassa aurinkoon ja silmään nähden. Kaikista näistä pisaroista tulee siis silmään punaista valoa. Sama on muiden värien laita. Syntyy siis kaarenmuotoinen spektri. Sateenkaari on siis eri värisiä keilapintoja, punainen ulommaisena, sinipunerva sisimmäisenä, joilla pinnoilla on kaikilla kärkensä katsojan silmässä. Kaksi henkilöä eivät siis näe samaa sateenkaarta, kummallakin on oma sateenkaarensa. Ilmiö on yksilöllinen ilmiö, riip-



Kuva 197. Sateenkaari. HH' taivaanranta. sa, sb, s'a' ja s'b' yhdensuuntaisia auringon säteitä. ot suunta silmästä kaaren keskipisteeseen. Kulma aot $40\frac{1}{2}^\circ$, kulma bot $42\frac{1}{2}^\circ$. Kulma b'ot 50° , kulma a'ot $53\frac{1}{2}^\circ$. Pisarat a' ja b' kuuluvat sivukaareen.

puva yksinomaan katsojan silmän, auringon ja vesipisaroiden keskinäisestä asemasta. Senpävuoksi, niin oudolta kuin se ehkä kuuluukin, sateenkaari ei voi koskaan kuvastua esim. tyyneen järvenpintaan, niinkuin pilvi tai muu todellinen esine.

Jos aurinko on juuri taivaanrannalla, on auringon ja katsojan silmän läpi vedetty viiva vaakasuora. Kaaren keskipiste on silloin vastaisella taivaanrannalla ja sen korkein kohta $42\frac{1}{2}^{\circ}$ taivaanrannan yli. Kuta ylemmäksi aurinko nousee sitä alemmaksi painuu kaari ja, kun aurinko on $42\frac{1}{2}^{\circ}$ taivaanrannan yli, on kaaren huippu vastaisella taivaanrannalla, sateenkaarta ei silloin enää synny. Kesäpäivän seisauksen aikana on aurinko keskipäivällä Suomessakin noin 53° — 43° yli taivaanrannan. Sateenkaarta ei silloin voi syntyä.

Välistä nähdään sateenkaaren ulkopuolella toinen heikompi sateenkaari, sivukaari, jossa on sinipunerva ulommaisena ja punainen sisimmäisenä. Tähtäysviiva sen ulkoreunaan muodostaa auringon ja silmän kautta vedetyn viivan kanssa $53\frac{1}{2}^{\circ}$ kulman ja sisäreunaan 50° kulman. Kaari on siis $3\frac{1}{2}^{\circ}$ leveä. Se syntyy siten, että valo heijastuu pisaran takaseinällä kaksi kertaa, ennenkuin se taittuu ulos etuseinän kautta. Kun värit heijastuessaan vaihtavat järjestystä ja heijastuminen tapahtuu kaksi kertaa, niin on selvää, että sivukaaren värit ovat päinvastaisessa järjestyksessä pääkaaren väreihin nähden. Kun heijastuessa osa valosta menee myös pisaran takaseinän läpi, niin on sivukaari huomattavasti heikompi kuin pääkaari, jossa heijastuminen tapahtuu vain kerran.

Usein nähdään kuun ja auringon ympärillä värillisiä kehiä, joissa on spektrin värit. Ne syntyvät valon taittumista ylemmissä ilmakerroksissa löytyvissä jääkiteissä.

XVIII.

Hankaussähkö. Sähköheiluri. Eri sähkölajit. Hyvät ja huonot johtajat. Elektroskopi. Sähkövaraus. Coulombin laki. Sähkövarauksen yksikkö. Eristäjävakio. Sähkön luonne. Sähkön jätteys. Varautumiskyky. Jänteyden yksikkö. Varautumiskyvyn yksikkö. Sähkön tiheys johtajan pinnalla. Sähköturbini.

Ryhdyimme nyt tarkastamaan erästä fysiikan osaa, joka vasta pitkällisten ja vaikeiden tutkimuksien kautta on tullut tunnetuksi. Se osa on oppi sähköstä ja magnetismista. Kaikkien niiden fysiikan osien, joista tähän saakka olemme puhuneet, tutkimista varten olemme voineet käyttää aistejamme, me kuulemme, tunnemme ja näemme. On kyllä totta, että aistimme usein pettävät ja että emme aina täysin voi luottaa aisteihimme, mutta ainakin voimme niillä huomata, onko kysymyksessä oleva ilmiö olemassa vaiko ei. Tätä tärkeitä apuneuvoa emme sähköä ja magnetismia tutkiessamme voi sanottavasti käyttää, sillä mitään sähköaistia ei meillä ole. Onneksi on sähköllä se ominaisuus, että se helposti muuttuu muiksi energian ilmausmuodoiksi, lämmöksi, valoksi ja mekanisiksi ilmiöiksi. Siten voimme sekä aisteillamme että myös tähän muuttumiskykyyn perustuvilla koneilla huomata sähköisten ja magnetisten ilmiöiden olemassa oloa ja tutkia niitä.

Se seikka, että sähköiset ja magnetiset ilmiöt eivät ole välittömästi aisteillamme huomattavissa, onkin syynä siihen, että nämä ilmiöt vasta uudella ajalla ovat tulleet tutkimisen esineiksi. Sähköopin ja magnetismin historia ulottuu tuskin kolmesataa vuotta nykyajasta taaksepäin. Pilvissä jyrähtelevä ukkonen, jonka vasamia ylijumala piti kädessään, oli melkein ainoa ilmiö, minkä muinaisajan kansat sähköopista tunsivat, tietämättä edes sitä, että tämä ilmiö oli luonnonvoi-

man aiheuttama. Ei keskiaikakaan vienyt ihmiskuntaa tällä alalla sen kauemmaksi. Harvat tunnetut sähköilmiöt olivat yhä edelleen jonkunlaisen uskonnollisen pelon eikä tieteellisen tutkimisen esineenä. Huolimatta siitä, että sähköoppi viimeisenä fysiikan eri osista on kiinnittänyt tutkijan huomiota, on sen kehitys etenkin kahden, ehkäpä voimme sanoa yhden, viimeisen vuosikymmenen kuluessa ollut niin valtaavan mahtava, että se ilmiöiden moninaisuuteen ja niiden satumaiseen kummallisuuteen nähden epäilemättä voittaa muut fysiikan osat. Aikakautemme nimitys, sähkön aikakausi, saakoon, niin kulu- nut kuin tuo nimitys onkin, paikkansa tässäkin. Nimitys on kyllä paikallaan, sillä onhan ihminen jo tullut niin rohkeaksi, että hän ei tyydy käyttämään tätä voimaa ainoastaan maan- pinnalla, vaan pyrkii sen avulla hallitsemaan myös ääretöntä avaruuden syvyyksiin ulottuvaa eetterimerta.

Sähkön vieraskielinen nimitys *elektrisiteti* on johtunut ensimmäisestä keksinnöstä sähköopin alalla. Kreikkalainen filosofi *Thales* (noin 575 e. Kr.) huomasi, että meripihka, jonka kreikkalainen nimi on elektron, sai ominaisuuden vetää puoleensa kevyitä kappaleita, kun sitä ensin hangattiin villavaatteella. Tästä pienestä ilmiöstä saamme sitten siirtyä yli kaksituhatta vuotta eteenpäin ihmiskunnan kehityshistoriassa, ennenkuin kohtaamme uusia kokeita sähköopin alalla. Ilmapumpun keksijä *Otto von Guericke* sai ilmapumpulla tekemistään kokeistaan ajatuksen koettaa selittää matkan päästä vaikuttavia voimia, painovoimaa, sähköä ja ilmaakin, jota hän piti voimana, n. s. maailman voimien avulla. Tutkiakseen näitä olettamiansa maailman voimia hankasi hän rikkipalloa kädellään ja huomasi kuinka pallo veti sen läheisyydessä olevaa höyhentä kunnes höyhen kosketti palloa, jonka jälkeen höyhen poistui pallosta ja lensi käteen, sitten taas palloon j. n. e. Hangattu rikkipallo loisti pimeässä ja kuultiin, kun palloa hangattiin, rätisevä ääni. Jos *Guericke* olisi kyennyt näistä ilmiöistä oikeita johtopäätöksiä tekemään, olisi hän varmaan keksinyt hankaussähkön tärkeimmät ominaisuudet. Nyt hän kumminkin näki näissä ilmiöissä vain noiden maailmanvoimien vaikutuksia, koettipa hän muun muassa höyhenen liikkeen avulla pallon ja käden välillä selittää kuun liikettä maan ympäri.

Meripihkapalanan, jota hankaamme vaatteella, joutuu hankauksen kautta aivan erityiseen tilaan, jossa tilassa se kehittää voimia, joita sillä muutoin ei ole. Tätä omituista tilaa nimitämme sähköiseksi. Paitsi meripihkaa löytyy koko joukko muitakin aineita, joilla on sama ominaisuus. Olemme jo lapsena nähneet, että lasi, lakkatanko, kummi ja muutkin aineet saavat, kun niitä hangataan, ominaisuuden vetää puoleensa paperipalasia. Jos ilmiötä tarkastamme huolellisemmin, huomaamme, että paperipalat hetken riiputtuaan kappaleessa kiinni, taas lentävät siitä pois. Tämä koe ei kumminkaan anna meille mitään selitystä ilmiössä vaikuttavista voimista.



Kuva 198.
Sähkö-
heiluri.

Huomaamme edelleen, että paperipalaset, jos niitä ainoastaan kosketaan sähköisellä kappaleella, saavat vallan saman ominaisuuden kuin sähköinen kappale; ne voivat vuorostaan vetää puoleensa toisia paperipalasia ja kosketuksen jälkeen sysätä ne pois. Parhaiten huomataan ilmiö käyttämällä silkkihimaan ripustettua pientä seljapuun ytimestä tehtyä palloa, n. k. *sähköheiluria*. Kosketetaan palloa vaikkapa sähköisellä lasitangolla. Jos palloon nyt lähestytetään toista rihmassa riippuvaa palloa, niin pallot ensin yhtyvät, mutta eroavat toisistaan kosketuksen jälkeen. Ripustetaan kaksi sähköpendeliä telineeseen siten, että ne koskettavat toisiaan. Kosketetaan molempia sähköisellä lasitangolla. Molemmat tulevat silloin samalla lailla sähköisiksi. Huomaamme näiden kahden samalla lailla sähköisen kappaleen poistavan toisiaan. Myös lasitangosta poistuvat ne. Saman ilmiön huomaisimme, jos lasitangon asemasta käyttäisimme lakkatankoa.

Jos ensin teemme äskeisen kokeen lasitangolla ja sitten lähestytämme palloihin sähköistä lakkatankoa, niin huomaamme tangon vetävän palloja. Päinvastoin lasitanko vetää palloja, joita ensin on kosketettu sähköisellä lakkatangolla. Tulomme siihen tulokseen, että kappaleiden sähköinen tila voi olla erilainen, kappaletta, jota yksi sähköinen kappale poistaa, vetää toinen sähköinen kappale. Näitä kahta sähköistä tilaa nimitämme *positiivinen* ja *negatiivinen* sähköinen tila. Han-

gatun lasitangon sanotaan olevan positivistisesti sähköisen ja hangatun lakkatangon negativisesti.

Saamme kokeistamme seuraavan säännön: kaksi kappaletta, joiden sähköinen tila on samanlainen, molemmat positivistisia tai negativisiä, poistavat toisiansa, kappaleet, jotka ovat erilailta sähköiset, vetävät toisiansa.

Ne aineet, joita olemme kokeissamme käyttäneet, lasi, lakka, paperi, seljapuun ydin j. n. e., eivät ole metalleja. Näillä nyt mainituilla aineilla on sähköisessä suhteessa kaksi ominaisuutta. Ensiksikin ne tulevat hankaamalla sähköisiksi, mutta ainoastaan sillä paikalla, jota hangataan, ja toiseksi pysyy sähkö niissä. Vallan erilaiset tässä suhteessa ovat metallit ja myös joukko muitakin aineita, hapot, suolaliuokset, hiili, kostea maa, ihmis- ja eläinruumis, kostea puu j. n. e. Jos metalleja hangataan, ei niissä huomata sähköisen tilan jälkeäkään. Sähköinen tila syntyy kyllä niissäkin, mutta syynä siihen, että sitä emme huomaa, on se, että sähkö niissä helposti ja nopeasti leviää koko kappaleeseen ja, jos kappaletta pidämme kädessämme, käteen, siitä edelleen lattiaan ja vihdoin koko maahan. Kun sähköinen tila täten leviää näin suureen pintaan, niin sähkön vaikutus kullakin paikalla tällä pinnalla on niin häviävän pieni, että sitä emme huomaakaan. Sähkö on kappaleesta johtunut maahan, kuten sanotaan. Jos näissäkin kappaleissa halutaan säilyttää sähköistä tilaa, täytyy estää sähkön poisjohtumista niistä. Se tapahtuu niin, että kappale erotetaan maan yhteydestä jollakin sellaisella aineella, jossa sähköinen tila ei leviää, asetetaan se lasista, lakasta t. m. s. tehdyn kannattimen varaan tai ripustetaan silkkirihmaan. Kappale on silloin *eristetty* eli *isoleerattu*. Kappaleet voi siis, mitä sähköisen tilan leviämiseen niissä tulee, jakaa kahteen luokkaan, *johtaviin*, joissa sähköinen tila leviää yli koko kappaleen, ja *eristäviin*, joissa se ei sitä tee. Edelliseen ryhmään kuuluvista esineistä mainittakoon vielä jo ennen mainittujen lisäksi pelava ja pumpuli, jälkimäiseen ryhmään kuuluvista öljyt, posliini, nahka, villa, norsunluu, katinkulta, vaha, rikki, kuiva ilma ja kuivat kaasut. Paljon käytetty eristäjä on eboniti eli kova kummi.

Sähköheilurilla voimme kyllä näyttää, että kappale on sähköinen, mutta mikään herkkä kone se ei ole. Herkemmän

koneen saamme käyttämällä johtajaa, jossa sähkö leviää koko kappaleeseen. Metallitangon yhteen päähän kiinnitetään kaksi kevyttä lehtikultakaistaletta tai alumiinilevyä. Tangon toinen pää päättyy metallipalloon. Tanko pistetään ebonitikorkin läpi lasiseinäiseen astiaan. Näin rakennettu kone on *elektroskopi* (sähkönäytin). Kosketetaan tangon yläpäässä löytyvää palloa jollakin sähköisellä kappaleella, hangatulla lasitangolla. Sähkö leviää koko tankoon ja elektroskopin lehdet eroavat, koska niissä on samaa sähköä, näyttäen että kappale, jolla palloa kosketettiin, oli sähköinen.



Kuva 199. Elektroskopi.

Edelleen voimme elektroskopin avulla ratkaista, onko kappale positiivisesti tai negatiivisesti sähköinen. Oletamme, että palloa on kosketettu sähköisellä lasitangolla. Elektroskopin levyt sisältävät siis positiivista sähköä. Jos nyt palloa kosketetaan toisella kappaleella, joka on myös positiivisesti sähköinen, saavat lehdet enemmän positiivista sähköä ja eroavat enemmän. Jos palloa kosketetaan negatiivisesti sähköisellä kappaleella, vähenee levyjen positiivinen sähkö ja levyt laskeutuvat lähemmäksi toisiansa.

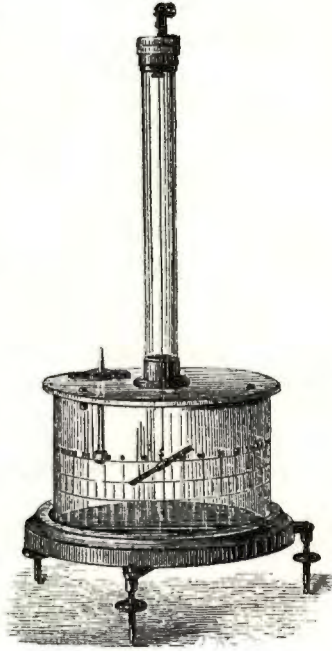
Jos tällä tavalla tutkitaan hangattua kappaletta ja sitä ainetta, jolla kappaletta hangattiin, huomataan niissä löytyvän vastaista sähköä, toinen on positiivisesti, toinen negatiivisesti sähköinen. Kiillotettu lasi tulee hangattuna villavaatteella positiivisesti sähköiseksi, villavaate negatiivisesti. Samoin, jos lasia hangataan tinan ja elohopean sekoituksella sivellyllä nahalla. Paperilla hangattuna tulee lasi taas negatiivisesti sähköiseksi, jos lasi ei ole kiillotettua. Voimme järjestää aineet jaksoksi siten, että aine tulee positiivisesti sähköiseksi hangattuna aineella, joka jaksossa seuraa kyseessä olevan aineen jälkeen, jolloin tietysti joku jaksossa löytyvä aine hangattuna aineella, jonka paikka jaksossa on mainitun aineen edellä, tulee negatiivisesti sähköiseksi. Sellainen jaksö on seuraava: kiillotettu lasi, villa, silkki, puu, paperi, kissannahka, kiillottamaton lasi, rikki, metallit, meripihka, eboniti, lakka.

Elektroskopilla voimme vielä tutkia, onko joku aine johtava tai eristävä. Koskettamalla elektroskopin palloa jollakin sähköisellä kappaleella saatamme levyt eroamaan. Kosketaan sitten palloa sillä aineella, jota haluamme tutkia. Jos levyt pysyvät yhä edelleen erillään, on aine eristävä, jos levyt yhtyvät, on se johtaja. Ainetta pidetään tietysti kädessä, joten se on johtavassa yhteydessä maan kanssa. Jos palloa kosketaan esim. paperilla, niin lehdet eivät heti yhdy, mutta lähestyvät vähitellen toisiansa ja yhtyvät vihdoin. Saman seikan huomaamme muistakin aineista, niihinkin nähden, joita olemme eristäviksi nimittäneet. Näemme lehtien yhtyvän vihdoin, vaikka elektroskopi saa olla koskettamattakin. Mitään täydellisesti eristäviä aineita ei siis löydy, kaikki aineet johtavat jonkun verran; eristäviä ovat aineet, jotka johtavat erinomaisen huonosti.

Koskettamalla eristettyä johtajaa sähköisellä kappaleella, saatamme johtajaan jonkun määrän sähköä, joka leviää yli koko johtajan. Jos kosketamme toisen kerran samaa johtajaa samalla uudestaan sähköiseksi tehdyllä kappaleella, annamme johtajalle taas jonkun määrän sähköä, joka samalla tavalla leviää yli koko johtajan. Siten voimme tuohon eristettyyn johtajaan koota yhä enemmän sähköä, antaa sille yhä suuremman sähkövarauksen. Kuta suurempi johtajan sähkövaraus on, sitä suurempi on johtajan sähköön vaikutus esim. sähköheiluriin, jonka seljapuupallo on tehty sähköiseksi. Päinvastoin voimme johtajan sähköön vaikutuksen nojalla heiluriin arvostella johtajan sähkövarauksen suuruutta. Jos kahden kappaleen sähkövarauksen vaikutukset samaan sähköiseen heiluriin samoissa olosuhteissa ovat yhtä suuret, niin niiden sähkövarauksetkin ovat yhtä suuret; jos toisen vaikutus on kaksin-, kolmin-, nelinkertainen, on sähkövarauskin kaksin-, kolmin-, nelinkertainen. Huomaamme kokeista, että kappaleen sähköön vaikutus toiseen sähköiseen kappaleeseen on riippuva molempien kappaleiden etäisyydestä. Pitkällisillä ja työläillä kokeilla määräsi parisilainen akatemikko *Coulomb* († 1806) v. 1785 lain, joka lausuu kahden sähköisen kappaleen vaikutuksen toisiinsa, kun otetaan huomioon sekä niiden sähkövaraus että välimatka. Tämä tärkeä Coulombin laki kuuluu: kahden pienen sähköisen kappaleen vaikutus

toisiinsa kasvaa tai pienenee kuten kappaleiden sähkövarauksien tulo jaettuna niiden etäisyydellä itsellään kerrottuna, ja on tämä vaikutus poistovoima, jos kappaleissa on samaa; vetovoima, jos niissä on erilaista sähköä.

Jos molempien kappaleiden sähkövaraukset lisätään kaksin-, kolminkertaiseksi j. n. e. ilman että välimatkaa muutetaan, tulee veto- tai poistovoima nelin-, yhdeksänkertaiseksi j. n. e. Jos taas sähköpaljouksia muuttamatta välimatka lyhennetään puoleksi, kolmanneksi osaksi j. n. e., niin tulee voima nelin-, yhdeksänkertaiseksi j. n. e. Jos välimatka pitennetään kaksin-, kolminkertaiseksi, niin voima on neljäs-, yhdeksäsosa siitä, mitä se oli. Laki on siis



Kuva 200. Coulombin kiertovaaka.

vetovoimalaki, ainoa ero on, että kappaleiden sähköpaljoudet ovat tulleet kappaleiden massojen sijaan. Lain voikin näyttää toteen samanlaisella koneella kuin painollisten massojen vetovoiman. *Coulombin kiertovaaka* on sylinterimäinen lasiastia. Keskellä kantta on lasiputki. Lasiputken yläpäästä riippuu hienossa hopealangassa lasiastian sisällä ebonititanko, jonka yhdessä päässä on pieni johtava pallo tai pystysuora kultapaperilevy, toisessa päässä vastapaino. Lasiastian kannessa olevan reiän kautta voi astian sisään pistää ebonititangon, jonka päässä on myös pieni johtava pallo. Ensin asetetaan vaaka sellaiseen asemaan, että molemmat pallot koskettavat toisiinsa, jolloin ebonititankoa kannattava lanka ei ole ollenkaan kiertynyt. Kanteen kiinnitetty tanko otetaan ulos ja sen päässä oleva pallo tehdään sähköiseksi. Tanko pis-

tetään taas lasiastiaan, jolloin siitä johtuu sähköä toiseen palloon. Pallot poistavat toisiansa ja liikkuvan pallon poistuessa kiertyy hopealanka, kunnes kiertymisestä syntynyt vastus ja sähköinen poistovoima ovat tasapainossa. Lasisylinterin seinään piirretystä asteikosta nähdään kiertymiskulman suuruus. Nyt kierretään hopealangan kiinnityspistettä vastakkaiseen suuntaan, kunnes ebonititangon poikkeamiskulma on vain puolet äskeisestä kulmasta. Pallojen välimatka on silloin lyhentynyt puoleksi, jollemme ota huomioon sitä, että liikkuva pallo kulkee ympyränkaarta eikä suoraa viivaa pitkin. Oletamme, että ebonititangon poikkeamiskulma oli ensin esim. 36° . Nyt on se 18° . Hopealangan kiinnityspistettä on kierretty 126° vastapäiseen suuntaan. Langan kiertyminen on kaikkiaan $18^\circ + 126^\circ = 144^\circ$. Koska kiertymisestä syntynyt voima kasvaa kuten kiertymiskulma, suhtautuvat siis sähköisten pallojen poistovoimat kuten 36 ja 144 eli kuten 1 ja 4. Tämä sisältää Coulombin lain mitä välimatkaan tulee.

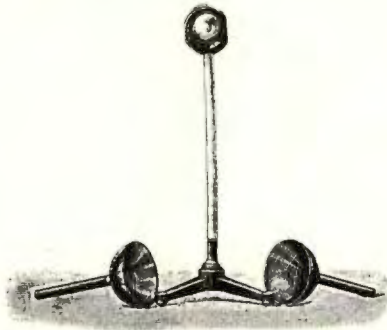
Sähkövarauksien vaikutuksen voi samoin näyttää kiertovaa'alla. Kiinteä ja liikkuva pallo ovat yhtä suuret. Koe tehdään ensin kuten äsken. Kun pallot ovat koskettaneet toisiansa, on molemmilla yhtä suuri sähkövaraus. Kiinteä pallo otetaan ulos ja koskettamalla sormella tehdään se sähköttömäksi. Pallo pannaan taas vaakaan, ja molemmat pallot saavat koskettaa toisiinsa toistamiseen. Liikkuva pallo luovuttaa kiinteälle puolet sähköstään. Molempien sähkövaraus on nyt puolet siitä, mitä se äsken oli. Huomaamme, että ebonititangon poikkeamiskulma pienenee puoleksi, pallojen välinen voima on vähentynyt neljänneksi osaksi.

Coulombin lain avulla voimme hankkia myös mitan, millä sähköpaljouksia mitataan. Kahden sähköpaljouden poistotai vetovoimaa voimme, kuten muitakin voimia, mitata voimayksiköllä. Meidän voimayksikkömme oli dyne. Sitä sähkömäärää, joka toiseen yhtä suureen sähkömäärään, minkä välimatka ensimmäisestä on 1 cm, vaikuttaa 1 dynen voimalla, nimitämme *elektrostatiseksi yksiköksi*, s. o. yksiköksi, jolla levossa olevia sähköpaljouksia mitataan. Kun muistamme miten pieni voima dyne on, niin ymmärrämme, että nyt löydetty sähköyksikkö käytännöllisiä tarkoituksia varten on liian pieni. Senpä vuoksi valitaankin käytäntöä varten yksikkö, joka on

kolmetuhatta miljonaa kertaa suurempi. Tämä yksikkö saa sähköopissa nimen *Coulomb*. Yksikkö Coulomb on suuri yksikkö. Jo sähkövaraus, joka on miljonasosa coulombia eli *mikrocoulomb*, saa aikaan voimakkaan vaikutuksen. Yksi mikrocoulomb sähköä kappaleessa vaikuttaa toiseen kappaleeseen, jossa myös on sama määrä sähköä, voimalla 9 milj. dyneä eli lähes 10 kg, jos kappaleiden väli on 1 cm. Ajattelempa toisen näistä kappaleista sijoitetuksi vaakakuppiin ja toisen vaakakupin alle 1 cm edellisestä. Toiseen vaakakuppiin tulee silloin asettaa punnuksia lähes 10 kg pitämään vaakaa tasapainossa, jos kappaleiden sähköt ovat vastaisia, joten niiden välillä vaikuttaa vetovoima.

Coulombin laki on kuitenkin ollakseen yleensä oikea täydennettävä eräässä suhteessa. Ei ole nimittäin yhdentekevää, mitä ainetta noiden kahden sähköisen kappaleen välillä on. Englantilainen *Faraday* († 1867) huomasi v. 1837, että asia ei niin ole. Kappaleiden sähkövaraus vaikuttaa nimittäin myös välillä olevaan aineeseen, joten kappaleiden sähköinen vaikutus toisiinsa on aina pienempi kuin siinä tapauksessa, että niiden välillä on ilmaa. Niinpä, jos äskeisessä esimerkissä kappaleiden välillä olisi ebonitia, niin niiden välinen vetovoima ei olisikaan 10 kg, vaan 10 : 2,6 kg. Jos välillä olisi petroleumia, olisi voima 10 : 2,2 kg j. n. e. Luvut 2,6, 2,2 j. n. e., joilla voiman suuruus siinä tapauksessa, että kappaleiden välillä on jotakin kaasua, on jaettava saadaksemme voiman suuruuden siinä tapauksessa, että kysymyksessä oleva kiinteä tai nestemäinen aine on sähköisten kappaleiden välillä, saavat nimen aineiden *dielektrisitetikonstanti* (eristäjävakio). Tulemme vastedeskin näistä luvuista puhumaan.

On selvää, että samassa kappaleessakin löytyvän sähkön eri osat poistavat toisiansa. Jos johtajan johonkin pisteeseen saatetaan sähköä, leviää sähkö osien välisen poistovoiman vaikutuksesta niin kauas kuin se voi levitä. Seurauksena on, että koko sähkövaraus leviää johtajan pinnalle. Kun sähkö johtajalla on tullut tasapainoon, niin sähköä on ainoastaan johtajan pinnalla, sisältä on johtaja vallan sähkötön. Faraday teki kokeita todistaakseen tätä seikkaa. Muun muassa valmisti hän suuren kuution kuparilangasta ja päällysti sen tinapaperilla. Kuution särmä oli 3 m. Kuutio eristettiin ja Fara-



Kuva 201.
Sähkö leviää vain johtajan pinnalle.

pinnalle ja, jos puolipallot erotetaan metallipallosta, on pallo sähkötön ja puolipallot sähköiset.

Tämä omituinen seikka, että johtajan sähkövaraus on ainoastaan johtajan pinnalla, saattaa meidät luonnollisesti hakemaan vastausta kysymykseen: mitä on sitten johtajan tai muun sähköisen kappaleen sähkövaraus? Vuosisatoja ovat etevimmät tiedemiehet tällä kysymyksellä päättäneet vaivanneet ja tuskinpa sekään mielipide, mikä meillä tästä seikasta nyt on, lienee tieteen viimeinen sana tässä suhteessa. Englantilainen *Symmer* († 1763) esitti sen opin sähköstä, että löytyy kahta lajia sähköainetta, positivistista ja negativista. Kappaleissa on aina yhtä paljon molempia sekoitettuna, jolloin kappale on sähkötön. Kun kahta kappaletta hangataan vastakkain, siirtyy yksi sähköaine toiseen, toinen taas toiseen kappaleeseen, jolloin kappaleet tulevat vastaisesti sähköisiksi. Kuuluisa tiede- ja valtiomies *Benjamin Franklin* († 1790) oli sitä mieltä, että löytyy vain yhtä lajia sähköainetta. Jos kappaleessa löytyvä määrä tätä ainetta syystä tai toisesta lisääntyy, saa kappale positivistisesti sähköiset ominaisuudet, jos sähköainemäärä vähenee, tulee kappale negativisesti sähköiseksi. Yhä uusia ilmiöitä sähköopin alalla keksittiin. Kek-sittiin sähkövirrat, keksittiin sähköön vaikutus magnetiin, keksittiin sähkövirran vaikutukset toiseen sähkövirtaan j. n. e. Monet näistä ilmiöistä osoittautuvat selvästi olevansa tapah-

day meni itse kuution sisään mukanaan tunnokas elektroskopi. Kuutioon johdettiin sähköä, mutta ei jälkeäkään sähköstä voinut hän huomata kuution sisällä. Toinen koe on myös hyvin yksinkertainen. Eristettyyn metallipalloon johdetaan sähköä. Kaksi eristävillä kädensijoilla varustettua puolipalloa asetetaan pallon ympärille. Sähkö leviää silloin puolipallojen

tumia eetterissä. Senvuoksi saikin kuluneella vuosisadalla yhä enemmän jalansijaa se mielipide, että sähköiset ilmiöt ovat yksinomaan muutoksia eetterissä, mitään sähköainetta ei ole olemassa. Epäilemättä mentiin tässä liian pitkälle vastakkaiseen suuntaan aikaisempiin mielipiteisiin nähden. Totuus on ehkä tässäkin, niinkuin usein tapahtuu, keskivälillä. Oletamme nimittäin nykyään, että sähkö on todellakin ohuen ohutta ainetta ja että tätä sähköainetta on kahta eri lajia, positiivista ja negatiivista. Sähköaineen kokoomuksen ajattelemme samanlaiseksi kuin painollisen aineenkin, se on kokoonpantu osista, jotka eivät välittömästi kosketa toisiinsa, aine ei ole yhtenäinen. Samoin kuin puhumme raudan tai kullan atomeista, niin puhumme myös positiivisista ja negatiivisista sähköatomeista. Näitä sähköaineen atomia nimitämme *elektroneiksi*. Eristävissä aineissa ovat elektronit sidotut aineen painollisiin molekyleihin, ne eivät voi näissä aineissa vapaasti liikkua. Johtajissa sitävastoin ovat elektronit vapaita. Koska sähkö johtajassa kokoutuu yksinomaan johtajan pinnalle, niin oletamme, että johtajan pinnan ja sitä ympäröivän eristäjän, esim. ilman, välillä on mittaamattoman ohut kerros elektroneja. Elektronit tässä kerroksessa poistavat toisiansa, kerros pyrkii yhä edelleen laajenemaan, jonka kumminkin ympäröivä eristävä aine estää. Voisimme verrata tätä elektronikerrosta ja sen pyrkimistä laajenemaan saippuakuplaan, johon puhallamme ilmaa. Kuten saippuakuplan seinillä on niin suuri jänteys, että se juuri vastaa sisällä olevan ilman painetta, niin on tuolla elektronikerroksellakin *jänteys* eli kuten sitä tieteellisellä nimellä sanotaan *potentiali* niin suuri, että se vastaa sitä voimaa, millä kerros elektronien välisen poistovoiman vuoksi pyrkii laajenemaan.

Kuta enemmän sähköä johtajaan saatetaan sitä suuremaksi käy jänteys, sillä sitä lähempänä toisiansa ovat elektronit johtajan pinnalla. Samassa johtajassa on siis jänteys suoraan verrannollinen sähköpaljouteen, kasvaa tai pienenee kuten sähköpaljouskin. Jos taas sama sähkövaraus, esim. 1 mikrocoulomb, saatetaan eri suuriin johtajiin, niin sähköjen jänteys pienemmällä johtajalla on suurempi, sillä silloinkin pienemmän johtajan pinnalla elektronit ovat tiheämmässä. Vallan samoin käy, jos esim. 10 gr kaasua puristetaan suljet-

tuun lasipalloon. Kuta pienempi pallo on, sitä suurempi on kaasun jänitys pallossa. Johtajan *sähkövarautumiskyky* (*kapasiteti*) on johtajan sähkövarauksen ja johtajalla löytyvän jäniteyden suhde. Kuta suurempi sähkövaraus johtajaan mahtuu ennenkuin jänitys saa jonkun määrätyn arvon, sitä suurempi on johtajan varautumiskyky, kuta suuremman jäniteyden tietty sähkövaraus aikaansaa johtajassa, sitä pienempi on varautumiskyky.

Jos kahdella johtajalla on eri suuri sähkön jänitys ja johtajat yhdistetään johtavalla langalla, niin, koska johtajat silloin muodostavat yhden ainoan johtajan, täytyy jäniteyden koko johtajalla olla sama ja seurauksena on, että sähköä virtaa lankaa pitkin siltä johtajalta, jolla jänitys oli suurempi, sille, jossa jänitys oli pienempi. Huomaamme myös, että lanka, jonka läpi sähkö virtaa, lämpiää. Tiedämme, että mekaniikka työ muuttuu lämmöksi. Elektronien välinen poistovoima on siis tässä toimittanut mekaniikka työtä siirtäessään erään sähkömäärän yhdeltä johtajalta toiselle, jonka työn suuruuden voimme tarkoin määrätä määrämällä syntyneen lämmön suuruuden. Voisimme verrata tätä tapausta vesiputoukseen. Jos 10 kg vettä putoaa 40 m korkeudesta 20 m korkeuteen maanpinnasta lukien, on työ $10 \times 20 = 200$ kgm. Se on pudonneen veden painon ja matkan, minkä vesi on pudonnut, tulo. Sähkömäärä, joka yhdeltä johtajalta virtaa toiselle, vastaa veden painoa ja johtajien jäniteyksien ero vastaa veden putoamaa matkaa. Elektronien poistovoima, jos sähköt ovat samanlaisia, tai vetovoima, jos johtajilla on vastaista sähköä, vastaa painovoimaa. Saamme siis sen työn suuruuden, jonka sähkövoimat toimittavat siirtäessään jonkun sähkömäärän lankaa pitkin johtajalta toiselle, kertomalla siirretyn sähkömäärän johtajien jäniteyksien erolla. Oletamme, että siirretty sähkömäärä on 1 coulomb. Tämä kerrottuna jäniteyksien erolla on toimitettu työ. Siis kahden johtajan jäniteyksien ero on se työ, mikä toimitetaan, kun 1 coulomb sähköä siirretään johtajalta toiselle. Tästä voimme myös saada yksikön, jolla jäniteyksien eroa mitataan. Sanomme, että jäniteyksien ero on silloin yksikkö, kun 1 coulombin siirtämiseen johtajalta toiselle tarvitaan työ, joka on 1 kgm. Tällä yksiköllä ei ole erityistä nimeä. Jäniteyksien eron yksiköksi otetaan nyt mainittu yk-

sikkö jaettuna luvulla 9,81. Siis on jänneyksien ero 1, kun 1 coulombin siirtämiseen johtajalta toiselle kuluu $\frac{1}{9,81}$ kgm työtä. Yksikkö saa nimen *Voltti*.

Jos johtaja pannaan yhteyteen maan kanssa, häviää sähkön jänneys johtajalla kokonaan, koska sähkömäärä leviää maapallon suurelle pinnalle. Voimme siis sanoa, että maan sähköjänneys on nolla ja on siis johtajan ja maan jänneyksien ero juuri johtajan jänneys.

Jänneyden suoranaiseen mittaamiseen voi käyttää elektroskopia. Kuta enemmän elektroskopin lehdet eroavat toisistaan, kun sen pallolla kosketetaan sitä kappaletta, jolla sähkön jänneyttä halutaan määrätä, sitä suurempi on sähkön jänneys kappaleella. Löytyy elektroskopeja, joissa asteikolta voi lukea jänneyden voltina.

Meillä on nyt sähkövarauksen yksikkö coulomb ja jänneyden yksikkö voltti. Johtajan sähkövarautumiskyky oli johtajan sähkövarauksen ja jänneyden suhde. Voimme siis sanoa, että sen johtajan varautumiskyky (kapasiteti) on yksi, jossa sähkövaraus 1 coulomb aikaansaa sähkön jänneyden 1 voltti. Tätä varautumiskyvyn yksikköä nimitetään *Farad*. Tavallisesti käytetään tästäkin yksiköstä miljonasosa, *mikrofarad*.

Joskin sähkön jänneys eri pisteissä johtajan pinnalla on sama, kun sähkö on tasapainossa, niin siitä ei laisinkaan seuraa, että jokaisella pintayksiköllä on sama määrä sähköä, sama luku elektroneja. Tämä seikka on näet kokonaan riippuva siitä, mikä muoto pinnalla kullakin paikalla on. Puhutaan sähkön tiheydestä eri paikoilla pinnalla ja tarkoitetaan tällä sitä sähkömäärää, mikä on esim. jokaisella neliömillimetrillä. Jos johtaja on pallon muotoinen, on tiheys kaikkialla yhtä suuri, sähköinen kerros on kaikkialla pallon pinnalla yhtä paksu. Litistetyn pallon pinnalla on sähkön tiheys pitkin ympyrää, joka on yhtä kaukana pallon navoista, suurin, sähkökerros pitkin tätä ympyrää on paksuin. Litteän levyn pinnalla on tiheys aivan vähäisen keskellä ja kasvaa reunoihin päin. Sylinterin, jonka päät ovat puolipalloja, pinnalla on tiheys suurin sylinterin päissä. Huomaamme, että kuta kaarevampi pinnan osa on sitä suurempi on sähkön tiheys sillä pinnan osalla. Suu-

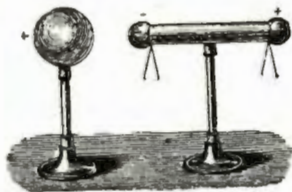
rin kaarevuus, jos sitä niin enää voimme kutsua, on pinnalla terävässä kärjessä. Sellaisella pinnan paikalla on sähköön tiheys erinomaisen suuri, elektroneja on siinä erinomaisen tiheässä. Ne poistavat toisiansa erittäin voimakkaasti ja seurauksena on, että ne voittavat ympäröivän eristävän aineen vastustuksen, etenkin, jos se aine on kaasua, ja poistuvat kärjestä johtajasta pois. Että kärjestä puhaltaa ikäänkuin tuuli, sähköinen tuuli, tunnemme, jos panemme kätemme lähelle kärkeä. Kynttilän liekki taipuu kärjestä pois päin, voipipa tuuli sammuttaakin kynttilän. Tietysti tämä tuuli ei ole ainoastaan kärjestä virtaavia elektroneja, vaan elektronien liike ilman läpi panee myös ilman virtaamaan. Kuten astiasta seinässä olevan aukon kautta virtaava neste painaa astian vastaista seinää, niin sähköinen tuulikin painaa kärkeä tuulen vastaiseen suuntaan. Jos kärki on liikkuva, väistyy se mainittuun suuntaan. Tähän seikkaan perustuu *sähköturbiini* eli *sähkömylly*. Metallilangasta tehdään risti. Jokainen ristin säde taivutetaan lähellä päätä kohtisuoraksi sädettä vastaan, kaikki samman päin ja päät teroitetaan kärjiksi. Risti voi helposti pyöriä vaakasuorassa asemassa keskipisteensä ympäri. Jos risti tehdään sähköiseksi, alkaa se pyöriä kärkien vastaiseen suuntaan.

XIX.

Influenssisähkö. Sähkövarauskyvyn lisääminen lähelle asetetun johtajan avulla. Leydenin pullo. Kärkien vaikutus. Sähkökoneet. Kokeita sähkökoneella.

Kun elektroskopin palloa kosketettiin sähköisellä kappaleella, johtui sähkö elektroskopiin ja sen levyt erosivat. Huomaamme kumminkin, että levyt erosivat jo ennenkuin sähköinen kappale on koskettanutkaan elektroskopin palloon. Lehdet pysyvät erillään niinkauan kuin sähköistä kappaletta pidetään elektroskopin läheisyydessä, mutta laskeutuvat taas yhteen, kun sähköinen kappale poistetaan. Sähköinen kappale voi siis johtajassa herättää sähköisen tilan ainoastaan läheisyydellään. Tätä ilmiötä nimitetään sähköiseksi *influenssiksi* ja näin herätettyä sähköä *influenssi-* eli *jakosähköksi*.

Jos lähemmin tarkastamme ilmiötä, huomaamme heti eron influenssin kautta sähköiseksi tehdyn johtajan ja hankamalla tai johtamalla sähköiseen tilaan saatetun johtajan välillä. Influenssisähkö pysyy eristetyllä johtajalla ainoastaan niinkauan kuin sähköinen kappale on sen läheisyydessä ja toiseksi huomataan johtajalla molempia sähkölajia, sekä positiivista että negatiivista. Osa johtajaa, se osa, joka on sähköiseen kappaleeseen päin, sisältää sähköisen kappaleen sähkön vastaista sähköä ja sähköisestä kappaleesta pois käännetty osa samaa sähköä kuin sähköinen kappale. Otetaan eristetty metallisylinteri ja ripustetaan pitkin sylinteriä liinarihmoihin seljapuupalloja parittain. Lähestytetään sitten sy-

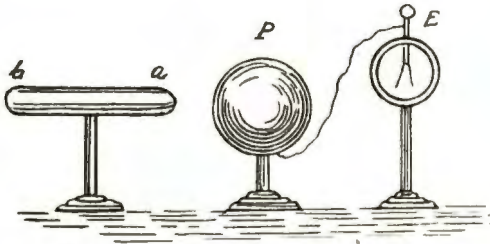


Kuva 202
Sähköinen influenssi johtajassa.

linterin yhteen päähän positivisesti sähköistä lasipalloa. Nähdään kuinka seljapuupallot eroavat toisistaan. Enin eroavat ne sylinterin molemmissa päissä, eroaminen vähenee sylinterin keskustaa kohti ja keskellä sylinteriä eivät pallot eroa ollenkaan. Lasipallon puoleinen sylinterin puolisko on negativisesti, pois päin käännetty puolisko positivisesti sähköinen. Keskellä on sylinteri sähkötön. Sylinterissä löytyvät positiviset ja negativiset elektronit eroavat nähtävästi, pallon positivinen sähkö vetää negativiset elektronit pallon puoleiseen päähän ja poistaa positiviset toiseen päähän.

Jos sylinteri pannaan johtavaan yhteyteen maan kanssa, niin poistettu positivinen sähkö johtuu maahan, mutta ei negativinen, sillä lasipallon positivinen sähkö sitoo sen. Jos yhteys maan kanssa katkaistaan, niin on sylinterillä ainoastaan negativista sähköä lasipallon puoleisessa päässä. Toinen pää on sähkötön. Poistamme nyt lasipallon. Negativinen sähkö sylinterillä tulee vapaaksi ja leviää yli koko sylinterin pinnan, mikä huomataan siitä, että sähköheilurit sylinterin poiskäännetyssäkin päässä eroavat. Täten voimme siis influenssin avulla tehdä johtajan pysyvästikin sähköiseksi.

Olemme olettaneet, että sähköinen kappale, joka aikaansai sähkönsä jakautumisen sylinterillä, oli eristävää ainetta. Sillä löytyvä sähkö ei voi siirtyä pallon pintaa pitkin. Hiukan toisenlaisiksi käyvät tapahtumat, jos sähköinen kappale on johtaja, metallipallo. Metallipallo aikaansaa kyllä sähkönsä jakautumisen sylinterillä vallan samalla lailla kuin lasipallo, mutta sylinterillä löytyvä sähkö vaikuttaa puolestaan metallipallon sähköön. Pallolla löytyvä sähkö siirtyy pallon pintaa pitkin sylinteriin päin, jonne sitä vetää sylinterin pallonpuoleisessa päässä oleva vastainen sähkö. Sähkönsä tiheyden metallipallolla täytyy siis sylinterin sähkönsä vaikutuksesta muuttua, pallon sähkö keräytyy sylinterin puolelle palloa. Tosin sylinterin poiskäännetyssä päässä löytyvä sähkö, joka on samaa kuin metallipallon sähkö, osaksi estää sähkönsä siirtymistä metallipallolla, mutta jos sylinteri pannaan johtavaan yhteyteen maan kanssa, poistuu samanlainen sähkö sylinteristä, jolloin sylinterin vaikutus palloon on vieläkin voimakkaampi. Mutta ei ainoastaan sähkönsä tiheys metallipallon eri pisteissä muutu, vaan myöskin sähkönsä jätteys pallolla. Sähkönsä jätteys metal-



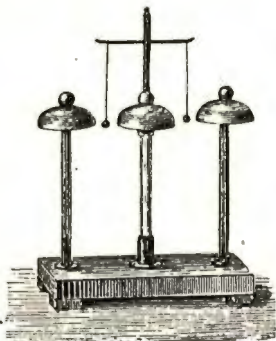
Kuva 203 Influenssin aikaansaava kappale on johtaja.
P metallipallo. E elektroskopi.

lipallolla on, kuten tiedämme, se työ mikä tarvitaan saattamaan palloon 1 coulomb sähköä. Pallossa löytyvä sähkö tietenkin vastustaa sähköä, joka on samaa laatua kuin pallon sähkö, saattamista palloon. Pallon läheisyydessä oleva sylinterin vastainen sähkö taas vetää tuota metallipalloon saatettavaa sähköä ja helpottaa siten tuon sähkömäärän, coulombin, saattamista palloon. Osan tarvittavasta työstä toimittaa siis sylinterin sähkö, joten työ, joka on tarpeen 1 coulombin saattamiseen metallipalloon, on pienempi kuin tämä työ olisi, jollei sylinteri olisi pallon läheisyydessä.

Kokeellisesti voi nyt kertomamme seikat myös näyttää. Yhdistetään metallipallo, joka tietysti on eristetty, elektroskopiin. Johdetaan palloon sähköä. Elektroskopi näyttää jotakin jätneyttä, esim. 2,000 voltia. Nyt asetetaan sylinteri pallon läheisyyteen; elektroskopi näyttää vain esim. 1,700 voltia. Sylinteri pannaan yhteyteen maan kanssa. Elektroskopi näyttää vain 900 voltia.

Metallipallon sähkövaraus ei tietenkään ole muuttunut. Sähkön jätneyks on pienentynyt. Siis sähkövarauskyky, joka on sähkövarauksen ja jätneyden suhde, on suurentunut. Voimme siis saattaa palloon lisää sähköä siksi kunnes sähkön jätneyks taas on sama, mikä se oli, ennenkuin sylinteri asetettiin pallon läheisyyteen.

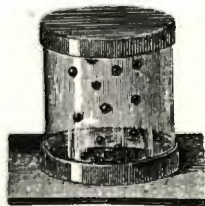
Influenssi selittää meille myös miksi sähköinen kappale vetää toisia kevyitä kappaleita, paperipalasia, höyheniä ja sähköheiluria. Kun positivisesti sähköistä lasitankoa lähestytetään sähköheiluriin, aikaansaa tangon sähkö heilurin pallossa sähkön jakautumisen; negatiivista sähköä tangon puolelle,



Kuva 204. Sähköiset kellot.

metallipallo kahden kellon väliin, joista toinen on eristetty, toinen ei ole. Eristettyyn kellon johdetaan sähköä ja annetaan pallon koskettaa sitä. Kello poistaa palloa. Se liikkuu eristämättömää kelloa kohti. Tällä kellolla syntyy influenssin kautta vastaista sähköä ensimmäisen kellon sähköön nähden ja kello vetää palloa. Pallo lyö eristämättömään kellon, saa samaa sähköä kuin kellolla on, kello poistaa palloa, mutta eristämättömän kello vetää sitä. Siten heiluu pallo kellojen välillä (sähköinen kellonsoitto). Lasisylinteriin, jolla on metallinen kansi ja pohja, pannaan seljapuupalloja. Kanteen johdetaan sähköä, pohja ei ole eristetty. Pallot hyppäivät kannen ja pohjan välillä (sähköiset rakeet).

Tämän pienen poikkeuksen jälkeen palajamme takaisin kahteen lähekkäin asetettuun johtajaan V. 1745 koetti von *Kleist* tehdä vettä sähköiseksi. Sitä varten oli hän täyttänyt pullon vedellä. Pulloa piti hän kädessään ja johti veteen sähköä metallipuikolla, joka oli pistetty pulloon. Kun hän mielestään oli johtanut kyllin sähköä veteen, tarttui hän toisella kädellään puikkoon vetääkseen sitä ulos pullosta. Hän sai silloin tavattoman kovan sähköiskun. Tunteamatta von *Kleistin* koetta teki *Leydenin* professorin *van Musschenbroekin* oppilas *Cuneus* saman kokeen samalla tuloksella. Van *Musschen-*



Kuva 205. Sähköiset rakeet.

positivista vastaiselle puolelle. Tangon positiivinen sähkö vetää pallon negatiivista ja poistaa positiivista sähköä. Pallon negatiivinen sähkö on kumminkin lähempänä tankoa, jonka vuoksi vetovoima voittaa. Kun pallo koskettaa tankoon, yhtyy pallon negatiivinen sähkö vastaavaan määrään positiivista sähköä tangolla, jolloin pallossa on vain positiivista sähköä. Tanko poistaa nyt palloa. Löytyy koko joukko koneita, jotka perustuvat samaan seikkaan. Ripustetaan silkkirihmaan

broek uudisti kokeen ja sai niin kovan iskun, että hän kirjeessään Réaumurille kertoessaan kokeestaan sanoo: »en millään ehdolla, en, vaikkapa minulle tarjottaisiin Ranskan kruunu, halua koetta uudistaa.»

Mitä tapahtui tässä kummallisessa pullossa, joka sittemmin saikin nimen »*Leydenin pullo*»? Oletamme, että meillä on kaksi johtavaa levyä, A ja B, asetettuina vastakkain ja eristettyinä. Levy A yhdistetään johonkin sähkölähteeseen. Jos levyjen väli on suuri, niin levyn A sähkö ei vaikuta laisinkaan levyyn B ja levy A saa saman jännityksen kuin sähkölähteellä on. Jos nyt levy B asetetaan lähelle levyä A ja levy B yhdistetään maahan, niin levyn A sähköjännitys pienenee, kuten olemme nähneet. Sähkölähteestä virtaa taas uutta sähköä levyille A. Tämä uusi sähkömäärä vaikuttaa taas influenssilla levyyn B vallan samalla lailla kuin alkuperäinen sähkömäärä. Levyn A jännitys vähenee taas ja sähkölähteestä virtaa sille uutta sähköä. Luulisi, että tällä tavalla voi levyille A, *kerääjälevylle*, koota kuinka paljon sähköä hyvänsä kunhan vain levy B, *varaamislevy*, asetetaan sen läheisyyteen. Niin ei asian laita kumminkaan ole, sillä kuta enemmän sähköä tällaiseen sähköön *varaajaan* (kondensatoriin) keräytyy sitä suuremmalla voimalla pyrkivät vastaiset sähköt levyillä yhtymään. Vihdoin ei levyjen välillä oleva eristävä aine voi pitää sähköjä erillään, levyjen välillä tapahtuu sähköön purkautuminen, niiden välillä lyö sähkökipinä. Sen kauemmaksi ei sähköä voi kerätä.

Kuinka paljon sähköä varaajalle voi koota, kuinka suuri varaajan varautumiskyky on, se riippuu varaajan koosta, sen muodosta ja vihdoin levyjen välisestä aineesta. Olemme jo puhuneet Faradayn keksimästä aineiden eristäjävakioista ja sen merkityksestä Coulombin lakiin nähden. Kuta suurempi aineen eristäjävakio on sitä pienempi on sähköjen, joita aine erottaa, vetovoima. Pienin vakio on kaasulla, kaikilla sama. On siis edullista käyttää levyjen välillä jotakin muuta eristävä ainetta kuin ilmaa, esim. lasia, jonka vakio on 6—10 kertaa niin suuri kuin ilman, riippuen lasin laadusta. Sellainen varaaja on juuri Leydenin pullo. Van Musschenbroekin kokeessa oli pulloon kaadettu vesi kerääjälevynä ja kokeen tekijän käsi varaamislevynä. Leydenin pullolle annetaan nykyään seuraava muoto. Sylinterimäisen lasiastian sekä ulko-



Kuva 206.
Leydenin pullo.

että sisäpinnalle liimataan noin $\frac{2}{3}$ sylinterin korkeudesta tinapaperia. Sylinteri suljetaan kannella, jonka läpi pistetään metallitanko. Sen alapää koskettaa sisäpuolista tinapaperia ja yläpää päättyy palloon. Pullo varataan sähköllä siten, että sisäpuolinen päällystys pannaan yhteyteen sähkölähteen kanssa ja ulkopuolinen maan kanssa pitämällä pulloa kädessä. Sisäpuolinen päällystys saa silloin yhtä sähköä, ulkopuolinen vastaista. Jos päällystykset sitten yhdistetään esim. koskemmalla niitä käsillä, tapahtuu purkautuminen ja ruumis tuntee väkevän sähköiskun. Pullon varautumiskyky on riippuva päällystysten suuruudesta ja välillä olevan lasin paksuudesta. Kuta suuremmat päällystykset ovat ja kuta ohuempi lasi sitä suurempi on varautumiskyky. Molemmilla on kumminkin käytännöllisistä syistä rajansa. Voipi kumminkin saada varautumiskyvyn suurennetuksi siten, että käytetään useampia pulloja. Sisäpuoliset päällystykset yhdistetään keskenään ja ulkopuoliset samoin. Sellainen sähköpatteri vastaa yhtä pulloa, jonka päällystykset olisivat kaikkien pullojen päällystysten summa. Sen varautumiskyky on kaikkien pullojen varautumiskykyjen summa.

Hangattu lasitanko tai lakkatanko sisältävät aivan vähäisen määrän sähköä. Sähkökokeisiin tarvitaan paljon suurempia sähkömääriä. Senpä vuoksi onkin rakennettu erilaisia sähkökoneita, jotka antavat runsaammin sähköä. Ne perustuvat osaksi hankautumiseen osaksi influenssiin. Ymmärtääksemme näitä koneita tulee meidän vähän tarkastaa sitä vaikutusta, mikä terävällä kärjellä on, joka on kiinnitetty johtajaan, jossa influenssin kautta syntyy sähköä. Olkoon kärki kiinnitetty johtajan päähän, joka on sähköisestä kappaleesta pois käännetty. Kärjen kautta virtaa silloin johtajalta pois sähkö, joka on samaa lajia kuin sähköisen kappaleen ja johtajalle jää ainoastaan sähköisen kappaleen sähkön vastaista sähköä. Jos kärki on johtajan sähköiseen kappaleeseen päin käännettyssä päässä, virtaa sen kautta johtajasta pois sähköisen kappaleen sähkön

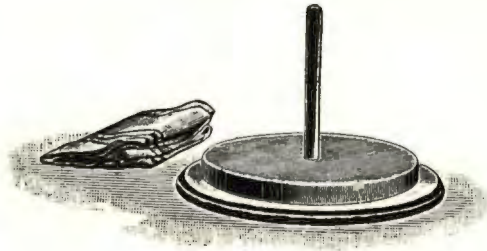
vastainen sähkö ja johtajalle jää siis samaa sähköä kuin sähköisellä kappaleella on. Myös sähköiseen kappaleeseen vaikuttaa kärki tässä tapauksessa. Sähkön tiheys sähköisellä kappaleella on tietysti suurin kärjen vastassa olevassa pisteessä. Kappaleelta virtaa siis myös sähköä ulos kärkeä vastaan. Sähköisen kappaleen sähkö vähenee myös. Näyttää



Kuva 207. Ramsdenin sähkökone.

siltä kuin kärki imisi pois sähköisen kappaleen sähkön.

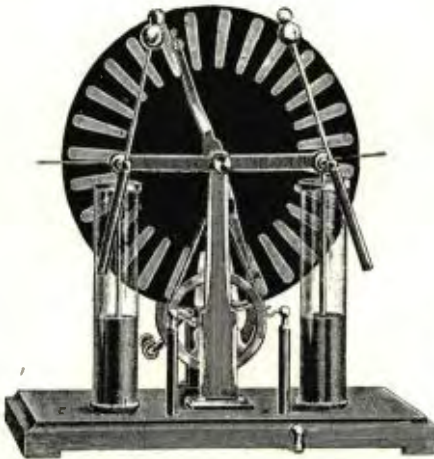
Vanhemmat sähkökoneet perustuivat hankaukseen. Koneen pääosa oli lasinen pallo tai levy, joka pyöriessään ympäri hankasi jotakin ainetta. Wittenbergin professori *Bose* († 1761) rakensi koneen, jossa lasipallo pyöriessään hankasi kokeilijan kättä vastaan. Pallon läheisyyteen ripusti hän silkkirihmoihin metalliputken, jossa influenssin kautta syntyi sähköä. *Winkler* käytti käden asemasta nahkapatjaa, joka myöhemmin siiveltiin tinan ja elohopean sekoituksella. *Ramsden* käytti pallon asemasta lasilevyä. Näillä koneilla on nykyään vain historiallinen merkitys. Kerromme kumminkin miten Ramsdenin kone oli rakennettu. Lasilevy pyöri akselin ympäri ja hankaa kahta tinan ja elohopean sekoituksella päällystettyä nahkapatjaa vastaan, yksi levyn kummallakin puolella. Lasilevy tulee positivisesti sähköiseksi, patjat negatiivisesti. Levy kulkee edelleen pyöriessään kahden renkaan välitse, jotka levyyn päin ovat varustetut terävillä kärjillä ja ovat yhteydessä eristetyn metallipallon tai tangon kanssa, koneen johtajan (konduktorin) kanssa. Kärjet »imevät», kuten äsken selitimme, levyn positiviisen sähkön ja johtajaan keräytyy positivistä sähköä. Kärkien välitse kulkiessaan menettää lasilevy sähkönsä, mutta tulee uudelleen sähköiseksi kulkiessaan patjojen välitse. Koneella saadaan johtajaan yhtämittaa positivistä sähköä.



Kuva 208. Elektrofori.

Influenssiin perustuva kone on *Alessandro Voltan* († 1827) keksimä *elektrofori*. Se tosin ei anna sähköä yhtämittaa, mutta kuitenkin enemmän kuin lasi- tai lakkatanko. Ebonitista tehtyä levyä hangataan villavaatteella tai revonhännällä. Se saa negatiivista sähköä. Levyn päälle lasketaan eristävällä kondensijalla varustettu metallilevy. Tällä levyllä tapahtuu sähköön jakautuminen, positiivinen sähkö kokoutuu ebonitilevyn puolelle ja negatiivinen poistuu levyn ulkopuolelle. Kosketaan metallilevyä sormella. Negatiivinen sähkö johtuu maahan ja levy on positivisesti sähköinen, kun se nostetaan pois ebonitilevyltä.

Kun eboniti on huono johtaja, ei se luovuta sähkönsä. Ebonitin ja metallilevyn vastaiset sähköt eivät siis yhdy, vaikka levyt koskettavat toisiansa. Vasta pitkän ajan kuluessa yhtyvät ne.



Kuva 209. Wimshurstin sähkökone.

Uudemmissa influenssikoneista ansaitsee huomiota *Wimshurstin* kone. Kone ei tosin ole Wimshurstin keksintö, se on Dresdenin professorin *Töp-*

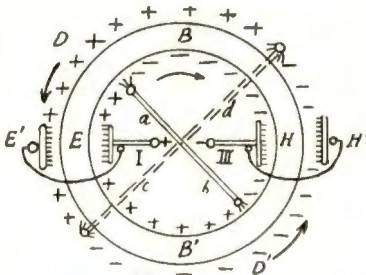
lerin ja Greifswaldin professorin Holtzin alkujaan keksimä. Kone on n. s. itseherättävä kone, se joutuu itsestään käyntiin, kun sitä vain pyöritetään. Koneessa on kaksi lasi- tai ebonitilevyä, joiden väli on noin 5 mm. Levyt pyörivät vastakkaisiin suuntiin. Levyjen ulkopuolisille pinnoille on liimattu kehä ympäränlohkon tapaisia metallilevyjä.



Kuva 210.

Molempien levyjen reunaa ympäröi oikealla ja vasemmalla kädellä metallihanko, jossa levyjä kohti on teräviä kärkiä. Näistä hangoista jatkuvat lasi- tai ebonitipylväiden kannattamat metallitangot, jotka päättyvät siirrettäviin tankoihin, pallot tankojen päissä. Vielä on koneessa n. s. tasoittaja, yksi kumpaakin levyä varten. Ne ovat kaksi kiinteätä metallivartta asetetut levyjen halkasijoiden suuntaan. Niiden päissä on pehmeästä metallilangasta tehty sivellin, joka levyjen pyöriessä pyyhkii levyillä löytyviä metallilohkoja. Tasoittajat ovat kohtisuorassa asemassa toisiinsa nähden ja muodostavat noin 50° kulman ennen mainittujen metallihankojen kanssa.

Olkoon kuvassa 210 BB' yksi levy lohkoineen, DD' toinen levy. Levyt ovat selvyiden vuoksi kuvatut eri suurina. Ensimmäisen levyn tasoittaja on ab, toisen cd. Nuolet osoittavat levyjen pyörimissuuntaa. Oletamme, että joku lohko pienemmällä levyllä, lohko 1, sisältää syystä tai toisesta, vaikkapa koneen edellisestä käytöstä, rahtusen negativista sähköä. Levy pyörii myötäpäivään ja lohko kulkee suuremman levyn lohkojen ohi aikaansaaden niissä influenssin kautta sähköän jakautumisen. Kun lohkot kumminkin ovat eristetyt, yhtyvät sähköt niillä uudelleen, niinpian kuin lohko 1 on kulkenut ohi. Mutta kun lohko 1 tulee lohkon 2 kohdalle, joka juuri on suuremman levyn tasoittajalla yhdistetty lohkokoon 3, niin positiivinen sähkö jää lohkokoon 2 ja negatiivinen menee tasoittajaa pitkin lohkokoon 3. Koska suurempi levy pyörii vastapäivään, niin lohkot 2 ja 3 eroavat samalla tasoittajasta, niiden sähköt eivät pääse yhtymään, joten lohko 2 jää positiiviseksi ja lohko 3 negatiiviseksi. Suuremman levyn mukana pyörii lohko 3 ja saapuu



Kuva 211.

nähdään, miten levyjen sähkö vaikuttaa hankojen kärkiin. Hangon EE' kärjet imevät molemmilta levyiltä positivistä, hangon HH' kärjet negativistä sähköä.

Palloihin, joihin koneen johtajat päättävät, keräytyy vihdoin niin paljon vastaisia sähköjä, että sähköt, kun pallot vedetään erilleen, yhtyvät ilman läpi. Nähdään pallojen välillä sinertäviä säteitä kimppuna ja samalla kuuluu sihisevä ääni. Tällainen purkautuminen saa nimen *suihkupurkautuminen*. Jos kumpaankin koneen johtajaan yhdistetään Leydenin pullon sisäpuolinen päällystys, saadaan toisenlainen purkautuminen. Leydenin pullot lisäävät suuressa määrin johtajan sähkövarauskykyä ja niille keräytyy suuri määrä sähköä ilman että purkausta tapahtuu. Kun purkaus vihdoin tapahtuu, lyö johtajien välillä sähkökipinä, saadaan *kipinäpurkaus*.

Sähkökoneesta otetulla sähköllä voi tehdä koko joukon hauskoja kokeita, joita sopii vaihdella melkein lukemattomilla tavoilla. Kerromme muutamista.

Kun sähkökone pannaan käymään pimeässä, välähtelee valo kaikkialla koneessa. Etenkin johtajien kärjissä huomataan valo-ilmiöitä. Positiivinen sähkö virtaa kärjistä valotöyhtöinä ja negativisissa kärjissä nähdään pieniä valopalloja. Johtajien pallojen välillä iskevä kipinä on sinisen valkea ja kestää muutamia miljoonasosia sekunnista. Se on niin lyhytaikainen, että koneen levyjen metallilohkot sen valossa näyttävät olevan paikoillaan, vaikka levyt pyörivät. Jos kipinän kuvaa tarkastetaan pyörivässä peilissä, nähdään se valokuovana, jonka tummat paikat katkaisevat. Tästä voimme päätää,

lohkon 4 kohdalle pienemällä levyllä. Lohko 4 tulee positivisteksi ja negatiivinen sähkö menee tasoittajaa ab pitkin lohkoon 5. Nyt on 5 samassa tilassa kuin 1 alussa oli. Siten tulevat yhä uudet lohkot sähköisiksi ja jakautuu sähkö levyille kuten kuva 210 näyttää, jossa + on positivistä, — negativistä sähköä. Kuvassa 211

että se mikä meidän silmästä näyttää yhdeltä ainoalta kipinä-
tä, todella on kokoonpantu erinomaisen lukuisista purkauksis-
ta; purkaus tapahtuu pallojen välillä värähdysliikkeen tavoin
edestakaisin.

Jos johtajien pallojen väliin pannaan paperilevy, niin ki-
pinä lyö paperin läpi tehden siihen pieniä reikiä. Lasile-
vyn voi kipinäällä puhkaista, jos levy asetetaan kahden kärjen
väliin, joiden välillä useammista Leydenin pulloista kokoon-
pannun patterin kipinä lyö. Myös veden läpi voi kipinän antaa
lyödä. Hyvin eristettyjen johtolankojen päät asetetaan lä-
helle toisiansa veteen. Kun kipinä lyö niiden välillä, roiskuu
vesi astiasta ja usein särkyä astiakin.

Lämpövaikutuksia on kipinäällä myöskin. Kipinää seu-
raava ääni syntyy osaksi siitä, että sähkökipinä työntää il-
maa tieltään, osaksi siitä, että ilma kovasti kuumenee, laajenee
sen vuoksi, joten syntyy voimakas ohennus siinä, missä kipinä
lyö ilman läpi. Johtajat, joiden läpi sähkö purkautuu, kuu-
menevat. Ohut metallilanka käy hehkuvaksi ja lehtikultakais-
talle sulaa. Helposti palavat aineet, alkoholi, eetteri y. m. syt-
tyvät, jos niitä kaadetaan matalaan metalliastiaan, jonka reu-
naan kipinä saa lyödä.

Kemiallisia vaikutuksia on sähköpurkauksella myöskin.
Jos kipinä lyö hapen ja vedyn sekoituksen läpi, syttyy sekoi-
tus ja palaa räjähdyksellä; happi ja typpi yhtyvät muodostaen
typpihappoa; ammoniakkikaasu hajoaa, kun kipinä lyö sen
läpi j. n. e.

Ihmisruumis on hyvä johtaja. Henkilö asettuu seisomaan
lasijaloilla varustetulle jakkaralle ja koskee kädellään sähkö-
koneen yhtä johtajaa. Ruumis täyttyy silloin sähköllä, kevyt
tukka nousee pystyyn, kun hiukset poistavat toisiansa. Hen-
kilön ihosta saa sähkökipinöitä. Jos koskettaa käsillään ko-
neen molempia johtajia, niin sähköpurkaus käy ruumiin läpi, jol-
loin tuntee nyhtäyksiä lihaksissa, etenkin käsivarsien lihaksissa.

XX.

Galvanin ja Voltan kokeet. Sähkövirta. Sähköpari. Elektromotorinen voima. Ensimmäisen ja toisen luokan johtajat. Muutamia sähköelementtejä. Virran voimakkuus ja sen yksikkö. Ohmin laki. Johdon vastustus. Vastustusyksikkö. Ominaisvastustus. Joulen laki. Peltierin ilmiö. Lämpösähkövirrat. Lämpöparistot.

Kaikissa niissä kokeissa, joista olemme edellä kertoneet, on sähkö kehittynyt kappaleessa joko hankaamalla tai on näin sähköiseksi tehty kappale influenssin kautta kehittänyt sähköä toisessa kappaleessa. Aina 18:sta vuosisadan loppuvuosiin saakka oli tämä ainoa tunnettu tapa saada sähköä. Onnellinen sattuma johti silloin keksintöön, jolla oli arvaamattoman laajat sekä tieteelliset että käytännölliset seuraukset.

Luigi Galvani († 1798), anatomian professori Bolognan yliopistossa, kokeili eräänä iltana kokeiluhuoneessaan muutamien ystäviensä kanssa. Hänen kokeilujensa esineenä olivat hermot ja niiden toiminta. Hän oli pannut pöydälle, jolla oli sähkökone, äsken nyljetyitä sammakoita, joita hän käytti kokeissaan. Eräs läsnäolijoista kosketti veitsen kärjellä sammakon raajahermoja, jolloin raajoissa syntyi nyhtäyksiä. Galvanin puoliso huomautti, että nyhtäykset tapahtuivat silloin, kun kipinä löi sähkökoneessa. Tämä havainto antoi Galvanille aiheita pitkällisiin tutkimuksiin, joiden tarkoitus oli näyttää, että sähkö ja hermoissa vaikuttava voima olivat sama voima. V. 1789 halusi hän tehdä kokeita nähdäkseen mitä ilman sähkö vaikuttaisi sammakon lihaksiin. Sitä varten oli hän ripustanut sammakoita parvekkeen rautaiseen nojapuuhun kuparikoukuilla, jotka olivat pistetyt eläinten nyljettyjen takaraajojen hermojen läpi. Galvani huomasi kuinka sammakoiden

raajat joka kerta kun ne tuulen niitä heilutellessa sattuivat koskettamaan parvekkeen nojapuuta äkkiä vetäytyivät kokoon. Näistä seikoista teki Galvani sen johtopäätöksen, että eläinten ruumiissa on erityistä sähköä, joka löytyy etupäässä lihaksissa ja jota hermot johtavat kaikkialle ruumiiseen.

Alessandro Volta, fysiikan professori Pavian yliopistossa, uudisti v. 1793 Galvanin kokeet ja tuli kokeissaan seuraaviin tuloksiin. Paitsi sammakon lihaksia täytyy olla mukana kaksi erilaista metallia, mitkä hyvänsä. Noiden kolmen aineen täytyy muodostaa suljettu jakso siten, että sammakon lihakset koskettavat kumpaakin metallia ja metallit myös toisiansa. Ilmiön aikaansaamiseksi ei suinkaan ole välttämätöntä, että metalleja koskettavat juuri sammakon lihakset. Sama ilmiö syntyy, jos metallien välillä on joku neste, mikä hyvänsä, kunhan vain neste ei ole eristävä. Sammakon lihaksien nyhtäykset näyttävät vain, että tuossa suljetussa jaksossa, jonka molemmat metallit ja lihaksissa löytyvä suolainen neste muodostavat, tapahtuu jotakin. Jos siis kaksi metallia, vaikkapa sinkkilevy ja kuparilevy, asetetaan laimennettuun rikkihappoon tai tavalliseen kaivoveteenkin, niin täytyy tässäkin jaksossa, kun se suljetaan yhdistämällä sinkki- ja kuparilevyt keskenään johtavalla langalla nesteen ulkopuolella, tapahtua sama ilmiö kuin Galvanin kokeessa sammakon lihaksilla.

Että tässä ilmiössä sähkö on vaikuttavana voimana, sen oli jo Galvanikin ymmärtänyt, huomattessaan, että lihaksissa syntyi nyhtäyksiä, kun sähköpurkaus tapahtui lihaksien läheisyydessä. Volta huomasi, että tuossa suljetussa jaksossa syntyy *sähkövirta*. Että langassa käy sähkövirta, sen huomaamme meille jo tunnetusta seikasta, että lanka lämpiää. Löytyy myös muita keinoja, joilla voi saman seikan näyttää, mutta niistä puhumme mieluummin myöhemmin. Mistä syntyy tässä sähköä ja miksi sähkö ei ole, kuten johtajassa on tavallista, levossa? Tiedämme jo, että sähkö siirtyy yhdestä johtajasta toiseen, kun johtajilla sähköön jänitys on eri suuri. Meidän täytyy siis voida näyttää, että sinkin ja kuparin sähköjännitteet ovat eri suuret silloin, kun ne eivät ole langalla toisiinsa yhdistetyt. Yhdistämme sinkin elektroskopin tankoon. Elektroskopi näyttää, että sinkki on sähköinen. Vielä huomataan, että se on negatiivisesti sähköinen. Jos menetellään samalla lailla

kuparilevyn kanssa, huomataan, että se on positivisesti sähköinen. Koe näyttää siis, että levyjen sähköjännetyksissä on todellakin ero olemassa ja voimme lausua tämän eron voltina. Ero on nyt kyseessä olevassa tapauksessa jokseenkin tarkkaan 1 voltti.

Vielä näyttää kokemus, että tämä ero pysyy aina samana huolimatta siitä, mitä tälle metalleista ja nesteestä kokoonpannulle yhdistykselle, *galvaniselle elementille* eli *sähköparille*, tehdään. Jos pannaan esim. sinkki, jonka jännitys on $-1/2$ voltia, yhteyteen maan kanssa, jolloin sen jännitys on tietysti 0, niin kuparin jännitydeksi saamme $+1$ voltti. Ero on siis edelleen 1 voltti. Samoin, jos kupari yhdistetään maahan, niin sinkin jännitys on -1 voltti, eikä kuten molempien metallien ollessa eristettyinä, $-1/2$ voltia. Jos sinkin jännitys, panemalla se yhteyteen esim. sähkökoneen johtajan kanssa, korotetaan 1,000:teen volttiin, niin kuparin jännitys nousee 1,001:teen volttiin, joten ero on yhä edelleen 1 voltti.

Tämä jännityksien ero on riippuva ainoastaan käytettyjen metallien ja käytetyn nesteen laadusta. Se on vallan riippumaton metallilevyjen suuruudesta ja muodosta sekä nesteen paljoudesta. Tämä jännityksien ero saa nimen elementin *elektromotorinen voima* (sähköjännite). Kun elementin metallien jännityksien ero aina on määrätty, riippumatta siitä kuinka suuret nämä jännitydet ovat, niin seuraa siitä, että voimme asettamalla useampia elementtejä peräkkäin mielin määrin lisätä tällaisen jakson äärimäisten levyjen jännityttä. Yhdistäminen jaksoksi eli *sähköparistoksi* tapahtuu niin, että ensimmäisen elementin jompikumpi metalli, esim. kupari, yhdistetään toisen elementin toiseen metalliin, siis tässä sinkkiin, toisen elementin kupari kolmannen sinkkiin j. n. e. Äärimäiset levyt ovat siis kupari ja sinkki. Ne ovat jakson päät eli *poliit*. Ensimmäisen elementin kuparilla on 1 voltti suurempi jännitys kuin saman elementin sinkillä. Siis on myös toisen elementin sinkillä, joka on tähän kupariin yhdistetty, sama jännitys. Toisen elementin kuparilla on taas 1 voltti suurempi jännitys kuin saman elementin sinkillä, siis 2 voltia suurempi kuin ensimmäisellä sinkillä j. n. e. Jos näin yhdistetään esim. 10 elementtiä, on äärimäisten metallien jännityksien ero 10 voltia; ensimmäisen sinkin jännitys on näet silloin -5 voltia, viimeisen kuparin $+5$ voltia.

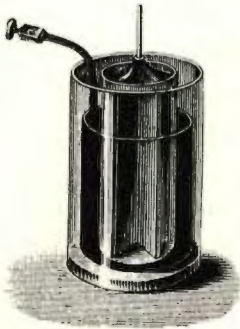
Volta oli sitä mieltä, että sähkö syntyi elementissä ainoastaan aineiden, metallien ja nesteiden, kosketuksesta ja nimittäin sen vuoksi sähköä *kosketussähköksi*. Totta kyllä on, että kahden metallinkin koskettaessa toisiansa syntyy niissä sähköä ja samoin kahden johtavan nesteen toisiansa koskettaessa, mutta jätteyksien ero on molemmissa tapuaksissa häviävän pieni. Meidän tulee siis olettaa, että syynä sähkön syntyyn metallin ja nesteen toisiansa koskettaessa on metallin ja nesteen kemiallinen yhtyminen, jolloin kosketuspinnalla vaikuttaa voima, sähköä erottava voima, joka kehittää molemmissa aineissa sähköä siten, että aineet saavat vastaisia sähköjä. Voimme kehittää aineissa aina niin paljon sähköä, että jätteyksien ero pysyy muuttumattomana, riippumatta siitä, onko aineissa ehkä sähköä jostakin muustakin syystä ja riippumatta aineiden suuruudesta ja muodosta.

Vasta viimekuluneena kahtena vuosikymmenenä on voitu kokeellisesti määrätä metallien ja nesteiden välillä vaikuttavan sähköä erottavan voiman aikaansaamaa jätteyksien eroa, joka ero on tietenkin mainitun voiman mitta. Kahden aineen välillä vaikuttavaa sähköä erottavaa voimaa merkitään siten, että aineet kirjoitetaan peräkkäin pystysuora viiva välissä. Esim. Sinkki | Rikkihappo. Merkki + osoittaa, että edellinen aine tulee positivistesti, jälkimäinen negativisesti sähköiseksi. Merkki — päinvastaista tapausta. Panemme tähän muutamia esimerkkejä.

Aluminiumi	|	Aluminiumivihtrilli	=	—	1,239	Volttia
Sinkki	|	Sinkkivihtrilli	=	—	0,524	„
Rauta	|	Rautavihtrilli	=	+	0,093	„
Kupari	|	Kuparivihtrilli	=	+	0,515	„
Hopea	|	Hopeavihtrilli	=	+	0,974	„

Kun sinkki pannaan rikkihappoon, syntyy nesteessä sinkkivihtrilliä. Nesteen jätteys on edellisten lukujen mukaan 0,524 voltia suurempi kuin sinkin. Kupari muodostaa rikkihapon kanssa kuparivihtrilliä. Kuparin jätteys on 0,515 voltia suurempi kuin nesteen. Siis on kuparin jätteys $0,524 + 0,515 = 1,039$ voltia suurempi kuin sinkin.

Aineita, jotka koskettaessaan johtaviin nesteisiin, aikaansaavat suuria jätteyseroja, sanotaan *ensimmäisen luokan*



Kuva 212.
Danielin elementti.

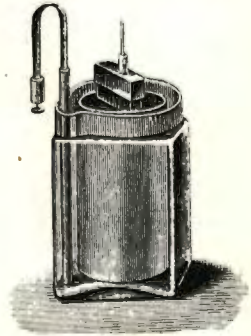
Voltan elementti. Sitä ei kuitenkaan enää käytetä. Elementtiin kuuluu aina kaksi ensimmäisen luokan johtajaa ja yksi tai myös kaksi toisen luokan johtajaa, jotka jälkimäiset huokoisen väliseinän kautta ovat johtavassa yhteydessä keskenään. Otamme puheeksi muutamia yleisemmin käytettyjä elementtejä. *Danielin* elementissä ovat ensimmäisen luokan johtajina sinkki ja kupari. Lasiastian asetetaan sylinterimäisesti taivutettu kuparilevy, sen sisään pannaan huokoisesta savesta tehty sylinteri ja sen sisään sinkkitanko. Kuparin ympärille tulee kuparivihtrilliliuosta ja sinkin ympärille laimennettua rikkihappoa. Kupari on positivisesti, sinkki negatiivisesti sähköinen. Elementin jännitys on 1,08—1,12 voltia.

Väkevämpi elementti on *Bunsenin* elementti. Ensimmäisen luokan johtajat ovat sinkki ja hiili. Sinkkilevy, sylinterimäisesti taivutettu, pannaan lasiastian, sen sisään savisyylinteri ja siihen hiilitanko. Sinkki on laimennetussa rikkihapossa, hiili väkevöidyssä salpietarihapossa. Sinkki on negatiivinen elementin poli, hiili positiivinen. Jännitys on 1,9 voltia.

Paljon käytetty elementti on *Leclanchén* elementti. Siinäkin ovat kiinteinä aineina sinkki ja hiili. Lasiastian tulee

johtajiksi. Tähän aineryhmään kuuluvat metallit, hiili, ruunikivi y. m. Toisen luokan johtajia ovat ne aineet, jotka edellisten kanssa synnyttävät suurta jänniteeroja. Tähän ryhmään kuuluvat laimennetut hapot, suolaliuokset, sulat suolat. Kuten jo mainitsimme synnyttävät ensimmäisen luokan johtajat koskettaessaan toisiaan aivan vähäpätöisiä jänniteeroja, samoin toisen luokan aineet.

Sähköelementtejä on kokoonpantu hyvinkin monella eri tavalla. Elementti, josta edellisessä olemme puhuneet, on



Kuva 213.
Leclanchén elementti.

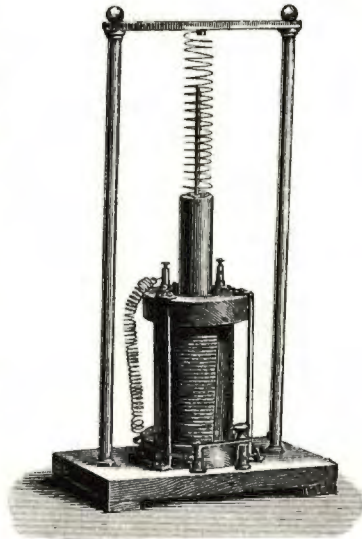
kautta taas takaisin sinkkiin. Kun puhutaan sähkövirran suunnasta, tarkoitetaan suuntaa, missä positiviivinen sähkö virtaa.

Kun sähkö johtajalla oli levossa, oli ainoastaan johtajan pinnalla sähköä. Sähkövirrassa on asian laita vallan toisin. Lanka, jonka läpi sähkövirta kulkee, on kokonaan sähköinen; myös langan sisällä virtaa sähköä eikä ainoastaan pinnalla. Emme saa kumminkaan ajatella asiaa niin, että jokainen elektroni kulkee läpi koko johdon yhdestä metallista toiseen ja sitten nesteen läpi taas takaisin ensimmäiseen. Voimme ennenminkin ajatella niin, etä kaikki elektronit pyrkivät liikkumaan virran suuntaan, jolloin yksi elektroni sysää läheistä elektronia, se taas seuraavaa j. n. e. Kukin elektroni voi liikkua virran suuntaan kullakin kerralla verrattain lyhyen matkan. Tällä elektronien liikkeellä johdon sisällä on moninaisia vaikutuksia sekä itse johtoon että myös johdon ulkopuolella. Näitä vaikutuksia tulee meidän nyt ryhtyä tarkastamaan.

Kun elementin poltit yhdistetään toisiinsa langalla, saadaan suljettu johto. Osan johdosta muodostaa poleja yhdistävä lanka, *ulkojohto*, toisen osan elementissä löytyvät johtavat aineet, *sisäjohto*. Jokaisen johdon poikkileikkauksen läpi virtaa joka hetki joku sähkömäärä, joku luku coulombia. On selvää, että jokaisen poikkileikkauksen läpi täytyy virrata yhtä suuri sähkömäärä. Sitä sähkömäärää, lausuttuna coulombina, joka yhdessä sekunnissa virtaa jonkun poikkileikkauksen läpi, nimitetään *virran voimakkuudeksi*, virran *intensitetiksi*. Miten suuri tämä sähkömäärä on, se riippuu elementin elektromotorisesta voimasta ja siitä mitä ainetta johto on.

Virran voimakkuuden yksiköksi valitsemme sellaisen virran voimakkuuden, joka syntyy, kun johdon jokaisen poikkileikkauksen läpi sekunnissa virtaa juuri 1 coulombi sähköä. Tätä virran voimakkuuden yksikköä nimitämme *Amperi*. Jonkunlainen kone tulee meillä olla sähkövirran voimakkuuden mittaamista varten. Sellaisen koneen saamme seuraavalla tavalla. Onton puusylinterin ympärille kierretään eristettyä

johtolankaa. Kierrejouseen ripustetaan rautapuikko. Rautapuikon yksi pää on lankakierteen sisällä. Jos sähkövirta kulkee langassa vetää se rautapuikkoa puusylinterin sisään sitä syvemmälle kuta voimakkaampi sähkövirta on. Jos on määrätty kuinka syväälle rautapuikko oppoa, kun virran voimakkuus on 1, 2, 3 j. n. e. amperiä, niin voi laitosta käyttää sähkövirtojen voimakkuuden mittaamiseen. Rautapuikon liikkeen voi antaa vaikuttaa viisariinkin, joka asteikolla näyttää amperilukua. Konetta sanotaan *jousigalvanometriksi*.



Kuva 215. Jousigalvanometri.

Jos tällä koneellamme tutkimme eri elementtien antamaa sähkövirtaa, huomaamme, että virta on sitä voimakkaampi kuta suurempi elementin elektromotorinen voima on. Tämä on ensimmäinen seikka, joka vaikuttaa virran voimakkuuteen.

Kuten jo ennen olemme huomanneet, vastustavat kaikki aineet sähkönsä kulua niiden läpi, eristävät aineet erinomaisen suuressa määrin, puolijohtajat, paperi, olki j. n. e. vähemmän ja johtajat hyvin vähän. Kuta suurempi vastustus on sitä vähempi sähkömäärä virtaa joka sekunnissa johdon kunkin poikileikkauksen läpi, sitä pienempi on virran voimakkuus. Niin hyvin elementti itse, siinä löytyvät johtajat ja neste kuin myös yhdistyslanka vastustavat virran kulkua. Yhteensä muodostavat niiden erityiset vastustukset koko vastustuksen. Nämä kaksi seikkaa sisältyvät saksalaisen *Georg Ohmin* († 1854) lausumassa laissa: sähkövirran voimakkuus kasvaa kuten elektromotorinen voima, mutta vähenee samassa suhteessa kuin vastustus kasvaa.

Yhdistetään joku elementti galvanometriin johtolangoilla, joilla on määrätty poikkileikkaus ja määrätty pituus. Olkoot langat vaikkapa kuparista. Galvanometri osoittaa silloin jotakin voimakkuutta. Vaihdamme langat toisiksi, joilla on sama poikkileikkaus, mutta kaksinkertainen pituus. Huomataan, että virran voimakkuus on vähentynyt. Itse elementin vastustus ja samoin galvanometrinen lankakerroksen vastustus ovat tietysti jokaisessa kokeessa samat. Virran voimakkuuden muuttuminen riippuu siis siitä, että käytetyt yhdistyslangat vastustavat eri paljon. Tulemme siihen tulokseen, että langan vastustus kasvaa kuten langan pituus, kun poikkileikkaus ja langan aine ovat samat.

Samalla lailla voimme tutkia mitä langan poikkileikkaus vaikuttaa virran voimakkuuteen. Silloin käytämme kokeessamme yhtä pitkiä ja samasta aineesta tehtyjä lankoja, mutta poikkileikkauksen annamme vaihdella. Tulemme nyt siihen tulokseen, että langan vastustus vähenee samassa suhteessa kuin poikkileikkaus kasvaa. Poikkileikkauksen muoto sitävastoin on ilman vaikutusta. On yhdentekevä onko poikkileikkaus ympyrä tai neliö tai muu kuvio.

Vielä teemme kokeita eri aineista tehdyillä yhtä pitkillä ja yhtä paksuilla langoilla. Huomaamme, että niiden vastustus ei ole yhtä suuri. Verratessamme eri aineiden vastustusta valitsemme jonkun aineen vastustuksen yksiköksi. Tästä aineesta valmistamme johdon, jolla on määrätty pituus ja poikkileikkaus. Sen vastustusta merkitään luvulla 1, se on *vastustusyksikkö*. Kansainväliseksi vastustusyksiköksi on valittu 106,3 cm pitkän elohopeapylvään vastustus, kun pylvään poikkileikkaus on 1 mm² ja elohopean lämpötila 0° C. Tämä vastustusyksikkö saa nimen *Ohmi*. Luku, joka lausuu montako ohmia aineesta tehdyn langan, jonka pituus on 1 m ja poikkileikkaus 1 mm², vastustus on, sanotaan aineen *ominaisvastustukseksi*. Otamme tähän muutamien aineiden ominaisvastustuksen lämpötilassa + 18° C.

Aluminiumi	0,03	ohmia.
Elohopea	0,96	„
Hopea	0,016	„
Kulta	0,02	„
Kupari	0,016	„

Lyijy	0,21	ohmia.
Nikkeli	0,08	„
Platina	0,11	„
Rauta.....	0,09—0,15	„
Sinkki	0,06	„
Hiili (grafiti)	13	„
Kaasuhiili	(noin) 50	„

Parhaiten johtavat sähköä hopea ja kupari. Vaikka hiilen vastustus on melkein neljätuhatta kertaa niin suuri kuin kuparin, on hiili sittenkin hyvä johtaja.

Kaikki nyt mainitut aineet ovat ensimmäisen luokan johtajia. Toisen luokan johtajat vastustavat tietysti paljon enemmän ja tulemme niiden ominaisvastustusta lausuessamme suuriin lukuihin. Niiden vastustus on riippuva myöskin lämpötilasta ja etenkin siitä kuinka väkevöityjä happosekoitukset ja suolaliuokset ovat. Mainitsemme näistäkin aineista muutamia.

Rikkihappo (30 % sekoitus)	13,500	ohmia.
Sinkkivihtrilli (23,5 % liuos)	209,000	„
Keittosuolaliuos (kyllästetty)	46,700	„
Etikkahappo (16,6 % sekoitus)	6,250,000	„

Kuten tiedämme johtavat varsinaiset eristäjätkin jonkun verran. Niiden vastustus ei ole äärettömän suuri. Mitään tarkkoja lukuja emme voi näistä aineista mainita, Ohmin laki ei näet niihin nähden pidä paikkaansa. On tapana lausua myöskin aineiden ominaisvastustusta siten, että lausutaan paljonko 1 cm³ ainetta vastustaa. Koska kuutiosentimetrin pituus on vain $\frac{1}{100}$ m ja poikkileikkaus 100 mm², on sen vastustus vain $\frac{1}{10000}$ siitä, mitä edellä mainitsimme aineen ominaisvastutukseksi. Käytämme tätä vastustusyksikköä eristäjiin nähden. Emme lausu vastustusta ohmina, vaan miljonana ohmia, *Megohmina*. Seuraavat luvut olisivat siis kerrottavat kymmenellä tuhannella miljonalla, jos tahdomme verrata niitä edellä mainittuihin lukuihin.

Lasi	8,000,000	megohmia.
Katinkulta	2,300,000	„
Eboniti	4,200,000,000	„
Paraffini	3,000,000,000	„
Oliviöljy	1,000,000	„

Kuten jo edellisestä käy selville muuttuu aineiden vastustus lämpötilan mukaan, mutta vaikuttaa lämpö eri lailla metallisiin johtajiin ja nesteisiin. Metallien johtamiskyky pienenee lämpötilan kohotessa, mutta nesteiden kasvaa. Kiinteät suolat ovat melkein eristäjiä, mutta lämpötilan lähestyessä niiden sulamispistettä johtavat ne vallan hyvin. Jos yhteys aineen osien välillä on löyhä, niin hyväkin johtaja johtaa huonosti. Jos lasiputki täytetään karkealla metallijauholla, niin jauhon vastustus voi olla satojatuhansia ohmia. Samoin hiilijauho johtaa huonosti, mutta jos jauhoa puristetaan hyvinkin heikosti kokoon, johtaa se hyvin sähköä. Samoin kaksi hiilitankoa, jos niitä painetaan vastakkain johtavat paljoa paremmin.

Sähkövirta, joka kulkee johdossa, aikaansaa siinä erilaisia vaikutuksia aina sen mukaan onko johto kiinteää ainetta vaiko nestettä. Tarkastamme ensin virran vaikutusta kiinteässä johdossa, metallissa tai hiilessä. Tällaisessa johdossa syntyy aina sähkövirran kulkiessa sen läpi lämpöä. Teemme seuraavan kokeen. Alkoholilla täytettyyn astiaan pannaan lämpömittari. Kierukaksi kierretty platinalanka upotetaan astiaan ja parin elementin virran annetaan kulkea langan läpi. Sähkö ei johdu alkoholiin, koska se on eristäjä. Platinalanka lämpiää, lämpö johtuu alkoholiin ja lämpömittari näyttää korkeampaa lämpötilaa. Kuta kauemmin virta saa kulkea langan läpi sitä korkeammaksi käy lämpötila. Kehittynyt lämpömäärä kasvaa kuten aika, minkä virta kulkee johdon läpi.

Jos kokeessamme käytämme lankakierukoita, joiden vastustus on eri suuri, huomaamme, että kehittyneet lämpömäärätkin ovat eri suuret, vaikka käytämmekin yhtä voimakasta virtaa. Tehdessämme kokeen kierukalla, jolla on kaksi kertaa suurempi vastustus, huomaamme kehittyvän myös kaksi kertaa enemmän lämpöä, kun kaikki muut seikat ovat kokeessamme samat. Johtajassa kehittynyt lämpömäärä kasvaa siis samassa suhteessa kuin johtajan vastustus.

Vielä on meidän tutkittava miten kehittynyt lämpö on riippuva virran voimakkuudesta. Asian voimme saada selvil-

le äsken käyttämällämme koneella. Annetaan ensin kierukan läpi kulkea virta, jonka voimakkuus on 1 amperi, sitten 2 amperia, j. n. e., kullakin kerralla yhtä pitkän ajan. Huomataan, että kehittyneet lämpömäärät suhtautuvat kuten luvut 1, 4, 9 j. n. e. Kun virran voimakkuus tulee kaksin-, kolmin- j. n. e. kertaiseksi, niin syntynyt lämpömäärä tulee nelin-, yhdeksän j. n. e. kertaiseksi.

Ottamalla huomioon molemmat nyt tutkitut seikat, johdon vastustuksen ja virran voimakkuuden, tulemme siihen tulokseen, että johdossa tietyn ajan kuluessa kehittynyt lämpömäärä saadaan, kun johdon vastustus kerrotaan kahdesti virran voimakkuudella. Laki käy keksijänsä nimellä *Joulen* († 1889) laki.

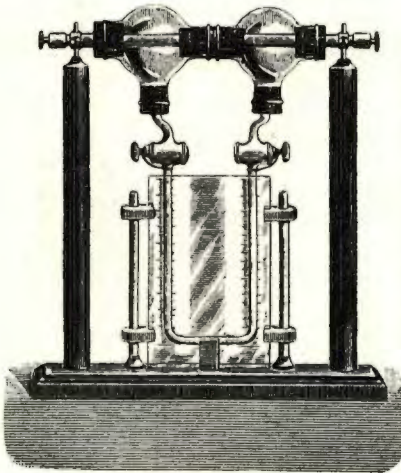
Se seikka, että johto sähkövirran kulkiessa sen läpi lämpiää, on välitön seuraus energian häviämättömyyden laista. Jokaisen fysikalisen ilmiön aikaansaaminen vaatii jonkun määrän energiaa ja päinvastoin, kun ilmiö taas häviää, tulee sama määrä energiaa vapaaksi. Sähkövirrassa yhtyvät yhteen suuntaan virtaava positiivinen ja vastakkaiseen suuntaan virtaava negatiivinen sähkö yhtämittaa. Näiden vastaisten sähköjen erottamiseen on kulunut energiaa, niiden yhtyessä tulee taas sama määrä energiaa vapaaksi. Jollei sähkövirta toimita mitään työtä, niin kaikki vapaaksi tullut energia muuttuu lämmöksi.

Johdon lämpiämistä käytetään sähkövalon aikaansaamiseksi, metallimalmien sulattamiseen y. m. Näistä seikoista puhumme myöhemmin.

Jos johtolanka, joka sulkee elementin, tehdään kahdesta eri metallista, jotka päistään kiinteästi yhdistetään, niin huomataan sähkövirran kulkiessa johdon läpi paitsi tavallista johdon lämpiämistä, vielä uusi lämpö-ilmiö. Metallien liitepaikka joko lämpiää enemmän kuin muu osa johdosta tai jäähtyy se kylmemmäksi, riippuen siitä mitä metalleja käytetään ja siitä mihin suuntaan sähkövirta kulkee liitepaikan läpi. Voimakkaimpana näyttäytyy ilmiö, jos käytetään metalleja vismutia ja antimonia. Jos sähkövirta kulkee antimonista vismutiin, lämpiää liitepaikka, jos virta käy päinvastaiseen suun-



Kuva 216. Johdon lämpiäminen.

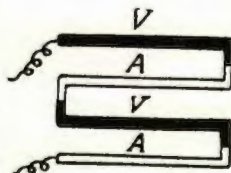


Kuva 217. Peltierin ilmiö.

taan, jäähtyy liite. Ilmiön voi näyttää jokseenkin yksinkertaisella koneella. Kaksi lasipalloa yhdistetään toisiinsa U:n muotoisella putkella johon kaadetaan vettä. Kummassakin pallossa on kaksi reikää, siten sijoitettuina, että noiden neljän reiän läpi voi pistää suoran tangon. Antimonitangon molempiin päihin yhdistetään vismutitangot. Tämä tanko pistetään palloissa oleviin reikiin asetettujen kummikorkkien läpi siten, että liitepaikat tulevat kumpikin pallonsa sisään. Nyt annetaan virran kulkea tangon läpi. Siinä pallossa, missä virta käy vismutista antimoniin, jäähtyy ilma ja supistuu kokoon, siinä pallossa taas, missä virta käy antimonista vismutiin, lämpimää ilmaa ja laajenee. Nähdään veden lämminneen pallon puolella laskeutuvan putkessa ja jäähtyneen puolelle nousevan. Ilmiötä nimitetään keksijänsä, *Peltierin*, mukaan Peltierin ilmiöksi. Sama ilmiö nähdään muidenkin metallien kuin antimonin ja vismutin liitepaikassa. On huomattu, että kun vismuti ja joku toinen metalli liitetään yhteen ja sähkövirta käy vismutista tuohon toiseen metalliin, niin liitepaikka aina jäähtyy.

Peltierin ilmiön voi kääntääkin, jos niin voimme sanoa. Jos näet kahden metallin liitepaikkaa lämmitetään tai jäähdytetään, niin syntyy metalleja yhdistävässä langassa sähkövirta. Tässäkin tapauksessa on virran suunta riippuva sekä yhteenliitettyjen metallien laadusta että myös siitä lämmitetäänkö vaiko jäähdytetään liitepaikkaa. Syntyneen virran voimme näyttää vaikkapa kierrejoisigalvanometrillä. Ilmiön keksi v. 1823 *Seebeck*. Näin syntyneitä virtoja, jotka eivät synny elementtissä, vaan suorastaan lämmön vaikutuksesta, nimitetään

tään *lämpösähkövirroiksi* (termoelektriksi virroiksi). Tässäkin suhteessa ovat antimoni ja vismuti edullisimmat, ne antavat voimakkaimman virran. Jos vismutista ja antimonista tehdään tällainen *lämpösähköpari* (termoelementti) ja liitepaikkaa lämmitetään, niin käy sähkövirta vismutista antimoniin.



Kuva 218. Lämpösähköparisto. V vismutia, A antimonia.

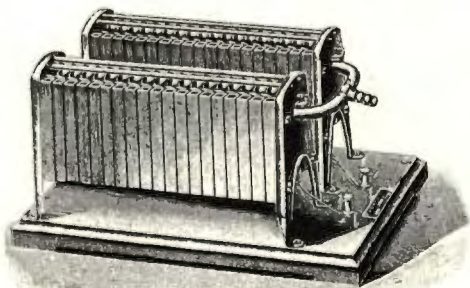
Lämpösähköparin elektromotorinen voima on riippuva metallien laadusta ja molempien liitekohtien lämpötilojen erosta, voima kasvaa lämpötilojen eron kasvaessa johonkin lämpötilaan saakka, josta alkaen se sitten useinkin vähenee. Myös metallien puhtaus vaikuttaa tässä suhteessa, samoin se seikka ovatko metallit karaistuja vaiko pehmeitä. Lämpösähköparien elektromotorinen voima ei ole lähimainkaan niin suuri kuin galvanisten parien. Niinpä vismuti-antimoniparin voima on, kun liitekohtien lämpötilojen ero on 100°C , ainoastaan 10 tuhannesosaa volttia.

Saadaksemme väkevempiä virtoja tulee meidän yhdistää useampia lämpösähköpareja. Liitetään yhteen vuorotellen antimoni- ja vismutitankoja. Tanko taivutetaan niin, että parittomat liitekohdat tulevat samannepäin ja parilliset toisannepäin. Näin saadun lämpöpariston yhteen suuntaan käännettyjä liitekohtia lämmitetään, jolloin saadaan sähkövirta. On rakennettu kaasuliekeillä lämmitettäviä suuria lämpösähköparistoja, joiden voima on 4 volttiakin.

Lämpösähköparistot ovat erittäin tunnokkaita lämmölle, jota paitsi niillä on se suuri etu lämpömittareihin nähden, että niissä verrattain korkeissa ja taas toiselta puolen hyvin alhaisissa lämpötiloissa ei tapahdu mitään muutosta, kun ne ovat ainoastaan metalleista kokoonpannut. Yhteydessä galvanometrin kanssa ovat ne erittäin mukavia koneita aivan vähäisiä lämpötilan muutoksia näyttämään. Samoin soveltuvat ne korkeiden, aina $1,600^{\circ}\text{C}$, ja myös alhaisten, aina juoksevan ilman lämpötilaan — 200°C , lämpötilojen mittaamiseen.

Lämpösähköparissa muuttuu lämpö suorastaan sähköksi. Kun vismuti-antimoniparin yhtä liitekohtaa lämmitetään, käy syntynyt sähkövirta vismutista antimoniin. Seurauksena siitä on, kuten tiedämme, Peltierin ilmiön mukaan, että tämä liite-

kohta pyrkii jäähtymään. Lämpölähteestä tuleva lämpö estää kumminkin sitä jäähtymästä. Toinen liitekohta taas Peltierin ilmiön mukaan lämpiää ja täytyykin, jos haluaa saada yhtä voimakasta virtaa pitemmän ajan kuluessa, tätä liitekohtaa jäähdyttää jäällä tai kylmällä vedellä. Lämpösähköparia voi hyvin verrata höyrykoneeseen. Höyrykoneessa vesihöyry laajetessaan toimittaa mekanista työtä, mutta jäähtyy höyry samalla ja kattilasta täytyy tulla uutta lämpöä, jos mieli koneen pysyä käynnissä. Höyrysylinteristä menee höyry tiivistyslaitokseen ja luovuttaa tiivistyessään lämpöänsä tiivistyslaitoksen ympärillä kiertävälle kylmälle vedelle. Niin lämpösähköpariinkin toisessa liitekohdassa saatetaan ulkoapäin lämpöä,



Kuva 119. Kaasulla lämmitettävä lämpösähköparisto.

liitekohta pyrkii jäähtymään, koska osa lämmöstä muuttuu sähköksi. Toisessa liitekohdassa muuttuu taas sähkö lämmöksi, joka jäähdyttämällä tätä liitekohtaa poistetaan. Ensimmäiseen liitekohtaan saatetun ja toisesta poistetun lämpömäärän ero muuttuu sähköksi kuten höyrykoneessa höyrysylinteriin saatetun ja tiivistäjästä poistetun lämpömäärän ero muuttuu mekaniseksi työksi.

Olisi erinomainen voitto sekä tieteelle että käytännölliselle elämälle, jos voitaisiin välittömästi muuttaa lämpöä sähköksi suuremmassa määrässä ja taloudellisemmin kuin mitä lämpösähköparistoilla voi tapahtua. Tämä keksintö on kumminkin vielä tekemättä.

XXI.

Elektrolysi. Ionit. Elektrolytinen jakautumisteoria. Elektrolyysin kautta eronneiden aineiden painot. Volttametri. Ionien sähkömäärä. Virran vaikutus elementin nesteisiin. Muutoslämpö. Osmotinen paine. Liukenemispaine. Sähkövirran synty elementissä. Polarisointivirta. Akkumulatorit.

Olemme tarkastaneet sähkövirran vaikutuksia kiinteässä johtajassa. Ryhdymme nyt tarkastamaan virran vaikutusta johtavaan nesteeseen. Kun virta kulkee johtavan nesteen läpi, joka on eri aineista kemiallisesti kokoonpantu, niin virta aina hajoittaa nesteen kemiallisiin alkuosiinsa. Nestettä, jonka sähkövirta hajoittaa, nimitetään *elektrolytiksi* (kreikk. lyein, hajoittaa) ja ilmiötä itseänsä *elektrolyysiksi*. Virta johdetaan nesteeseen jostakin kiinteästä aineesta, metallilevystä, joka upotetaan nesteeseen. Kuljettuaan nesteen läpi jatkaa virta kulkuun nesteestä pois toisen nesteeseen upotetun levyn kautta. Näitä nesteeseen upotettuja levyjä nimitetään *elektrodeiksi* (kreikk. hodos, tie). Elektrodi, joka on yhdistetty sähköpariston positiviseen poliin, jonka elektrodin kautta sähkövirta menee elektrolytiin, saa nimen *anodi* (kreikk. an, tykö); elektrodi, joka on yhdistetty pariston negativiseen poliin, jonka elektrodin kautta sähkövirta menee elektrolytistä pois, saa nimen *katodi* (kreikk. kata, pois).

Pannaan lasiastiaan vettä, upotetaan veteen kaksi platinalevyä ja yhdistetään ne sähköpariston poleihin. Nähdään kummankin platinalevyn pinnalla syntyvän kaasukuplia. Jos kaasuja tutkitaan, huomataan anodissa kehittyvän happea ja katodissa vetyä. Muualla kuin elektrodien pinnalla ei huomata mitään kaasun kehittymistä, nesteen hajoittumista, vaikka sähkövirta tietysti kulkee nesteen läpi elektrodien välilläkin.

Käytetään veden asemasta jotakin suolaliuosta esim. kuparivihtrilliliuosta. Nyt huomataan katodissa eroavan metallia, tässä kuparia, ja anodissa suolan muun osan. Jos käytetään jotakin muuta suolaa, niin asia ei siitä muutu, katodissa eroaa aina metallia, sinkkivihtrillistä sinkkiä, hopeasuolasta hopeaa, kultasuolasta kultaa j. n. e. Elektrolyytin osia, joihin sähkövirta sen jakaa, nimitetään sen *ioneiksi* (ion, vaeltaja). Anodissa erkanevaa ionia nimitetään myös *anioniksi* ja katodissa erkanevaa *kationiksi*.

Todellisuudessa ei elektrolysi tapahdu niin yksinkertaisella tavalla kuin nyt olemme kertoneet, sillä ne osat, joihin virta jakaa elektrolyytin, voivat kemiallisesti vaikuttaa niin hyvin nesteeseen kuin myös elektrodieihin. Sen vuoksi lopulliset elektrolysistä syntyneet aineet eivät aina ole sen nesteen tai liuoksen yhdysosia, joka hajoaa. Niinpä keittosuolan kemialliset yhdysosat ovat metalli natriumi ja eräs kaasu kloori. Annetaan virran kulkea keittosuolaliuoksen läpi. Odottaisi siis anodissa syntyvän klooria ja katodissa natriumia. Keittosuola hajoaa kyllä näiksi osiksi, mutta natriumi yhtyy heti liuoksessa olevan veden hapen kanssa, jolloin veden vety tulee vapaaksi. Katodissa ei siis ilmestykään natriumia, vaan vetyä. Anodissa ilmestyy kyllä klooria. Etenkin anioni, joka tavallisesti on joko happi tai kloori tai joku muu kemiallisesti tehokas aine, yhtyy anodin metallin kanssa. Olkoot elektrodit kuparia ja hajoitettava neste sinkkivihtrilliliuosta. Katodilla ilmestyy silloin metalli, sinkki, anodilla rikkihappojäännös heti yhtyy kuparin kanssa muodostaen kuparivihtrillää, joka siis ilmestyy anodilla.

Myös veden hajoaminen vety- ja happikaasuiksi ei ole niin yksinkertainen kuin se ensi silmäyksellä näyttää. Jos vesi on vallan puhdasta, niin se ei johda sähköä ja elektrolysi on mahdoton. Vesi, joka johtaa sähköä, sisältää aina liuenneita suoloja, etenkin kaliumi- ja natriumisuoloja. Virta hajoittaa suolat ja metallit erittyvät katodilla. Ne yhtyvät kumminkin heti veden hapen kanssa, jolloin vety tulee vapaaksi. Katodilla kehittyy siis vetyä. Jäännös suoloista menee anodille ja yhtyy siellä veden vedyn kanssa, jolloin happi jää vapaaksi. Anodilla kehittyy happea.

Emme ole kumminkaan vielä saaneet selville miksi elektrolysin kautta vapautuvat yhdysovat ilmestyvät vain elektroleilla, miksi ei hajoittuminen tapahdu koko nesteessä niiden välillä. Selityksen tähän on antanut Nobel-institutin fysikaalis-kemiallisen laitoksen johtaja, professori *Svante Arrhenius*. Hänen teoriansa, *elektrolytinen jakautumis-(dissosiationi)teoria*, on seuraava. Jokainen yhdistetty suola-molekyli, esim. keittosuolamolekyli, on kokoonpantu kahdesta osasta, metallista ja toisesta osasta, joka sisältää muita aineita. Keittosuolassa on se osa klooria. Metalliosa on aina positiivisesti sähköinen, jäännös molekylistä negatiivisesti. Kun molemmat osat ovat molekyliksi yhdistetyt, on molekyli sähkötön. Jos suolaa liuotetaan veteen, niin suolamolekyylit eivät kaikki pysy eheinä, vaan suuri osa niistä hajoaa atomeiksi. Syynä tähän hajoamiseen voi ajatella molekyylien liikettä nesteessä, liikkueessaan törmäävät molekyylit yhteen ja hajoavat. Hajonneiden molekyylien osat ovat väkevästi sähköisiä, metalliosa positiivisesti, jäännös negatiivisesti. Nämä osat ovat ionit liuoksessa. Ionit yhtyvät kyllä taas uudestaan sähköttömiksi molekyleiksi, meidän tulee siis ajatella niin, että liuoksessa tapahtuu yhtämittaa molekyylien hajoamista ioneiksi ja ionien yhtymistä molekyleiksi. Jos tällaiseen liuokseen upotetaan elektrodilevyt, joista toinen on positiivisesti, toinen negatiivisesti sähköinen, niin vaikuttavat nämä levyt sähköisiin ioneihin. Anodi vetää negatiivisiä ioneja ja poistaa positiivisia, katodi päinvastoin. Ionit alkavat vaeltaa nesteessä, positiiviset ionit, kationit, katodiin ja negatiiviset ionit, anionit, anodiin. Elektrodien välisessä nesteessä on sekaisin molempaa lajia ioneja, jonka vuoksi tässä nesteessä ei huomata mitään muutosta. Toisin on asianlaita elektrodien pinnalla. Katodiin tulee yhtä mittaa positiivisia metalli-ioneja. Ne luovuttavat katodille positiivisen sähkönsä ja jäävät sähköttömänä katodin pinnalle. Samoin käy negatiivisille ioneille anodin pinnalla. Jos negatiiviset ionit ovat kaasumaisia, nousevat ne anodin pinnalta kaasukuplina ylös. Sähkövirta ei siis hajoita nesteen molekylijä, ne ovat jo ennestään suurimmaksi osaksi hajonneet. Sähkövirta ainoastaan antaa näille molekyylin osille liikkeen määrättyyn suuntaan. Onpa voitu määrätäkin eri aineiden ionien liikenopeus. Tekemällä kokeita eri väkevillä

liuksilla on voitu määrätä ionien n. s. absolutinen nopeus, jolla tarkoitetaan niiden nopeutta äärettömiin laimennetussa liuoksessa, jonka vastustus on yksi ohmi. Nopeus on riippuva liuoksen lämpötilastakin. Edellyttäen lämpötilan olevan $+ 18^{\circ} \text{C}$. mainitsemme muutamia nopeuksia lausuttuina senttimetreinä sekunnissa; kaliumi 65,3, natriumi 44,4, hopea 55,7, vety 318, kloori 65,9. Huomattakoon kuinka pieniä nopeudet ovat.

On tehty tarkkoja tutkimuksia sen seikan selville saamiseksi missä suhteessa elektrodeilla erottuneiden ainemäärien painot ovat toisiinsa. Kemia opettaa meille, että kunkin alkuaineen atomilla on määrätty paino. Yksiköksi näille painoille otetaan, kuten tiedämme, vetyatomin paino. Oletetaan, että hajoitamme sähkövirralla kuparivihtrillää. Kuparivihtrillissä on yksi atomi kuparia, yksi rikkiä ja neljä happea. Kuparin atomipaino on 63,5, rikin 32 ja hapen 16. Elektrolysi vie kupari-ionin katodiin ja rikki-happi-ionin anodiin. Huomataan katodilla erottuvan 63,5 paino-osaa kuparia ja anodilla $96 = 32 + 4 \cdot 16$ paino-osaa rikki-happiyhdistystä. Tästä teemme sen johtopäätöksen, että määrättyssä nesteessä erottuneiden ionien painot ovat toisiinsa samassa suhteessa kuin mainittujen aineiden painot ovat hajoamattomassa molekyylissä tai toisin sanoen, aine hajoaa molekyylittäin.

Äsken löytämämme luvut: 63,5 paino-osaa kuparia ja 96 paino-osaa rikki-happiyhdistystä vastaavat kemiallisesti toisiansa kuparivihtrillimolekyylissä, ne ovat kuparin yhdeltä puolen ja rikin ja hapen toiselta puolen *vertapainot* (ekvivalentipainot). Voimme siis sanoa, että nesteestä eronneiden ionien painot suhtautuvat kuten ioneissa löytyvien aineiden vertapainot.

Kuta kauemmin virta käy nesteen läpi sitä suuremmat määrät ainetta eroavat. Mutta myös virran voimakkuudesta täytyy eronneiden ainemäärien riippua. Kokeilla voi tämänkin seikan näyttää. Sopii käyttää vettä elektrolytinä. Lasiastia suljetaan korkilla, korkin läpi pistetään johtolangat kahteen platinallevyyn, jotka upotetaan astiassa olevaan veteen. Vielä pistetään korkin läpi polveksi taivutettu lasiputki. Sen toinen pää asetetaan vesiastiassa seisovan vedellä täytetyn putken alle. Tämä putki on pykälöity esim. kuutiosentimetrin

kokoisiin osiin. Johtoon yhdistetään myös galvanometri, joka näyttää virran voimakkuuden ampeereinä. Kun virta suljetaan, kehittyy elektrodeissa vetyä ja happea. Niiden sekoitus, n. s. räjähdyskaasu, virtaa polviputken läpi ja nousee kuplina vedellä täytettyyn putkeen. Jonkun ajan kuluessa katkaistaan virta ja räjähdyskaasumäärä tarkastetaan. Lisätään virran voimakkuus kaksinkertaiseksi, vaikkapa siten, että johdosta otetaan pois vastustavaa lankaa. Huomataan kehittyneen kaasumäärän olevan nyt kaksinkertaisen, jos virta pidetään suljettuna yhtä pitkän ajan. Jos taas elektromotorista voimaa muutetaan, jos käytetään virtaa, jonka jännitys on 10 voltia tai 20 voltia, mutta virran voimakkuus lisäämällä vastustusta johtoon pidetään samana, samana lukumääränä ampeerejä, niin kehittyy sama kuutiomäärä kaasua.

Päinvastoin voimme kehittyneen kaasumäärän avulla mitata virran voimakkuuden. Äskeistä konettamme voimme käyttää tähänkin tarkoitukseen. Konetta nimitetään silloin *Voltametrikksi*. Voimakkuuden voimme saada ampeereinä, jos ensin määrätään suurenko kaasumäärän virta, jonka voimakkuus on 1 amperi kehittää. Yksi amperi kehittää *sekunnissa* $0,09328$ mg tai $0,1740$ cm³ räjähdyskaasua, kun paine on 760 mm ja lämpötila 0°C. Yhdessä *minutissa* kehittyy siis 10,44 cm³. Voltametrin voi perustaa tietysti minkä muun aineen hyvänsä elektrolyysiin, kuparivihtrillin, salpietarihappoisen hopean j. n. e., kunhan ensin määrätään paljonko kuparia, hopeaa j. n. e. virta, jonka voimakkuus on 1 amperi, erottaa.

Olemme jo kertoneet, että positiiviset ionit vaeltavat nesteessä katodiin ja negatiiviset anodiin. Virta elektrolytissä on juuri tämä *ionien liike*, jokainen positiivinen ioni vie mukanaan positiivista sähköä suunnassa anodista katodiin, jokainen ne-



Kuva 220. Veden hajottaminen sähkövirralla.

gativinen ioni saman määrän negatiivista sähköä suunnassa katodista anodiin. Olemme myös maininneet, että nesteestä elektrodeille eronneiden ionien painot suhtautuvat kuten eronneissa ioneissa löytyvien aineiden vertapainot. Tämä koskee ei ainoastaan yhtä elektrolytiä, vaan kaikkia elektrolytejä, joiden läpi virta kulkee. Faraday on huolellisilla kokeilla näyttänyt, että jos sama virta saa kulkea useampien elektrolytien läpi, niin niissä eronneiden ionien painot ovat verrannolliset ioneissa löytyvien aineiden kemiallisiin vertapainoihin. Olkoon ensimmäinen elektrolytti vettä, toinen kuparivihtrillää ja kolmas salpietarihappoista hopeaa. Ensimmäisessä erottuu vety-ioneja ja happi-ioneja. Toisessa kupari-ioneja ja rikki-happi-ioneja, kolmannessa hopea-ioneja ja typpi-happi-ioneja. Erottukoon ensimmäisessä 1 gr vetyä. Sen vertapaino happea on 8 gr, kuparia 31,6 gr, rikki-happiyhdistystä 48 gr, hopeaa 107,7 gr ja typpi-happiyhdistystä 62 gr. Vety- ja metalli-ionit kuljettavat positiivista, muut mainitut ionit negatiivista sähköä. Kun sama virta kulkee kaikkien elektrolytien läpi, niin seuraa siitä, että yllämainittujen painomäärien ainetta täytyy viedä mukanaan aina sama määrä sähköä, sama määrä coulombia. Tulemme siis seuraavaan tärkeään sähköön luonnetta koskevaan tulokseen. Vertapainot eri ioneja kuljettavat mukanaan saman määrän sähköä, kationit positiivista ja anionit negatiivista sähköä.

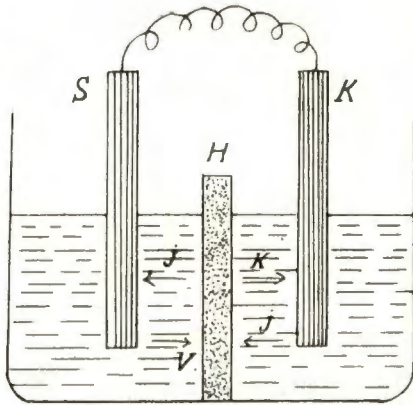
Jokainen painollinen aineatomi on yhdistetty erääseen määrään positiivista tai negatiivista sähköä, niin suureen, että vertapainot eri aineita aina sisältävät yhtä suuret määrät sähköä. Sähkö on siis kuten painollinen aine kokoonpantu sähköatomeista, sekä positiivinen että negatiivinen sähkö ovat ainetta. Sähköatomia olemme nimittäneet elektroniksi. Elektrolyysi osoittaa meille, että elektronit ovat aina yhdistetyt aineen atomeihin. Ioni on aineen atomin ja elektronin yhdistys. Yksi hopea-ioni on yksi atomi hopeaa ja yksi atomi positiivista sähköä. Kun painolliset atomit ovat yhtyneet molekyileiksi, menettävät ne yhtymiskykynsä, kunnes joku voima hajottaa molekylin, irroittaa atomit niiden keskinäisestä yhteydestä. Molekyli on kemiallisessa suhteessa tehoton, ainoastaan vapaina atomeina on aine kemiallisesti tehokas. Samoin ovat ionit kemiallisesti tehotomia, ne eivät voi aikaan-

saada mitään kemiallisia vaikutuksia. Ellei näin olisi, ei Arrheniuksen suolojen jakautumisteoria pitäisi paikkaansa. Jos esim. keittosuolamolekyli liuotetaan veteen jakautuisi natriumiatomiksi ja klooriatomiksi, niin natriumiatomi yhtyisi heti veden hapen kanssa, eikä voisi ollenkaan uida vapaana vedessä. Keittosuolamolekyli ei hajoa natriumi- ja klooriatomiksi, vaan ioneiksi, natriumi- ja klooriatomi

yhtyvät heti vapautuessaan keittosuolamolekylistä, veden elektronien kanssa, taikka voimme myös otaksua, että elektronit löytyvät jo itse atomeissa ja jäävät niiden kanssa yhdistetyiksi molekyylien jakautuessa. Ionit, atomien ja elektronien yhdistykset, kestävät kunnes joku voima ne taas hajoittaa.

Galvanisen elementin virta kulkee tietysti itse elementin läpi. Täytyy siis elementin nesteessä syntyä elektrolyysi vallan samalla lailla ja samojen lakien mukaan kuin voltametrissä, jonka läpi elementin virta saa kulkea. Niin onkin asian laita. Otamme esim. Daniellin elementin. Ulkojohtossa kulkee virta kuparista sinkkiin. Elementin läpi kulkee siis virta sinkistä kupariin. Sinkki on siis anodi ja kupari katodi, kun elementtiä pidämme voltametrinä elementin omaan virtaan nähden.

Kuparin ympärillä oleva kuparivihtrilli hajoaa kupariksi ja rikki-happiyhdistykseksi. Kupari menee katodille ja elementin kuparille laskeutuu kerros puhdasta kuparia. Rikki-happiyhdistys kulkee huokaisen savisyylinterin läpi sinkkiin. Sinkin ympärillä oleva rikkihappo hajoaa vedyksi, joka kulkee kupariin huokaisen sylinterin läpi. Tämä vety yhtyy kumminkin äsken mainittuun sinkkiin kulkevaan rikki-happiyhdistykseen muodostaen sen kanssa rikkihappoa. Sinkin ym-



Kuva 221. Elektrolyysi Daniellin elementissä. K kuparilevy, S sinkkilevy, H huokoinen seinä. Nesteessä: K kupari, J jäännös kuparivihtrillistä. V vety, J jäännös rikkihaposta.

pärillä oleva rikkihappo antaa paitsi vetyä vielä saman rikkihappiyhdistyksen kuin kuparivihtrilli antoi. Tämä yhdistys menee sinkkiin ja muodostaa sen kanssa sinkkivihtrilliä, joka liukenee elementin nesteeseen. Tuloksena elektrolysistä elementissä on siis, että kuparille laskeutuu puhdasta kuparia ja kuparin vertapaino sinkkiä muodostuu sinkkivihtrilliksi. Myös elementin nesteet muuttuvat elektrolysin vaikutuksesta. Kun kuparivihtrillistä yhä eroaa kuparia, käy se kuparista köyhemmäksi. Sinkin ympärillä olevaan rikkihappoon liukenee yhä enemmän sinkkivihtrilliä. Sitä paitsi syntyy elementissä vielä rikkihappoa. Sinkin yhtyessä rikkihappoon, sen muodostaessa sinkkivihtrilliä, syntyy, niinkuin jokaisessa kemiallisessa yhtymisessä, lämpöä. Kuparin erotessa kuparivihtrillistä kuluu tosin lämpöä, mutta vähemmän. Elementissä tapahtuvat kemialliset ilmiöt antavat siis vapaata lämpöä. Ainakin osa tästä lämmöstä kuluu sähkövirran ylläpitämiseen, muuttuu sähköksi. Voimme siis sanoa, että elementin sähkövirtaan tarpeellisen energian antaa lämpö, joka syntyy elementissä tapahtuvista kemiallisista ilmiöistä. Sähköksi muuttuvaa osaa kemiallisesta lämmöstä sanomme *muutoslämmöksi*, jota sanaa käytetään muistakin lämmön muutoksista toisiksi energiamuodoiksi.

Kemialliset muutokset elementissä ovat siis välttämättömiä virran aikaansaamiseksi, mutta tästä ei kumminkaan käy selville miksi virta syntyy. Selityksen saamme muutamista liuoksista koskevista huomioista, lisättyinä siihen mitä ennestään jo tiedämme suolojen jakautumisesta liuoksissa.

Liuosta voi tavallaan verrata kaasuun. Kaasu täyttää ilman ulkonaisten voimien vaikutusta koko sen tilan, mikä kaasulle tarjotaan, se ohenee itsestään, kunhan vain sillä on kyllin tilaa siihen. Samoin liuoskin pyrkii ohenemaan kunhan vain on kylliksi liuotinta. Kuten kaasun molekyylit pyrkivät yhä kauemmaksi toisistaan, niin liuenneet osatkin pyrkivät loittonemaan toisistaan. On olemassa paine, joka ajaa liuennutta ainetta yhä suurempaan nestemäärään, joka pyrkii liuosta ohentamaan, laimentamaan. Tätä painetta nimitetään liuenneen aineen *osmotiseksi paineeksi*. Kuta väkevämpää liuos on, sitä suurempi on osmotinen paine.

Kun kiinteä aine tulee yhteyteen nesteeseen, niin kiinteän aineen osat kulkevat nesteeseen. Tässäkin vaikuttaa paine, joka ajaa kiinteän kappaleen osia nesteeseen. Tätä painetta nimitetään aineen *liukenemispaineeksi*. Osmotinen paine ja liukenemispaine vaikuttavat siis vastakkaisiin suuntiin, edellinen ajaa liuenneita osia nesteestä pois, jälkimäinen kiinteän kappaleen osia nesteeseen. Niinkauan kuin liukenemispaine on suurempi kuin osmotinen paine, ei liuksesta voi saostua kiinteätä ainetta. Vasta sitten kun osmotinen paine voittaa liukenemispaineen syystä, että liuos on kyllin väkevöitynyt, erkanee liuksesta luonnun aine kiinteässä muodossa. Erkanemista, saostumista, kestää siksi, kunnes liuos on taas niin paljon laimentunut, että molemmat paineet ovat yhtä suuret. Palajamme nyt takaisin galvaniseen elementtiin.

Asetamme sinkkitangon veteen. Liukenemispaine erottaa sinkistä osia veteen, tosin häviävän vähän, mutta kumminkin jonkun verran. Metallien ionit ovat positiivisia. Meidän tulee olettaa, että sinkistä eroaa positiivisia ioneja, eikä sähköttömiä molekylejä. Vesi tulee siten positiivisesti sähköiseksi ja sinkki, joka menettää positiivisia ioneja, jää negatiivisesti sähköiseksi. Samoin tulee jokainen muukin metalli veteen upotettuna negatiivisesti sähköiseksi. Negatiivinen metalli vetää kumminkin noita positiivisia ioneja, jonka vuoksi ainoastaan häviävän vähäinen määrä metallia liukenee. Kuitenkin voidaan näyttää, että sinkin ja nesteeseen välillä on olemassa sähköjännite.

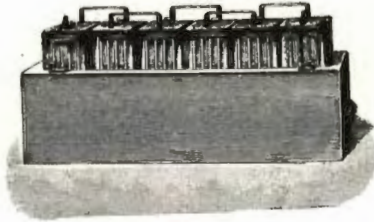
Asetamme metallin nesteeseen, johon on liuotettu kysymyksessä olevan metallin suolaa. Silloin vaikuttaa yhdeltä puolen metallin liukenemispaine, toiselta puolen suolan osmotinen paine. On metalleja, joiden liukenemispaine on hyvin pieni; sellaisia ovat platina, hopea ja kupari, ja toisia, joiden liukenemispaine on verrattain suuri, sinkki ja rauta. Jos siis sinkkitanko pannaan sinkkivihtrilliuokseen, niin sinkistä eroaa positiivisia ioneja nesteeseen, koska sinkin liukenemispaine voittaa sinkkivihtrillin osmotisen paineen. Sinkki tulee negatiivisesti, neste positiivisesti sähköiseksi. Tasapaino syntyy, kun sinkin sähköinen vetovoima estää positiivisten ionien erkanemisen nesteeseen. Kun kuparitanko asetetaan kuparivihtrilliuokseen, on kuparin liukenemispaine pienempi kuin liuksen osmotinen paine. Nesteestä erkanee positiivisia kupari-ioneja

kuparintangolle, jonka vuoksi kupari tulee positivisesti ja neste negativisesti sähköiseksi. Ajattelempa, että sinkkivihtrilli ja kuparivihtrilli ovat erotetut huokoisella väliseinällä. Yhdistetään nyt metallit johtolangalla. Kuparin ja sinkin vastaiset sähkököt yhtyvät. Sinkistä voi nyt erota uusia positivia ioneja sinkkivihtrilliin ja kuparivihtrillistä samoin positivia ioneja kupariin. Sinkki saa taas negativista ja kupari positivistä sähköä. Siten jatkuu virta edelleen. Kuta enemmän laimennettua sinkkivihtrilliliuos on sitä helpommin erkanevat positivist ionit sinkistä, sillä liuoksen osmotinen paine on sitä pienempi kuta enemmän laimennettua liuos on. Sinkin ja nesteen jäntesyero tulee siis suuremmaksi, jos neste on laimennettua. Kuta enemmän väkevöityä taas kuparivihtrilli on sitä enemmän positivia ioneja erkanee siitä kuparille, sitä suurempi on vihtrilliliuoksen ja kuparin jäntesyero. On siis elementin elektromotoriseen voimaan nähden edullista pysyttää sinkkivihtrilliliuos niin laimennettuna kuin mahdollista ja kuparivihtrilliliuos taas niin väkevöitynä kuin mahdollista. Olemme siis selvillä sähkövirran synnystä.

Kupari, joka Daniellin elementissä laskeutuu kuparilevylle, pyrkii liukenemispaineensa vuoksi tietenkin taas liukenemaan kuparivihtrilliin ja sinkkivihtrillin osmotinen paine pyrkii erottamaan sinkkiä vihtrillistä sinkille. Kuparin liukenemisen vuoksi tulisi kupari negativisesti ja kuparivihtrilli positivist sähköiseksi. Sinkkivihtrillistä eroaa positivia sinkkionia sinkille, jonka vuoksi vihtrilli pyrkii tulemaan negativiseksi ja sinkki positivisteksi. Seurauksena tästä on tietysti, että syntyy virta, joka käy vastaiseen suuntaan kuin elementin virta. Onko sitten sellainen virta todellakin olemassa? On olemassa sellainen virta. Virta saa nimen elementin *polarisationivirta* (vastajännitysvirta) ja elektrodit elementissä ovat polariseeratut, ovat saaneet vastajännityksen.

Vastajännitysvirran olemassaoloa elementissä ei voi suoranaisesti kokeellisesti näyttää. Sen vaikutus ilmenee kummin siten, että elementin virta, joskin hitaasti, heikkonee. Galvanometrillä on polarisationivirta helposti näytettävissä. Upotetaan laimennettuun rikkihappoon kaksi lyijylevyä. Sähkövirta saa kulkea läpi. Toisella lyijylevyllä kehittyy hapeta, joka hapettaa levyn pinnan, mikä huomataan siitakin,

että pinta käy ruskeaksi lyijyhappeumasta. Rikkihappossa on nyt yksi puhdas lyijylevy ja yksi lyijyhappeumalla peitetty levy. Mutta kaksi erilaista johtajaa upotettuina johtavaan nesteeseen muodostavat sähköparin, elementin.



Kuva 222. Akkumulatori.

Jos nyt lyijylevyt eroteetaan elementin yhteydestä ja yhdistetään galvanometriin, niin näyttää galvanometri sähkövirtaa. Virta kestää kunnes lyijyhappeuma on lyijylevyltä kokonaan hävinnyt. Virta käy näet nyt nesteen läpi vastaiseen suuntaan ja sen kautta elementin virran, polariseeraavan virran, aikaansaamat kemialliset muutokset taas häviävät.

Polarisationivirtaa käytetään hyväksi n. s. *kokoojissa* eli *akkumulatoreissa*. Akkumulatoreita löytyy monen monta eri lajia. Niitä käytetään paljon sähköelementtien asemasta, etenkin kun tarvitaan väkevämpää virtaa, kuitenkin vain lyhemmän ajan kuluessa. Tavallisesti käytetään akkumulatoreissa lyijylevyjä, jotka upotetaan laimennettuun rikkihappoon. Akkumulatori on ensin varattava; annetaan jonkun sähkölähteen virran kulkea sen läpi. Toinen lyijylevy peittyy silloin lyijyhappeumakerroksella. Kun levyt sitten yhdistetään johtoon, käy johdossa polarisationivirta. Virta lakkaa, kun varausvirran aikaansaamat kemialliset muutokset ovat akkumulatorissa hävinneet. Silloin on akkumulatori uudelleen varattava. Kuinka suuri akkumulatorin varautumiskyky on, se riippuu levyjen suuruudesta. Parhaat akkumulatorit antavat siitä sähkömäärästä, jolla niitä varataan, noin 70—75 % takaisin polarisationivirtana.

XXII.

Luonnolliset ja keinotekoiset magnetit. Magnetin voimaviivat. Magnetinen kenttä. Magnetin vaikutus toiseen magnettiin. Magnetinen influenssi. Pysyvät ja tilapäiset magnetit. Sähkömagnetit. Magnetinen vastus. Hysteresis. Solenoidi. Galvanometrit. Amperemetrit. Voltmetrit. Vapaasuuntainen neulapari. Elektrodynamiikka. Magnetin molekyylivirrat. Magnetismin luonne.

Ennenkuin jatkamme sähkövirtojen vaikutusten tarkastamista, täytyy meidän ottaa puheeksi eräs luonnonilmiö, joka on läheisimmässä yhteydessä sähköön kanssa, joskin ilmiö näennäisesti on vallan uusi ilmiö. Se ilmiö on magnetismi.

Kerrotaan, että kiinalaiset tunsivat jo hämärässä muinaisuudessa magnetismin. Ainakin kreikkalaiset tunsivat sen vanhalla ajalla. Magnesian kaupungin läheisyydessä löydettiin erästä rautamalmia, magnetikiveä, jolla oli tuo omituinen voima. Se voi näet vetää rautaa. Tämä rautamalmi on jokseenkin yleinen aine luonnossa, kuitenkin ei sillä aina ole magnetisiä ominaisuuksia. Sitä malmia, jolla tämä ominaisuus on, tavataan aina maanpinnalla, harvoin suurempina kerroksina. Maan sisällä sitä ei tavata. Luontaiset magnetit, magnetikivet, ovat epämukavia käyttää sen vuoksi, että on vaikeaa saada



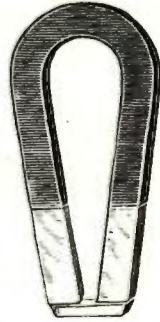
Kuva 223. Magnetineula.

niitä sopivaan muotoon kutakin tarkoitusta varten, jota paitsi niiden magnetinen voima on jokseenkin heikko. Senpä vuoksi käytetäänkin keinotekoisia magneeteja. Siivemällä karaistua terästä magnetikivellä, voi teräksellekin antaa saman ominaisuuden kuin luontaisella magnetilla on. Myös muita mukavampia ja voimakkaampia keinoja löy-

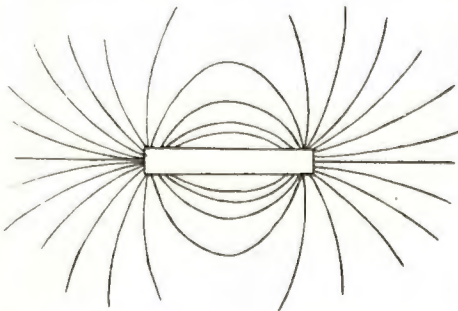
tyy, joista puhumme myöhemmin. Keinotekoisille magneteille annetaan eri muoto eri tarkoituksia varten. Tavallisimmat muodot ovat neulanmuoto, tanko ja hevosenkengänmuoto.

Magnetin vaikutus rautaan ilmenee parhaiten, jos käytämme hienoa rautaviilajauhoa. Rautajauho tarttuu magnetiin, mutta ei tasaisesti. Enin tarttuu jauhoa magnetin molempiin päihin, keskustaa kohti vähemmän ja keskelle tankoa ei laisinkaan. Rautajauhopalasat eivät tartu ainoastaan magnetiin, vaan myös toisiinsa ja muodostavat etenkin magnetin päissä pitkiä ketjuja. Näiden ketjujen suunta osoittaa magnetisen voiman suuntaa. Selvemmin voimme näyttää magnetisen voiman suunnan magnetin ympäristössä seuraavalla kokeella. Asetetaan magnetitanko pöydälle ja tangon päälle paperilevy. Levylle siroitetaan rautaviilajauhoa. Kun, hiukan sormella koputetaan levyyn, nähdään rautaviilajauhon järjestyvän yhdenmittaisiksi viivoiksi. Magnetin molemmista päistä leviävät viivat kaikkiin suuntiin ja molempien päiden välillä käyvät viivat kaarevina viivoina. Koska viivat ilmaisevat magnetisen voiman suuntaa, nimitetään niitä *magnetiiksi voimaviivoiksi*. Tilaa, jossa magnetisia voimaviivoja on olemassa, sanotaan magnetiseksi *kentäksi*.

Jokaisella magnetilla on siis kaksi kohtaa, joissa magnetinen voima magnetin ympäristöön nähden on suurin. Näitä magnetin päiden lähellä olevia pisteitä sanotaan magnetin *nävoiksi* eli *poleiksi*, toista *pohjoispoliksi*, toista *eteläpoliksi*. Syy näihin nimityksiin on se, että jos magneti-



Kuva 224.
Hevosenkengän
muotoinen magneti.



Kuva 225. Magnetiiset voimaviivat.

neula tai tanko ripustetaan vaakasuoraan asemaan, niin toinen pää kääntyy pohjoista kohti, toinen etelää kohti. Jos kaksi magnetista napaa asetetaan toistensa läheisyyteen, huomataan, että ne joko vetävät toisiaan tai poistavat toisiaan. Huomataan niiden vaikutuksen toisiinsa olevan vallan samanlaisen kuin kahden sähköisen kappaleen. Samannimiset navat poistavat toisiaan ja erinimiset vetävät. Veto- ja poistovoiman suuruus määrätään vallan samalla lailla kuin kahden sähköisen kappaleen välillä. Tähänkin tarkoitukseen käytetään Coulombin kierto-vaakaa. Sähköisten kappaleiden asemasta käytetään magneeteja. Löydetään vallan sama lakikin kahden magnetin navan välillä vaikuttavalle voimalle kuin kahden sähköisen kappaleen väliselle voimalle. Poisto- tai vetovoima vähenee tai kasvaa kuten magnetinapojen välimatka itsellään kerrottuna kasvaa tai pienenee. Edelleen kasvaa tai pienenee voima kuten toisiinsa vaikuttavien magnetinapojen voimakkuuksien tulo. On kyllä huomattava, että magnetilla on aina kaksi napaa ja että kahden magnetin vaikutus toisiinsa on oikeastaan toisen magnetin molempien napojen vaikutus toisen magnetin molempiin napoihin. Mutta jos magnetit tehdään kyllin pitkiksi, niin voimme puhua vain yhden navan vaikutuksesta.

Yhtäläisyys magnetin ja sähköisen kappaleen välillä ulottuu kauemmaksikin. Olemme nähneet, että sähköinen kappale herättää lähellä olevassa johtajassa sähköä, olemme puhuneet sähköisestä influenssista. Influenssi on myös syynä siihen, että sähköinen kappale vetää kevyitä kappaleita. Vallan sama on syy siihen, että magnetipoli vetää rautaa. Magnetipoli aikaansaa nimittäin *magnetisen influenssin* kautta raudassa, joka ei ole magnetinen, magnetismia siten, että magnetipoliin päin käännetyssä päässä syntyy vastainen poli ja pois käännetyssä päässä sama poli. Vastaisten polien vetovoima voittaa samannimisten polien poistovoiman ja rauta lähestyy magnetiin. On kuitenkin olemassa huomattava ero magnetisen ja sähköisen influenssin välillä. Sähköisen influenssin kautta syntyneen samanlaisen sähköisen voimme johtaa pois ja siten saada johtajaan ainoastaan sähköisen kappaleen sähköisen vastaista sähköä. Näin ei voi tehdä, kun on kysymys magnetista. Ei voi koskaan magnetisen influenssin kautta aikaansaada ainoastaan magnetipolin vastaista polia, aina syntyvät molemmat. Sa-

mannimistä magnetismiiä ei voi poisjohtaa, sillä mitään magnetismin johtumista ei ole olemassa.

Kun rauta poistetaan magnetin läheisyydestä, niin katoittaa se magnetisminsä. Teräs sitävastoin pysyy yhä edelleen magnetisena. Teräksestä voi tehdä pysyviä magnetejä, raudasta ainoastaan tilapäisiä magnetejä. Jos magnetin polit yhdistetään toisiinsa pehmeästä raudasta tehdyllä kappaleella, *ankkurilla*, sanotaan magnetia suljetuksi tai polittomaksi magnetiksi. Sellaisen magnetin vaikutus ympäristöön on heikompi kuin sulkemattoman magnetin, mutta voi sillä kyllä olla väkeviäkin toisenlaisia magnetisiä vaikutuksia.

Kun rauta asetetaan magnetipolin läheisyyteen, niin magnetin voimaviivat muuttavat suuntaansa. Voimme ajatella magnetin voimaviivojen lähtevän magnetin pohjoispolista ulos magnetiseen kenttään ja taas magnetisesta kentästä magnetin eteläpolin kautta tunkeutuvan magnetin sisään ja kulkevan magnetin läpi pohjoispoliin. Magnetin polin läheisyyteen asetettu rautapala kerää polista lähtevät voimaviivat, ne taipuvat rautapalan sisään kulkien senkin läpi. Missä voimaviivat tunkeutuvat rautaan syntyy raudassa eteläpoli, missä viivat kuljettuaan raudan läpi kulkevat ulos raudasta syntyy rautaan pohjoispoli.

Olemme puhuneet ainoastaan raudasta aineena, johon magneti vaikuttaa. Jo Faraday näytti, että magnetismi on yleinen kappaleiden ominaisuus, että kaikki kappaleet voi magnetisen influenssin avulla tehdä magnetisiksi, tosin paljon heikommin magnetisiksi kuin raudan. Lähinnä rautaa ovat nikkeli ja koboltti. Yksin ilmankin ja muutkin kaasut voi saattaa magnetiseen tilaan.

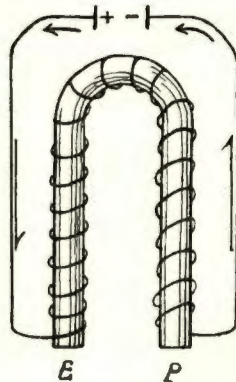
Pysyvät teräsmagnetit eivät tarjoa meille mitään uusia näkökohtia magnetismiin nähden, sillä niillä on aina määrätty voimakkuutensa, jota emme voi mielivaltaisesti muuttaa. On olemassa toinenkin tapa kuin magnetinen influenssi, jolla raudan voi tehdä magnetiseksi. V. 1825 tuli *Sturgeon* († 1850), joka suutarista kiipesi professoriksi, siihen tulokseen, että jos raudan ympärille kierretään eristettyä johtolankaa, ja sähkövirta saa kulkea langan läpi, niin rauta tulee magnetiseksi. Tällainen magnetoimiskäämi saadaan kiertämällä johtolankaa onton puusylinterin ympärille. Pehmeä rautatanko pan-



Kuva 226. Magnetoimiskäämi.

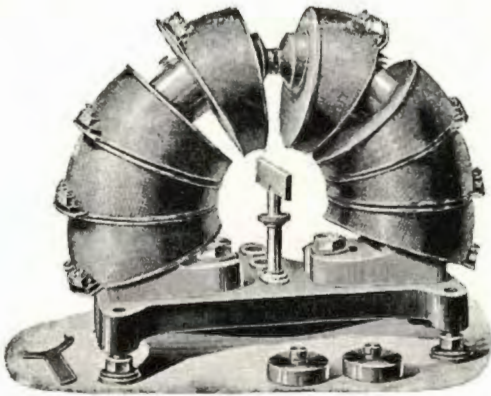
naan puusylinterin sisään. Kun virta suljetaan, tulee tanko magnetiseksi, kun virta katkaistaan, häviää tangosta magnetismi. Koska tanko on magnetinen ainoastaan niinkauan kuin sähkövirta kulkee johdossa, saa tällainen tilapäinen magneti nimen *sähkömagneti* (elektromagneti). Sähkö-opin alalla kuuluisa *Ampère* († 1836), fysiikan professori Parisissa, on lausunut seuraavan säännön, joka koskee pohjois- ja eteläpolin asemaa tällaisessa elektromagnetissa: Jos ajatellaan henkilön uivan sähkövirran suuntaan kasvot käännettyinä rautatankoon päin, niin siinä tangon päässä, joka on henkilön vasemmalla kädellä, on magnetin pohjoispoli. Jos virran suunta muutetaan vastaiseksi, niin vaihtuvat myös magnetin polit.

Sähkömagnetille voi antaa myös hevosenkengän muodon. Ajattelemme rautatangon ensin suorana ja kierrämme sen ympärille johtolankaa samaan suuntaan. Jos sitten taivutamme tangon hevosenkengän muotoon, käyvät kierrokset tangon päiden ympärillä näennäisesti vastakkaisiin suuntiin. Ampèren säännön mukaan syntyy tangon toiseen päähän pohjois-, toiseen päähän eteläpoli. Huomaamme vielä, että virta käy magnetin eteläpolin ympärillä s a m a a n suuntaan kuin kellon viisarit, pohjoispolin ympärillä viisarien kulun v a s t a k k a i s e e n suuntaan, kun polit käännetään katsojaa kohti. Käyttämällä lukuisia lankakierroksia ja väkevää virtaa voi saada erittäin voimakkaita sähkömagneteja. Voimakkaimmat ovat n. s. puoliympyrän muotoiset sähkömagnetit, kaksi ympyrän kaaren muotoon taivutettua rautatankoa, jotka ovat kiinnitettyt yhteiseen jalustaan. Kummankin ympärillä on useampia magnetoimiskäämiä. Tankojen vapaisiin päihin voi kiinnittää erimuotoisia rautakappaleita, kenkiä, joiden välin voi tehdä aina 1 mm suuriseksi. Niiden välille syntyy erinomaisen voimakas magnetinen kenttä,



Kuva 227. Hevosenkengän muotoinen sähkömagneti.

Olemme sanoneet, että magnetismi häviää pehmeästä raudasta, kun sen ympärillä kiertävä sähkövirta katkaistaan. Kuitenkaan ei asia ole vallan niin. Magnetismi pysyy raudassa vielä virran katkaisemisen jälkeenkin, tosin lyhyen, mutta kuitenkin mitattavan ajan. Tämän seikan voi selittää seuraavalla tavalla. Otaksumme, että aineiden molekyylit ovat aina magnetisia, että jokaisella molekyylillä on pohjois- ja eteläpolinsa. Niinkauan kuin aineella ei ole magnetisia ominaisuuksia, ovat nuo molekyylimagnetit eri asemissa, mikä minnekkin päin käännettynä. Kun aine tehdään magnetiseksi, olkoonpa sitten magnetisen influenssin kautta tai johtamalla sähkövirta



Kuva 228. Puoliympyrän muotolinen sähkömagneti.

sen ympäri, järjestyvät molekyylimagnetit kaikki samaan asemaan, ne kääntävät kaikki samannimiset polinsa samaan suuntaan. Kuta helpommin molekyylit järjestyvät samaan asemaan sitä helpompi on saattaa ainetta magnetiseen tilaan. Aineen molekyylit vastustavat eri paljon tuon ulkonaisen voiman vaikutusta, joka koettaa kääntää molekyylejä samaan asemaan. Tätä molekyylien vastustavaa voimaa sanotaan aineen *magnetiseksi vastukseksi* (koersitivovoimaksi). Pehmeän raudan voimme aivan helposti tehdä magnetiseksi, sen magnetinen vastus on aivan vähäinen, sen molekyylit järjestyvät helposti samaan suuntaan. Teräksen molekyylit sitävastoin riip-

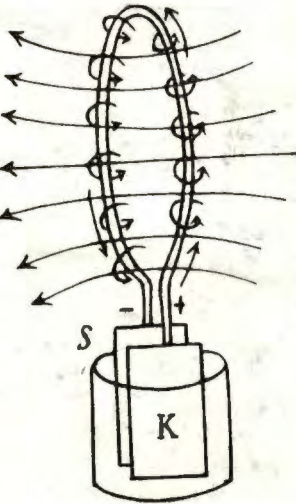
puvat toisissaan kiinni siksi lujasti, että ulkonaisen magnetisen voiman tulee olla sekä paljon voimakkaampi että myös vaikuttaa kauemmin, ennenkuin molekyilit järjestyvät; teräksen magnetinen vastus on suuri.

Pehmeällä raudallakin on magnetinenvastus, oskin vähäinen. Se ei siis tule heti, kun virta suljetaan, magnetiseksi siinä määrin, kuin se voi tulla, vaan kestää magnetismin kehittyminen jonkun ajan, jonkun sekunnin osan. Sama on asian laita magnetismin häviämiseen nähden, kun virta katkaistaan. Kun virran, joka tekee raudan magnetiseksi, voimakkuus kasvaa, niin kasvaa myös magnetismin voima, kun virta heikkonee, heikkonee myös magnetismi. On kuitenkin huomattava että virran kasvaessa ja virran heikotessa ei vastaa samaa virran voimakkuutta sama magnetismin voima. Tiettyä virran voimakkuutta vastaa virran kasvaessa pienempi magnetismin voima kuin virran heikotessa. Syynä tähän ilmiöön on raudan magnetinen vastus, joka virran kasvaessa vastustaa magnetisen tilan syntymistä ja virran heikotessa samoin vastustaa magnetisen tilan häviämistä. Ilmiö, joka käy nimellä raudan *hysteresis* (kreikk. hysterein, jäädä jäljelle), vaikuttaa elektromagneteja käytettäessä useinkin häiritsevästi.

Olemme maininneet, että magnetinen tila raudassa syntyy siten, että raudan molekyylimagnetit kaikki kääntyvät samaan asemaan ja että magnetisen tilan hävitessä ne taas kääntyvät eri asemiin. Kääntyessään hankaavat molekyilit toisiansa vastaan. Hankautumisesta syntyy lämpöä. Magnetisen tilan raudassa herättämisen ja sen hävittämisen täytyy siis synnyttää raudassa lämpöä. Niin onkin asian laita. Jos virta suljetaan ja katkaistaan vuorotellen, lämpiää rauta melkoisesti, seikka, joka usein huomataan sähkökoneissa.

Koska sähkövirta aikaansaa pehmeässä raudassa magnetisen tilan kuten magnetikin sen aikaansaa, niin on otaksuttavaa, että sähkövirrankin ympärillä on olemassa voimaviivoja kuten magnetin ympärillä. Pistetään johto paperilevyn läpi kohtisuoraan levyä vastaan. Levylle sirotetaan rautaviilajauhoa ja annetaan väkevän sähkövirran kulkea johdon läpi. Viilajauho järjestyy ympyröiksi sen pisteen ympärille, missä johto läpäisee paperilevyn. Jokaisen johdon pisteen ympärillä ovat voimaviivat siis ympyröitä.

Ajattelemme sähköjohdon kiertetyksi ympyränmuotoiseksi. Voimaviivat kulkevat siis kaikki tämän ympyrän tason läpi ympyrän sisällä kohtisuorasti tasoa vastaan. Kierrämme edelleen johdon ruuvi- viivan muotoon. Kunkin kierroksen ympärillä käyvät voimaviivat kuten tuon ympyränmuotoisen johdon ympärillä. Voimaviivat käyvät siis johtokierukan sisällä etupäässä kierukan akselin suuntaan. Kierukan sisällä syntyy siis magnetinen kenttä. Tällaista johtokierukkaa sanotaan *solenoidiksi*. Jos sellaisen solenoidin sisään pannaan pehmeä rautatanko, niin voimaviivat kulkevat tangon läpi päästä päähän ja tanko tulee magnetiseksi. Magnetismin voima on riippuva virran voimakkuudesta sekä siitä kuinka tiheässä johdon kierrokset ovat.



Kuva 229. Ympyränmuotoisen sähköjohdon voimaviivat. K elementin kupari, S elementin sinkki. Pienet nuolet osoittavat virran kunkin osan voimaviivojen suuntaan, suuret nuolet koko johdon voimaviivojen suuntaa.

Koska sähkövirta voi raudassa aikaansaada magnetisen tilan, on se ajatus lähellä, että sähkövirta vaikuttaa myös tavalla tai toisella pysyvään magnettiin. Köpenhaminan polyteknillisen koulun johtaja *Örsted* († 1851) huomasi v. 1820, että magnetineula poikkeaa asemastaan etelästä pohjoiseen, jos sähkövirta asetetaan neulan läheisyyteen. Kun Örstedin keksintö esitettiin Parisin akademian kokouksessa syysk. 11 p. 1820, oli kokouksessa läsnä myös Parisin yliopiston fysiikan professori *Ampère*. Hän uudisti Örstedin kokeen ja kehitti sitä edelleen. Kahdeksan päivää myöhemmin esitti hän ne lait, joiden mukaan neulan poikkeaminen tapahtuu. Vastaus oli näet saatava kysymyksiin: minnepäin poikkeaa neula asemastaan ja mistä seikoista on poikkeamisen suuruus riippuva? Huomataan, että kun sähkövirran suuntaa muutetaan, niin neulan poikkeaminenkin tapahtuu milloin yhteen, milloin toiseen suuntaan, sen pohjoispoli poikkeaa välistä län-



Kuva 230. Hans Christian Ørsted.

suoraan asemaan. Neulaan vaikuttaa kumminkin toinenkin voima, nimittäin maan magnetinen voima, joka kääntää neulaa etelä-pohjoiseen suuntaan. Jollei tätä jälkimäistä voimaa olisi, niin heikoinkin virta kääntäisi neulan kohtisuoraksi sähkövirran suuntaa vastaan. Neula asettuu molempien voimien resultantin suuntaan.

Voima, millä virta kääntää magnetineulaa, on riippuva virran voimakkuudesta siten, että kääntävän voiman suuruus kasvaa kuten virran voimakkuus. Edelleen on kääntävän voiman suuruus riippuva virran ja neulan keskinäisestä etäisyydestä sekä virran asemasta neulaan nähden. Ylipäänsä on siis virran vaikutus magnetiin kaikissa

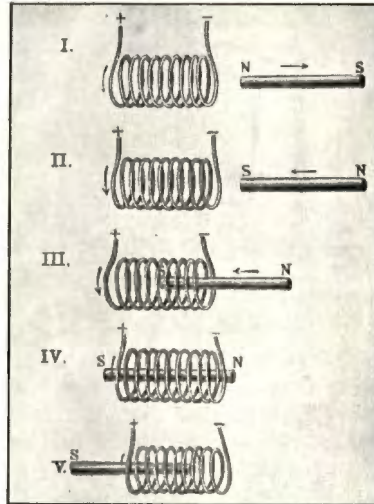
teen-, välistä itäänpäin. Ampère huomasi, että sama sääntö, jonka aikaisemmin olemme lausuneet (siv. 396) ja joka koski pohjois- ja eteläpolin asemaa sähkövirralla magnetiseksi tehdyssä raudassa, koskee myös magnetineulan poikkeamista sähkövirran vaikutuksesta. On olemassa toinenkin samaa seikkaa koskeva sääntö. Se kuuluu: Jos oikea kämmen käännetään magnetineulaan päin, sormet ojennettuina siihen suuntaan, mihin sähkövirta kulkee, niin poikkeaa magnetin pohjois-poli peukalon puolelle.

Sähkövirta koettaa siis kääntää magnetineulaa sähkövirran suuntaa vastaan kohti-



Kuva 331. André Maria Ampère.

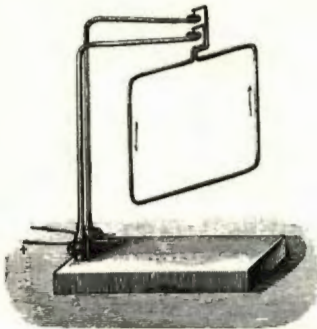
suhteissa sama kuin toisen magnetin, jonka asema olisi sellainen, että sen akseli on kohtisuora tasoa vastaan, jossa virran johto on, ja jonka pohjoispoli on sillä puolella tasoa, jolta puolelta katsottuna virta käy vastapäivään. Tällainen virran ajateltu korvaaminen kiinteällä magnetilla, jolla on äsken mainittu asema, selittää täydelleen virran vaikutuksen liikkuvaan magnetiin. Tiedämme, että liikkuva magneti asettuu kiinteän magnetin vaikutuksesta yhdensuuntaiseksi kiinteän kanssa. Liikkuva magneti asettuu kohtisuoraksi virran suuntaa vastaan, siis yhdensuuntaiseksi tuon ajatellun virtaa korvaavan kiinteän magnetin kanssa. Yhtäläisyys virran, etenkin ympyränmuotoisesti kierretyn virran, ja magnetin välillä mitä vaikutuksiin liikkuvaan magnetiin tulee ulottuu, kuten äsken jo mainitsimme, kauemmaksi kuin vain virran kääntävään vaikutukseen. Virta vetää tai poistaa liikkuvaa magnetia kuten magnetikin. Kierretään johto solenoidin muotoon. Asetetaan solenoidin pään eteen liikkuva magneti. Magneti asettuu solenoidin akselin suuntaan, kohtisuoraksi solenoidin kierteiden tasoa vastaan. Mutta huomataan toinenkin vaikutus. Solenoidi joko vetää magnetin solenoidin sisään tai poistaa magnetia. Tiedämme, että solenoidin voimaviivat kulkevat solenoidin läpi sen akselin suuntaan ja että solenoidin sisällä syntyy magnetinen kenttä. Jos ajattelemme henkilön uivan virran suuntaan, kasvot kääntettyinä solenoidin akseliin päin, syntyy magnetisen kentän pohjoispoli henkilön vasemmalla kädellä ja eteläpoli oikealla. Virta käy solenoidissa pohjoispolin ympärillä vastaiseen ja



Kuva 232.

Solenoidin vaikutus liikkuvaan magnetiin.

virta vetää tai poistaa liikkuvaa magnetia kuten magnetikin. Kierretään johto solenoidin muotoon. Asetetaan solenoidin pään eteen liikkuva magneti. Magneti asettuu solenoidin akselin suuntaan, kohtisuoraksi solenoidin kierteiden tasoa vastaan. Mutta huomataan toinenkin vaikutus. Solenoidi joko vetää magnetin solenoidin sisään tai poistaa magnetia. Tiedämme, että solenoidin voimaviivat kulkevat solenoidin läpi sen akselin suuntaan ja että solenoidin sisällä syntyy magnetinen kenttä. Jos ajattelemme henkilön uivan virran suuntaan, kasvot kääntettyinä solenoidin akseliin päin, syntyy magnetisen kentän pohjoispoli henkilön vasemmalla kädellä ja eteläpoli oikealla. Virta käy solenoidissa pohjoispolin ympärillä vastaiseen ja



Kuva 233. Ampèren teline.

eteläpolin ympärillä samaan suuntaan kuin kellonviisarit. Kun nyt solenoidiin lähestytetään liikkuvaa magnetia, niin solenoidi vetää sitä, jos solenoidin ja magnetin erinimiset poltit ovat käännettyt vastakkain, poistaa sitä, jos samannimiset poltit ovat vastakkain. Vetovoiman vallitessa solenoidin ja magnetin välillä lähestyy magneti solenoidiin ja tunkeutuu solenoidin sisään siksi, kunnes magnetin ja solenoidin akselien keskuspuisteet

yhtyvät, sillä siinä asemassa solenoidin poltit poistavat magnetin samannimisistä poleja yhtä paljon.

Jos solenoidiin lähestytetään pehmeää rautatankoa, joka ei ole magnetinen, niin solenoidin voimaviivat taipuvat kulkemaan raudan läpi ja tekevät sen magnetiseksi. Siihen päähän joka on käännetty solenoidiin päin, syntyy solenoidin polin vastainen poli. Solenoidi vetää siis aina pehmeän rautatangon sisäänsä. Olemme jo ennen maininneet tätä seikkaa puhuesamme jousigalvanometrissä, jolla virran voimakkuutta mitattiin.

Samoin kuin kiinteä virta saattaa liikkuvan magnetin liikkeeseen, niin päinvastoin täytyy kiinteän magnetin voida panna liikkuvan johdon liikkeeseen ja täytyy johdon aina asettaa niin, että johdon voimaviivat, jotka ovat kohtisuorat johdon määräämää tasoa vastaan, asettuvat yhdensuuntaisiksi magnetin akselin kanssa. Liikkuvan johdon saamme käyttämällä n. s. Ampèren telineä. Suorakaiteen tai ympyrän muotoisen johdon kärjiksi teroitettut päät asetetaan pieniin elohopealla täytettyihin kuppeihin, jotka ovat johtavien kannattimien päissä. Liikkuva johto riippuu niiden kärkien varassa ja voi, kun kupit ovat asetetut toinen toisen alle, liikkua aina kupprien kannattimiin saakka. Telineeseen voi ripustaa myös liikkuvan solenoidin. Kun magneti asetetaan tällaisen liikkuvan johdon läheisyyteen, niin asettuu johto siten, että johdon määräämä taso on kohtisuora magnetin akselia vastaan. Kun

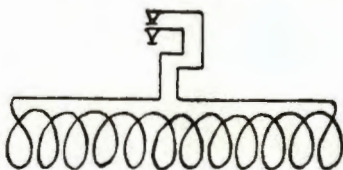
solenoidi on ripustettu telineeseen, asettuu sen akseli magnetin akselin jatkoksi.

Koska magneti vaikuttaa liikkuvaan johtoon kuten toiseen magnetiin, niin on luonnollista, että maan magnetinen voima myös vaikuttaa siihen.

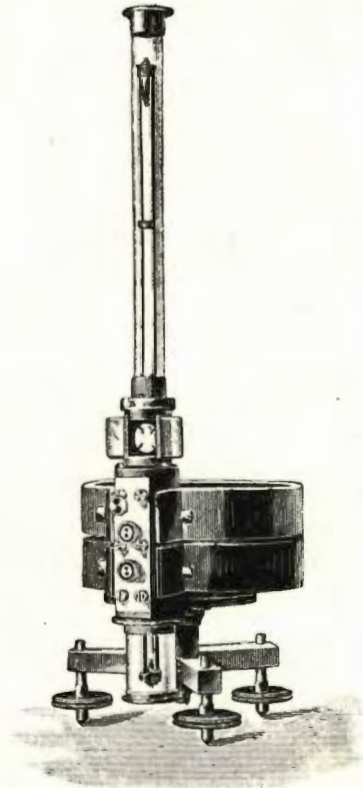
Niin onkin asian laita. Liikkuva solenoidi asettuu niin, että sen akselilla on etelä-pohjoinen suunta, sen kierteet siis kohtisuorassa asemassa tätä suuntaa vastaan. Solenoidin pohjoispäästä katsottuna käy virta vastaiseen, eteläpäästä katsottuna samaan suuntaan kuin kellon viisarit.

Sähkövirran magnetiset vaikutukset tulevat käytäntöön koneissa, joiden tarkoituksena on näyttää sähkövirran olemassaoloa ja mitata sen voimakkuutta. Sellaista konetta olemme jo käyttäneet, jousigalvanometriä. Otamme vielä lyhyesti puheeksi *galvanometrit*. Galvanometrit rakennetaan eri tavalla aina sen mukaan kuinka väkeviä virtoja galvanometrillä on mitattava. Väkevä on virta, jos sen voimakkuus on vähintään 1 amperi. Keskinäisen väkevä on virta, jonka voimakkuus on yhden kymmentuhannesosan ($\frac{1}{10}$ milliamperiä) amperiä ja yhden amperin välillä. Heikko on virta, jos voimakkuus on äskenmainitun rajan alapuolella ja voidaan mitata vielä virtaa, jonka voimakkuus on noin yksi sadastuhannesmiljonasosa amperiä.

Käytetään etupäässä kahta galvanometrilaajaa. Yksi laji perustuu siihen, että kiinteä virta kääntää liikkuvaa magnetineulaa, *neulagalvanometrit*, toinen laji siihen seikkaan, että kiinteä magneti kääntää liikkuvaa johtokierrettä eli johtorullaa, *käämigalvanometrit*. Neulagalvanometreissä vaikuttaa neulaan ei ainoastaan virran kääntävä voima, mutta myös maan magnetismi. Maan magnetinen voima ei ole joka hetki samalla paikallakaan vallan yhtä suuri. Sitä paitsi vaikuttaa neulaan jokainen läheisyydessä oleva rautakappale ja kaikki ympäristössä löytyvät sähkövirrat. Sellaisia väkeviä virtoja löytyy aina etenkin kaupungeissa, sähkövalovirtoja ja sähköisten raitioteiden virtoja. Galvanimetrin neula on siis moninaisten häiriöiden alaisena. Näitä haittoja ei ole käämigalvanomet-



Kuva 234. Liikkuva solenoidi.



Kuva 235. Peiligalvanometri.

listä on mittapykälikkö¹ ja sen yläpuolella kaukoputki. Mitta heijastuu peilistä ja kaukoputkessa nähdään joku mittan pykälä kaukoputkessa löytyvän pystysuoran langan kohdalla. Jos galvanometrillä peili vähänkin kääntyy, nähdään heti toinen pykälä langan kohdalla. Sellaista galvanometriä sanotaan *peiligalvanometriksi*.

Olemme jo huomauttaneet, että neulagalvanometriin vaikuttaa myös maan magnetismi vähentäen galvanometrillä herkkyyttä. Maan magnetismin vaikutuksen voi heikontaa ja koko-

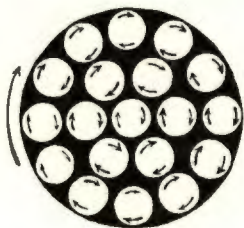
rilla. Siinä käytetty magneti on niin voimakas, että nuo häiritsevät vaikutukset ympäröstä eivät laisinkaan tule näkyviin. Käämialvanometrejä käytetään etenkin väkeviä ja keskinkertaisen väkeviä virtoja mitattaessa, etenkin kun sen avulla pittemmittä laskuita voi löytää virran voimakkuuden ja rakentaa sen niin, että siitä heti voi nähdä voimakkuuden ampereinä. Sellaisia koneita nimitetään *ampere-metreiksi*. Voipi galvanometrillä asteikon pykälöidä niinkin, että siitä voi nähdä sähkölähteen jännevyyden voltina. Kone saa silloin nimen *voltmetri*. Se asetetaan pääjohdosta haarautuvaan sivujohtoon.

Kun on mitattava heikkoja virtoja, niin galvanometrillä liikkuva osa, neula tai käämi ripustetaan hieppoon lankaan ja kiinnitetään tähän liikkuvaan osaan pieni peili. Noin 1—3 m pei-

naan kumotakin kahdella tavalla. Asetetaan galvanometri-neulan yläpuolelle magneti, jonka pohjoispoli on käännetty pohjoiseen päin. Tämä magneti pyrkii kääntämään galvanometri-neulaa päinvastaiseen asemaan kuin maan magnetismi ja heikontaa siten maan magnetismin vaikutusta. Tämä magneti saa nimen *vapauttajamagneti* (astatiseeraava magneti). Toinen tapa on käyttää galvanometrissä kahta neulaa, jotka ovat kiinnitetyt samaan akseliin siten, että niiden poltit ovat käännettyt vastakkaisiin suuntiin. Maan magnetismi pyrkii kääntämään sellaiseen neulapariin kuuluvia magneeteja vastakkaisiin suuntiin. Jos neulat olisivat vallan yhtä väkevästi magnetisiä, niin maan magnetismin vaikutus olisi kokonaan kumottu. Kun tätä ei voi kumminkaan koskaan toteuttaa, niin käytetään vielä lisäksi vapauttajamagnetiä. Jos neulapari, joka saa nimen *vapaasuuntainen* (astatinen) neulapari, ripustetaan hienoon kvartsilankaan, saadaan näin tunnokkaain galvanometri, minkä ylipäänsä voi rakentaa.

Olemme nähneet, että sähkövirta, etupäässä solenoidi, on kaikissa suhteissa verrattava magnetiin. On siis luonnollista otaksua, että kaksi solenoidiakin vaikuttavat toisiinsa kuten kaksi magnetiä. Että asianlaita niin on, sen on Ampère näyttänyt. Oppia sähkövirtojen mekaniisista vaikutuksista toisiinsa sanotaan *elektrodynamikaksi*.

Lakien tutkimista varten käytetään Ampèren telinettä. Asetetaan liikkuva ja kiinteä johto yhdensuuntaisiksi. Huomataan, että johtojen välillä on olemassa vetovoima, jos virta molemmissa johdoissa käy samaan suuntaan, poistovoima, jos virrat käyvät vastakkaisiin suuntiin. Tutkittuaan yhdensuuntaisten johtojen vaikutusta toisiinsa, ryhtyi Ampère tutkimaan sellaisten johtojen vaikutusta, jotka ovat asetetut ristiin. Hän löysi seuraavan lain: Kaksi ristiin asetettua johtoa pyrkivät aina asettumaan yhdensuuntaisiksi siten, että virrat niissä kulkevat samaan suuntaan. Voiman, millä sähköjohdot vaikuttavat toisiinsa, suuruus on riippuva johtojen asemasta toisiinsa, niiden etäisyydestä toisistaan ja johdoissa kulkevien virtojen voimakkuudesta. Mitä viimeksi mainittuun seikkaan



Kuva 235.
Magnetin molekylivirrat.

tulee, niin kasvaa vaikutus kuten virtojen voimakkuuksien tulo. Jos siis virta molemmissa johdoissa lisätään kaksinkertaiseksi, niin tulee johtojen välinen voima nelinkertaiseksi j. n. e. Jos sama virta saa kulkea molempien johtojen läpi, niin muuttuu siis johtojen välillä vaikuttava voima kuten virran voimakkuus itsellään kerrottuna.

Se täydellinen yhtäläisyys, joka on olemassa solenoidien ja magnetien välillä, saattoi Ampèren ajattelemaan, että magnetiakin voisi pitää solenoidina. Voimme otaksua näet, että magnetin jokaisen molekylin ympärillä kiertää sähkövirta, *molekylivirta*. Raudassa, joka ei ole magnetinen, ovat, kuten jo aikaisemmin olemme olettaneet, molekyylit mikä minnekin päin ja molekylivirrat kulkevat siis myöskin kaikkiin mahdollisiin suuntiin. Näillä molekylivirroilla ei siis voi olla mitään elektrodynamista vaikutusta ympäristöön, koska ne kumoavat toistensa vaikutukset. Jos nyt sähkövirta johdetaan raudan ympäri, niin nuo molekylivirrat järjestyvät kaikki kulkemaan yhdensuuntaisina raudan ympäri kiertävän virran kanssa äsken mainitsemaamme Ampèren säännön mukaan. Kun raudan kaikki molekyylit ovat kääntyneet siihen asemaan, että niiden ympärillä kiertävät virrat kulkevat samaan suuntaan, niin kahden vierekkäin olevan molekylin ympärillä juoksevat virrat molekyylien vastakkain käännettyillä puolilla kyllä vastaisiin suuntiin ja kumoavat toistensa vaikutukset. Voimme siis olettaa, että magnetin ympärillä kiertää virta, joka on äärimäisien pinnalla olevien molekyylien ulkopuolella juoksevien virtojen summa. Olemme nähneet, että siinä raudan päässä, jonka ympärillä käypä virta juoksee kellonviisarien kulun vastaiseen suuntaan, kun raudan pää käännetään katsojaan päin, syntyy pohjospoli, toisessa päässä eteläpoli. Meidän tulee siis olettaa, että magnetin molekylivirratkin käyvät katsot-

tulee, niin kasvaa vaikutus kuten virtojen voimakkuuksien tulo. Jos siis virta molemmissa johdoissa lisätään kaksinkertaiseksi, niin tulee johtojen välinen voima nelinkertaiseksi j. n. e. Jos sama virta saa kulkea molempien johtojen läpi, niin muuttuu siis johtojen välillä vaikuttava voima kuten virran voimakkuus itsellään kerrottuna.

Se täydellinen yhtäläisyys, joka on olemassa solenoidien ja magne-

tien välillä, saattoi Ampèren ajattelemaan, että magnetiakin voisi pitää solenoidina. Voimme otaksua näet, että magnetin jokaisen molekylin ympärillä kiertää sähkövirta, *molekylivirta*. Raudassa, joka ei ole magnetinen, ovat, kuten jo aikaisemmin olemme olettaneet, molekyylit mikä minnekin päin ja molekylivirrat kulkevat siis myöskin kaikkiin mahdollisiin suuntiin. Näillä molekylivirroilla ei siis voi olla mitään elektrodynamista vaikutusta ympäristöön, koska ne kumoavat toistensa vaikutukset. Jos nyt sähkövirta johdetaan raudan ympäri, niin nuo molekylivirrat järjestyvät kaikki kulkemaan yhdensuuntaisina raudan ympäri kiertävän virran kanssa äsken mainitsemaamme Ampèren säännön mukaan. Kun raudan kaikki molekyylit ovat kääntyneet siihen asemaan, että niiden ympärillä kiertävät virrat kulkevat samaan suuntaan, niin kahden vierekkäin olevan molekylin ympärillä juoksevat virrat molekyylien vastakkain käännettyillä puolilla kyllä vastaisiin suuntiin ja kumoavat toistensa vaikutukset. Voimme siis olettaa, että magnetin ympärillä kiertää virta, joka on äärimäisien pinnalla olevien molekyylien ulkopuolella juoksevien virtojen summa. Olemme nähneet, että siinä raudan päässä, jonka ympärillä käypä virta juoksee kellonviisarien kulun vastaiseen suuntaan, kun raudan pää käännetään katsojaan päin, syntyy pohjospoli, toisessa päässä eteläpoli. Meidän tulee siis olettaa, että magnetin molekylivirratkin käyvät katsot-



Kuva 237.
Molekylivirtojen suunta magnetin polien ympärillä.

tuina magnetin pohjoispolista päin kello viisarien kulun vastaiseen suuntaan, eteläpolista päin katsottuina samaan suuntaan kuin viisarit.

Kun tällä tavalla käsitämme magnetismin, niin magnetismi ja sähkö eivät olekaan eri ilmiöitä, vaan sama ilmiö. Molekylien ympärillä kiertävät virrat voimme vallan hyvin selittää elektroniopin kannalta siten, että ehkäpä yksi ainoa elektroni kiertää kunkin molekylin ympärillä kuten maa auringon ympärillä ja magnetismi ei siis ole mitään muuta kuin elektronien liikettä.

XXIII.

Induktionivirrat. Magnetoinduktioni. Dynamokoneet. Siemensin dynamoprinsippi. Pyörrevirrat. Itseinduktioni ja seuravirrat. Transformatorit. Virrankatkaisijat.

Olemme edellisessä nähneet, että sähkövirta aikaansaa magnetismiä raudassa, olemme nähneet virran liikuttavan magnetia ja toista johtoa, jossa myös juoksee virta. Aikaisemmin olemme nähneet, kuinka sähkövirta synnyttää lämpöä ja aikaansaa kemiallisia ilmiöitä. Päinvastoin olemme nähneet, että lämpö ja kemialliset ilmiöt vuorostaan synnyttävät sähköä. Näyttää siis siltä, että syy ja seuraus voivat vaihtaa paikkaa, kun on kysymys sähköilmiöistä. Voimme kysyä: onko asian laita näin niihinkin ilmiöihin nähden, joista olemme viimeksi puhuneet?

Vastauksen tähän kysymykseen on antanut mies, joka vallan huomaamattomasta yhteiskunta-asemastaan, kirjansitojanapulaisesta, hämmästyttävän kokeilukykynsä ja petymättömän taitonsa kautta tehdä johtopäätöksiä kokeistaan, oli kuollessaan kohonnut kuninkaallisen tiedeseuran ensimmäisille kunniasijoille. Se mies oli englantilainen *Michael Faraday* († 1867). Olemme tavanneet tämän nimen jo aikaisemminkin silloin tällöin. Faradayn tutkimukset ulottuivat näet muillekin fysiikan aloille kuin sähköopin alalle, joskin hän on saavuttanut suurimman maineensa juuri sähköopin alalla, jolla alalla hän on ei ainoastaan keksinyt, vaan täydellisesti tutkinutkin ilmiöryhmän, joka sitä ennen oli vallan tuntematon.

Faraday lähti meille hyvin tunnetusta influenssi-ilmiöstä. Sähköinen kappale synnyttää sen läheisyyteen asetetussa kappaleessa sähköä. Eikö sähkövirtakin, joka juoksee johdossa, synnytä johdon läheisyyteen asetetussa johdossa sähkövirtaa?

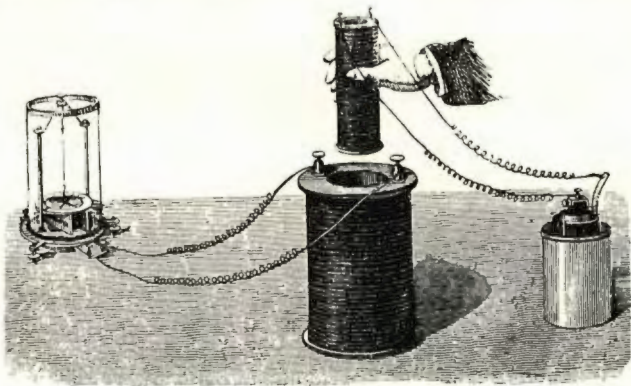
Niin kysyi Faraday. Pitkällisillä ja vaivaloisilla ihmeteltävällä nerolla ja taidolla järjestetyillä kokeilla haki Faraday vastausta kysymykseensä. Monta kertaa antoivat kokeet kieltävän tuloksen, monta kertaa täytyi hänen muuttaa mielipidettään, kun tulokset eivät vastanneet hänen toiveitaan. Löydettyään vihdoinkin hake miensa ilmiöiden jäljet, seurasi hän niitä väsymättä voittoon. Emme tarvitse tässä seurata tätä vaivaloista työtä askel askeleelta, otamme sen tulokset valmiina.



Kuva 238.
Michael Faraday.

Perustavan kokeen teemme seuraavalla tavalla. Hienoa eristettyä johtolankaa kierrämme onton puusylinterin ympärille useampia kerroksia. Toisen täyteen sylinterin ympärille kierrämme verrattain paksua myös eristettyä johtolankaa. Siten saamme kaksi johtoa, joilla ei ole keskenään mitään johtavaa yhteyttä. Täyteen sylinterin asetamme onton sisään. Sisemmän sylinterin ympärille kierretyn johdon yhdistämme galvaniseen elementtiin ja onton sylinterin ympärille kierretyn galvanometriin. Johto elementtiin on jollakin paikalla katkaistu ja johtolangan päät upotetut elohopealla täytettyyn pieneen kuppiin. Jos nyt nostamalla johdon yhden pään ylös elohopeasta katkaisemme johdon elementtiin, pääjohdon, jolloin elementin virta, *päävirta* eli *induseeraava* virta lakkaa, niin huomaamme galvanometrillä neulan heilaitavan tasapainoasemastaan ja heti taas palajavan takaisin siihen. Galvanometrillä johdossa, *sivujohdossa*, on siis syntynyt hetkellinen virta, *sivuvirta* eli *induktionivirta*. Saman ilmiön huomaamme uudelleen, kun pääjohto taas suljetaan upottamalla johtolangan pää elohopeaan. Jos tarkas-

tamme galvanometrin neulan poikkeamista, huomaamme poikkeamiset päävirtaa suljettaessa ja avattaessa tapahtuvan vastakkaisiin suuntiin. Neulan poikkeamisen nojalla voimme päättää, että sivuvirta päävirtaa suljettaessa käy vastaiseen ja päävirtaa katkaistaessa samaan suuntaan kuin päävirta. Jos siis päävirta nopeasti suljetaan ja katkaistaan vuorotellen, niin sivujohdossa käy vuorotellen virta yhteen ja toiseen suuntaan. Siinä syntyy n. s. *vaihtovirta*. Mukavammin kuin kädellä tapahtuu päävirran sulkeminen ja avaaminen erityisellä itsetoimivalla laitoksella. Sellainen on esim. *Wagnerin vasara*. Elektromagnetin ankkuri on kiinnitetty



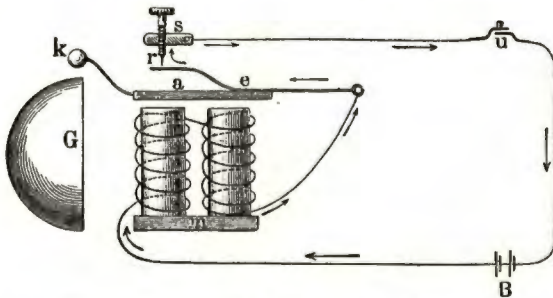
Kuva 239. Induktioni sähkövirralla.

joustavaan varteen. Varsi koskettaa ruuvin kärkeen. Sähköjohto elektromagnetista on yhteydessä vasaran joustavan varren kanssa. Sähkövirta käy ensin elektromagnetin ympäri, siitä vasaran vartta pitkin ruuviin ja siitä edelleen. Elektromagneti vetää ankkurin kiinni magnetiin, kun virta suljetaan. Silloin erkanee vasaran varsi ruuvin päästä, johto katkeaa siinä, virta katkeaa myös ja magnetismi häviää. Vasara ponnahtaa irti elektromagnetista ja varsi koskettaa ruuvin päähän. Virta tulee siten taas suljetuksi, magneti vetää ankkurin taas kiinni magnetiin j. n. e.

Induktionivirran herättämistä varten ei ole tarpeen kookanaan katkaista päävirtaa. Syntyy näet induktionivirta,

jos päävirtaa heikonnetaan ja samoin, jos sitä vahvistetaan. Päävirtaa vahvistettaessa syntyy induktionivirta, joka juoksee päävirran vastaiseen suuntaan, päävirtaa heikonnettaessa samaan suuntaan kuin päävirta.

Ei ole edes tarpeen muuttaa virran voimakkuuttakaan. Riittää induktionivirran herättämiseen, että toista johtokämmiä lähestytetään toiseen tai loitonnetaan siitä. Kun käämit lähestyvät toisiinsa, syntyy sivujohdossa päävirran vastainen virta, kun ne loittonevat toisistaan, syntyy sivujohdossa samasuuntainen virta kuin päävirta. On yhdentekevää kumpiko käämi liikkuu.



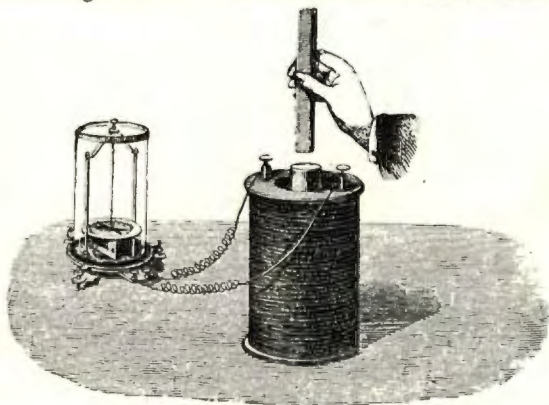
Kuva 240. Wagnerin vasara. B elementti, m sähkömagneti, a magnetin ankkuri, r kosketusruuvi. Kuva esittää samalla sähkökelloa, G kello.

Jos sivujohdossa juoksee jo ennestään virta, niin se ei vaikuta laisinkaan induktionivirran syntymiseen, induktionivirta syntyy mainitsemisamme tapauksissa vallan samalla lailla kuin virrattomassakin sivujohdossa. Induktionivirta joko vahvistaa tai heikontaa johdossa juoksevaa virtaa aina sen mukaan käykö se samaan tai vastaiseen suuntaan kuin johdossa juokseva virta.

Koska myös magnetia voimme pitää johtokäminä, niin sopii odottaa, että magnetillakin voi yhtä hyvin herättää induktionivirtoja kuin sähkövirralla. Tälle alalle kuuluvat ilmiöt, joita yhteisellä nimellä kutsutaan *magnetoinduktioniksi*, vastakohtana *elektro-* eli *sähköinduktioniin*, jota juuri olemme tarkastaneet, ovatkin sähkön nykyaikaisen suurenmoisen ja manipuolisen käytännön pohjana.

Jos päävirran käämin asemasta upotamme onton sivujohtokäämin sisään teräsmagnetin, niin huomaamme sivujohdossa syntyvän hetkellisen induktionivirran, joka lakkaa niinpian kuin magneti on tullut lepoon. Samoin huomaamme syntyvän induktionivirran, kun magneti poistetaan käämin sisältä. Syntyneet virrat käyvät vastakkaisiin suuntiin siten, että magnetia käämiin lähestytettäessä virta käy vastaiseen, magnetia loitonnettaessa samaan suuntaan kuin magnetin molekylivirrat.

Voimme magnetoinduktionin aikaan saada myös tilapäisellä rautamagnetilläkin. Asetetaan onton käämin sisään peh-



Kuva 240. Magnetoinduktioni rautamagnetilla.

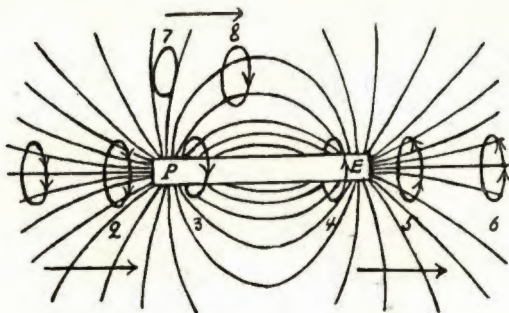
meä rautatanko tai enemmän hapetetuista rautalankapalasisästä tehty kimppu. Lähestytetään teräsmagnetia. Tanko tai kimppu tulee magnetiseksi ja johdossa syntyy virta. Kun teräsmagnetin poistetaan, häviää magnetismi raudasta ja käämissä syntyy vastaiseen suuntaan käypä virta. Edellisessä tapauksessa käy virta taaskin vastaiseen, jälkimmäisessä samaan suuntaan kuin rautamagnetin molekylivirrat.

Lienee syytä yhdistää ne tulokset, joihin nyt olemme tulleet yhdeksi ainoaksi laiksi. Lain on lausunut Pietarin yliopiston professori *Lenz* († 1865) ja kuuluu se: Jokainen sähkövirran tai magnetin aseman muutos johtokierteeseen nähden aikaansaa tässä johtokierteessä virran. On yhdentekevää,

liikkuuko sähkövirta tai magneti johtokierteeseen nähden tai päinvastoin. Herätetyn induktionivirran suunta on sellainen, että induseeraavan virran tai magnetin ja induktionivirran välillä syntyy voima, joka kahden virran tai virran ja magnetin välistä veto- ja poistovoimaa koskevien lakien mukaan pyrkii vastustamaan tuota tapahtuvaa muutosta johtokäämin ja virran tai magnetin keskinäisessä asemassa.

Lenzin lailla on syvempikin merkitys kuin vain muistin-apusäännöllä. Se lausuu näet sen, että energian häviämättömyyden laki koskee myös induktionivirtoja. Oletamme, että meillä on kaksi käämiä, joissa molemmissa juoksee virta samaan suuntaan. Toinen olkoon kiinteä, toinen liikkuva. Tiedämme, että kaksi samaan suuntaan juoksevaa virtaa vetävät toisiansa. Tämä sähköinen vetovoima toimittaa, kun käämit lähestyvät toisiansa, työtä. Tähän työhön kuluu energiaa. Mistä tulee tuo energia? Se ei voi tulla muualta kuin kiinteän käämin virran energiasta. Jollei tämä virta toimita mitään työtä, niin muuttuu virran energia kaikki lämmöksi johdossa. Johdon lämpiäminen riippuu kuten tiedämme johdon vastustuksesta ja virran voimakkuudesta. Joskin kiinteä käämi vetää liikkuvaa, niin kiinteän johdon vastustus ei voi muuttua. Virran voimakkuuden täytyy siis muuttua ja muuttua niin paljon pienemmäksi, että johdossa syntyneen lämmön vähentyminen vastaa sitä mekanista työtä, mikä tarvitaan lähestyttämään liikkuvaa käämiä kiinteään. Kiinteässä käämissä täytyy siis syntyä toinen virta, induktionivirta, joka juoksee alkuperäisen virran vastaiseen suuntaan ja siten vähentää virran voimakkuutta. Induktionivirta juoksee myös liikkuvan käämin virran vastaiseen suuntaan. Kaksi vastakkaisiin suuntiin juoksevaa virtaa poistavat toisiansa, joten induktionivirran ja induseeraavan virran välinen voima pyrkii poistamaan liikkuvaa käämiä kiinteästä. Tämähän olikin Lenzin laki.

On tarkastettava vielä mistä seikoista induktionivirran voimakkuus on riippuva. Tiedämme, että niin hyvin sähkövirralla kuin magnetillakin on voimaviivoja. Kun virta alkaa, syntyvät sen ympärille voimaviivat, kun virta lakkaa, vetäytyvät viivat taas takaisin johtoon. Nämä voimaviivat leikkaavat aina sitä johtoa, jossa induktionivirta syntyy ja syynä



Kuva 242. Liikkuva johtokierre ja magneti voimaviivoineen. Voimaviivat lähtevät magnetin pohjoispolista (P) ulos ja tunkeutuvat sen eteläpolista (E) takaisin magnetiin. Niiden suunta on oikealta vasemmalle. Kun liikkuva johtokierre liikkuu pohjoisolia kohti, lisääntyy kierrettä leikkaavien voimaviivojen luku ja syntyy kierreessä vastapäiväinen virta. Kun kierre liikkuu magnetin keskustasta edelleen oikealla, vähenee leikkaavien voimaviivojen luku ja kierreessä syntyy myötäpäiväinen virta.

induktionivirtaan on juuri tämä seikka. Kun päävirta suljetaan, kasvavat johdosta, jos niin voimme sanoa, voimaviivat ja sinä hetkenä, jolloin viivat leikkaavat sivujohtoa, syntyy induktionivirta. Kun päävirta katkaistaan, vetäytyvät voimaviivat takaisin johtoon, ne leikkaavat taaskin sivujohtoa vastaiseen suuntaan, jolloin taas syntyy induktionivirta.

Kun edelleen sivujohtoon ja pääjohdon tai magnetin keskinäistä asemaa muutetaan, niin niiden voimaviivojen, jotka leikkaavat sivujohtoon yksityisten kierteiden ympäröimää pintaa, lukumäärä muuttuu yhä, koska niin hyvin sähkövirran kuin magnetinkin ympärillä voimaviivojen tiheys ei ole kaikkialla yhtä suuri, paikoittain on viivoja tiheämmässä, paikoittain harvemmassa. Kuta suurempi voimaviivojen luku on, joka sekunnissa sivujohtoon kierteen ympäröimään pintaan tulee lisää tai siitä poistuu eli kuta suuremmalla nopeudella pintaa leikkaavien voimaviivojen luku muuttuu, sitä voimakkaampi on syntynyt induktionivirta. Jos ajatellaamme katsovamme sivujohtoa voimaviivojen suuntaan, niin voimaviivojen luvun väheneminen synnyttää myötäpäiväisen, voimaviivojen luvun lisääntyminen vastapäiväisen virran. Jos pintaa leikkaavien voimaviivojen luku pysyy johdon liikkuessa muuttumattomana, ei synny mitään induktionivirtaa.

Tästä voimme nyt päättää mistä seikoista induktionivirran jänitys on riippuva. Kuta voimakkaampi päävirta tai magneti on sitä suurempi on induktionivirran jänitys, sillä väkevän virran tai magnetin läheisyydessä ovat voimaviivat tiheämmässä kuin heikon virran tai magnetin. Kuta nopeammin päävirran tai magnetin voimakkuus muuttuu sitä voimakkaampi on induktionivirta, sillä sitä nopeammin muuttuu voimaviivojen luku, jotka leikkaavat sivujohdon kierteen rajoittamaa pintaa. Samasta syystä kasvaa induktionivirran jänitys sitä suuremmaksi kuta nopeammin sivujohdon ja pääjohdon tai magnetin keskinäinen asema muuttuu. Vihdoin on syntyneen virran jänitys sitä suurempi kuta useampia kierroksia sivujohdossa on, sillä jokaisen kierroksen läpi käy joku määrä voimaviivoja ja kuta useampia kierroksia johdossa on sitä nopeammin muuttuu viivojen kokonaisluku kaikkiin kierroksiin nähden.

Induktioni, etenkin magnetoinduktioni, tarjoaa meille erinomaisen keinon väkevien sähkövirtojen aikaansaamista varten, sellaisten virtojen, joita tarvitaan sähkövalon aikaansaamista, sähköveturien, sähköraitiovaunujen kuljettamista y. m. varten. Galvanisten elementtien käyttäminen väkevien virtojen aikaansaamiseksi on monesta syystä mahdoton. Jokainen elementti vaatii huolellista hoitoa ja antaa vain heikon virran. Suurien paristojen kokoonpano on vaivaloinen työ ja sellainen paristo vaatii suuren tilan. Ja vihdoin on suuren pariston kunnossapito ja käyttö kallista. Lämmön suoranainen muuttuminen sähköksi ei myöskään ole, kuten aikaisemmin olemme maininneet, taloudelliselta kannalta edullinen. Vastaiseksi on edullisinta muuttaa mekanista työtä sähköksi, joko höyrykoneen tai vesiputouksen toimittamaa, ja tähän tarjoaa juuri magnetoinduktioni mukavimman keinon.

Jos pehmeästä raudasta tehdyn sydämen ympärille kierretään käämi eristettyä johtolankaa ja tämä käämi sydämiin liikkuu magnetisessa kentässä, jossa paikoittain voimaviivat ovat tiheämmässä, paikoittain harvemmassa, niin syntyy käämissä induktionivirta, jota vielä rautasydämessä syntynyt magnetismi vahvistaa.

Heti kun Faraday oli keksinyt induktionin, rakennettiin tähän seikkaan perustuvia koneita, magnetosähkökoneita tai

niinkuin niitä nyt nimitetään, *dynamokoneita* eli *dynamoita*. Ensimmäisen tällaisen koneen rakensivat toistensa työtä tuntematta parisilainen mekaniko *Pixii* ja lontoolainen professori *Ritchie* v. 1833. Pixiin koneessa oli hevosenkengän muotoinen kiinteä elektromagneti ja hevosenkengän muotoinen teräsmagneti, jonka poltit olivat asetetut elektromagnetin poltia kohti. Teräsmagneti pantiin pyörimään. Kun teräsmagnetin poltit ovat elektromagnetin polien kohdalla syntyvät niissä vastaiset poltit. Teräsmagnetin pyöriessä loittonevat sen poltit elektromagnetin poleista, jonka vuoksi magnetismi niissä heikkonee ja niiden ympärille kierrettyssä langassa syntyy induktionivirta. Elektromagnetin poltit heikkonevat aina siihen saakka, kunnes teräsmagnetin polien välinen viiva on kohtisuora elektromagnetin polia yhdistävää viivaa vastaan. Magnetin pyöriessä edelleen lähestyvät sen poltit taas elektromagnetin poleja, joten magnetismi niissä taas vahvistuu, mutta poltit ovat nyt vaihtuneet. Magnetismi vahvistuu aina siihen saakka, kunnes molempien magnetien poltit ovat taas vastakkain, heikkonee sitten ja poltit vaihtuvat taas, kun magnetien poleja yhdistävät viivat ovat kohtisuorat toisiaan vastaan. Siten syntyy elektromagnetin käämissä vaihtovirta, joka muuttaa suuntaansa kaksi kertaa teräsmagnetin pyöriessä kerran ympäri. Tietysti syntyy käämeissä virta paitsi niiden rautasydämien magnetismin vaihteluista myöskin sen vuoksi, että teräsmagnetin pyöriessä sen voimaviivat myös pyörivät, joten käämien kierroksien läpi kulkevien voimaviivojen luku muuttuu. Molemmat näin syntyneet virrat juoksevat samaan suuntaan. Virta vaihtaa suuntaa silloin, kun magnetien poltit ovat vastakkain. Voimakkain on virta, kun magnetien poltit ovat 90° toisistaan.

Teräsmagneti saa nimen dynamon *kenttämagneti* ja lankakäämi rautasydämiseen nimen *ankkuri* eli *armaturi*.

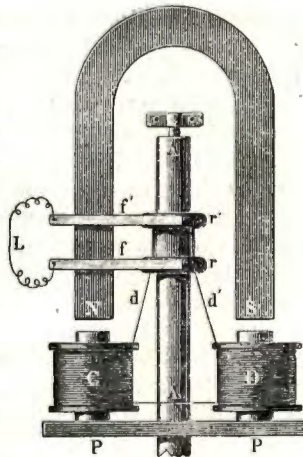
Pixiin koneessa oli kiinteä ankkuri ja liikkuva kenttämagneti. Ritchien kone oli rakennettu päinvastaisella tavalla. Ankkurin lankakäämien päät olivat kiinnitetyt kahteen eristettyyn metallirenkaaseen ankkurin akselilla. Kaksi metallijousta painoi kumpikin rengastaan vastaan. Jousiin oli ulkojohto kiinnitetty. Ankkuri voi siis vapaasti pyöriä ja käämeissä syntynyt vaihtovirta kumminkin johtua ulkojohtoon.

Tällaiset koneet antoivat kumminkin verrattain heikon virran, sillä teräsmagnetia ei voi saada kovinkaan väkeväksi, jota paitsi sen magnetismi vähitellen heikko-nee. Jos haluttiin saada väkevää virtaa, täytyi rakentaa kone muodottoman suureksi. Edullisempi on tietysti käyttää teräsmagnetin asemasta elektromagnetia. Puhumme tästä pian, kun ensin olemme tarkastaneet toiseen tapaan rakennettuja dynamoita.

Dynamon ankkurin lankakieroksen voi näet järjestää niinkin, että kone antaa samasuuntaisen virran eikä vaihtovirtaa. V. 1864 rakensi Turinin professori *Pacinotti* sellaisen koneen. Kone tuli yleisemmin tunnetuksi nimellä *Grammen* kone.

Rautasydämenä käytti Pacinotti ympyrän muotoista rengasta, jonka ympärille oli pitkin koko pituutta kierretty johtolankaa ja joka pyöri magnetin polien välillä, mitkä osaksi ympäröivät rengasta. Rautarengas tulee tietysti magnetin polien kohdalta myös magnetiseksi, niille paikoille syntyvät magnetin polien vastaiset polit. Kun rengas pyörii, siirtyvät nämä polit rengasta pitkin, sillä yhä uudet osat renkaasta tulevat magnetin polien kohdalle ja ne osat, jotka ovat kulkeutuneet ohi, menettävät magnetisminsa. Voimme siis ajatella asian niinkin, että rengas pysyisi paikallaan ja lankakierokset siirtyisivät pitkin rengasta suuntaan, mihin rengas pyörii.

Ajattelempa tuon renkaanmuotoisen ankkurin pystysuorassa asemassa, magnetin pohjoispoli sen yläpuolella ja eteläpoli alapuolella. Renkaan yläosassa on siis pohjoispoli johtokierroksen ulkopuolella ja eteläpoli sen sisällä. Renkaan alaosaan päinvastoin. Voimaviivojen suunta on siis yläosassa magnetista renkaaseen ja alaosaan päinvastoin. Ajattelempa nyt erään johtokierroksen, joka on yhtä kaukana



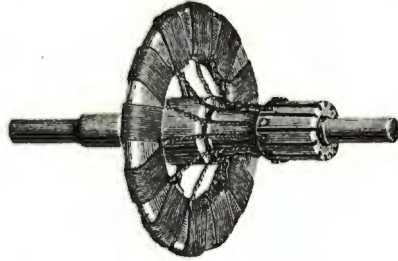
Kuva 243. Ritchien magnetosähkökone. NS teräksinen kenttämagneti. C ja D ankkurin lankakäämit. r r' eristetyt renkaat ankkurin akselilla. f f' metallijouset. L ulkojohto.

magnetin poleista. Se on vaakasuorassa asemassa. Renkaan pyöriessä lähestyy se esim. magnetin pohjoispolia ja muuttaa tietysti samalla asemaansa, kunnes se saavuttuaan pohjoispolin kohdalle on pystysuorassa asemassa. Tästä liikkeestä kuin myös siitä, että kierroksen sisällä oleva eteläpoli käy yhä voimakkaammaksi kierroksen lähestyessä magnetin pohjoispolia, syntyy kierroksessa induktionivirta. Kierroksen liikkeessa edelleen loittonee se magnetin pohjoispolista ja muuttaa asemaansa pystysuorasta vaakasuoraksi ja samalla kierroksen sisällä oleva eteläpoli heikkonee. Induktionivirta käy yhä edelleen samaan suuntaan, mutta heikkonee nyt. Kun kierre vaakasuorasta asemastaan liikkuu edelleen alaspäin, uudistuu sama ilmiö kuitenkin sillä erotuksella, että kierroksen sisällä on nyt pohjoispoli ja ulkopuolella eteläpoli, jonka vuoksi voima-
viivat leikkaavat kierroksen tasoa vastaiseen suuntaan. Induktionivirta on siis myös muuttanut suuntaansa. Jos siis koko renkaan ympärille kierretään johtolankaa, käy johtolangassa induktionivirta, renkaan yläpuolen ympäri yhteen, alapuolen ympäri toiseen suuntaan. Kahdessa pisteessä, joissa virta muuttaa suuntaansa, on johto virraton. Näissä pisteissä yhtyvät nuo vastaisiin suuntiin kulkevat virrat ja kumoavat toisensa. Tässä on asianlaita vallan sama kuin yhdistettäessä kaksi elementtiä toisiinsa siten, että positiviiset polit yhdistetään toisiinsa ja samoin negatiiviset; mitään virtaa ei johdossa synny. Ankkurin molemmat puoliskot ovat elementit, mitään virtaa ei ankkurinkaan johdossa synny, jos lanka on yhdenmittainen kierros renkaan ympärillä. Katkaistaan johto niissä pisteissä, joissa johto on virraton, ja yhdistetään erotetut langan päät johdolla renkaan akselilla oleviin toisistaan eristettyihin metallikaistaleihin siten, että kummastakin katkaisupaikasta molemmat langat yhdistetään samaan kaistaleeseen. Jatkaaksemme äskeistä vertaustamme sanomme siis, että olemme yhdistäneet kummankin elementin positiviisen polin toiseen ja negatiivisen polin toiseen kaistaleeseen. Jos nyt kaistaleet yhdistetään erityisellä johdolla toisiinsa, niin juoksee johdossa virta vain yhteen suuntaan, saamme samasuuntaisen virran. Metallikaistaleista, jotka asetetaan akselin vastakkaisille puolille, johdetaan virta ulkojohtoon taipuisista metallilangoista tehdyillä harjoilla, jotka akselin

pyöriessä sattuvat metallikaistaleihin. Jos sama lanka on kierretty renkaan koko puoliskon ympärille, jolloin akselilla on vain kaksi metallikaistaletta, niin on selvää, että virta menee ulkojohtoon vain silloin, kun kaistaleet koskettavat harjoihin, joten virrassa syntyy pitkä katkeama.

Ankkurin täytyy pyöriä puoli kierrosta, ennenkuin virta taas menee ulkojohtoon. Käytännössä rakennetaan ankkuri sen vuoksi siten, että renkaan ympärille kierretään koko joukko eri käämiä peräkkäin. Renkaan akselilla on yhtä monta metallikaistalettakin kuin käämiä on ja kaksi toistaan seuraavaa käämiä on yhdistetty toisiinsa siten, että edellisen käämin loppu ja seuraavan alku ovat samaan kaistaleeseen yhdistetyt. Kuten useampia käämiä renkaassa on sitä enemmän lähestyy virta yhdenmittaista virtaa.

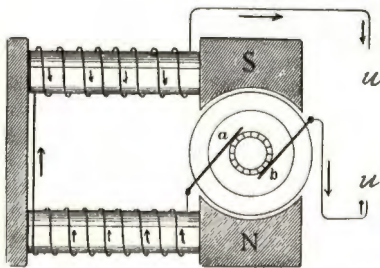
Dynamon, joka antaa samasuuntaisen virran, keksiminen antoi arvaamattoman kehityksen elektroteknikalle. Tämä kehitys on luettava etupäässä saksalaisen insinöörin *Werner von Siemensin* († 1906) ansioksi. Jo v. 1867 lausui hän sen ajatuksen, että voisi dynamokoneissa teräsmagnetin asemasta käyttää elektromagnetia, jonka koneen oma virta tekee mag-



Kuva 244.

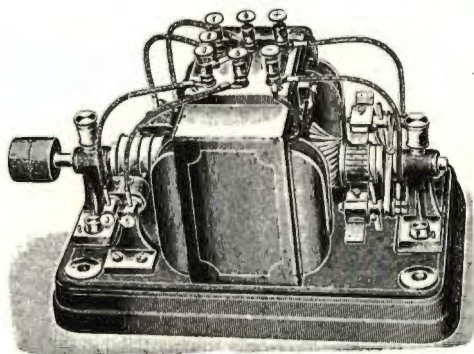
Dynamokoneen renkaanmuotoinen ankkuri.

netiseksi siten, että virta harjoista johdetaan ensin elektromagnetin ympäri ja sitten ulkojohtoon. Tämä on *Siemensin dynamoprinsipi* (peruste) ja sen perusteella rakennetaan kaikki nykyaikaiset koneet. Koneessa ei siis alkujaan ole mitään magnetia. Oletamme, että meillä on dynamo, joka antaa samasuuntaisen virran ja että



Kuva 245. Dynamoprinsipi. a, b renkaanmuotoisen ankkurin harjat. NS elektromagneti. u u ulkojohto.

johto on kierretty sen pehmeästä raudasta tehdyn magnetin ympäri. Annamme ensin jonkun vieraan virran, vaikkapa sähköpariston, kulkea elektromagnetin ympäri samaan suuntaan kuin dynamon virta tulee kulkemaan. Magneti tulee heikosti magnetiseksi. Nyt panemme ankkurin pyörimään. Syntyy virta, tosin heikko, joka kulkee elektromagnetin ympäri samaan suuntaan kuin pariston virta. Magneti tulee voimakkaammaksi ja ankkurissa syntyy väkevämpi virta. Magneti käy yhä voimakkaammaksi ja samalla myös ankkurin virta. Sähköparisto on nyt tarpeeton, kone käy edelleen ilman sitä. Kun dynamo on kerän ollut käynnissä, niin sen uudelleen käyntiin panoon ei tar-



Kuva 246. Nykyaikainen dynamokone.

vita vierästä virtaa, sillä elektromagnetissa on jäljellä kyllin magnetismia edelliseltä kerralta saattamaan koneen käyntiin. Koska tällaisessa koneessa magnetismi on tavallaan »sivutuote», niin voimme sanoa, että niissä voima, mekanisen työn toimittava voima, muuttuu suorastaan sähköksi. Siitä johtuukin koneen nimi dynamokone (kreikk. dynamis, voima), joka nimi siis etupäässä kuuluu tällaiselle koneelle.

Paitsi Grammen rengasta käytetään muunkin muotoisia ankkureja. Mainittakoon Siemens & Halske-yhtiön yli-insinööriin *von Hefner-Alteneckin* v. 1872 keksimä rumpuankkuri. Se on ontto rautasylinteri, joka pyörii akselinsa ympäri elektromagnetin polien välillä. Käämit ovat kierretyt sylinterin pituussuuntaan sen ympäri.

Kauan käytettiin melkein yksinomaan dynamoita, jotka antavat samasuuntaisen virran. Vaihtovirtadynamoilla on kuitenkin monessa suhteessa huomattavia etuja edellisiin nähden. Samasuuntaisen virran jänteys, volttiluku, on verrattain pieni, mutta virran voimakkuus, amperiluku suuri. Vaihtovirran jänteys sitävästoin on suuri ja voimakkuus verrattain pieni. Jos virta on johdettava pitkän johdon läpi, niin samasuuntaista virtaa johtamaan tarvitaan paksu johto, koska amperiluku on suuri, jotavastoin vaihtovirta, jonka amperiluku on pieni, tulee toimeen melkoista ohuemmalla johdolla. Pitkä johto on kallis, jos se samalla on paksu. Tästä syystä ovat vaihtovirtadynamot viime aikoina voittaneet yhä enemmän jalansijaa, etenkin kun erityisten laitojen, virran *muuttajien* eli *transformatorien* avulla helposti voi muuttaa virran, jolla on suuri volttiluku ja pieni amperiluku, virraksi, jolla on päinvastoin suuri amperiluku ja pieni volttiluku.

Vaihtovirtadynamon rakennuksen olemme jo oppineet tuntemaan Pixiin ja Ritchien koneissa. Johtava aate on, että sopivalla tavalla yhdistetyt johtokäämit, jotka myös voi varustaa rautasydämällä, pyörivät magnetipolien ohi, jolloin sydämissä pohjois- ja eteläpolit seuraavat toisiaan vuorotellen. Jos kaikki käämit ovat yhdistetyt yhdeksi johdoksi, syntyy siinä yksi vaihtovirta, jos ne ovat yhdistetyt ryhmiksi, syntyy ulkojohdossa useampia eri vaihtovirtoja n. s. kierto-
virta.

Vaihtovirtadynamoissakin käytetään kenttämagneteina elektromagneteja. Magneteihin tarvittava virta saadaan erityisestä dynamosta, joka antaa samasuuntaisen virran ja jonka ankkuri useinkin on kiinnitetty vaihtovirtadynamon akseliin, molemmilla koneilla on sama akseli. Samasuuntaisen virran antavan dynamon ankkuri on tavallisesti pyörivä ja magneti kiinteä, vaihtovirtadynamoissa ovat tavallisesti kenttämagnetit järjestetyt kehään, joka pyörii, ja ympärillä ovat kiinteät ankkurit. Sähkövaraajien (akkumulatorien) täyttämiseen voi käyttää tietysti vain samasuuntaista virtaa ja käytetäänkin niitä paljon samasuuntaisvirtadynamon yhteydessä.

Mainittakoon tässä vielä muutamia numeroita virran aikaansaamiskustannuksista, kun virta hankitaan elemen-

teillä tai dynamolla. Kun 1 kg sinkkiä kuluu elementissä, syntyy 550 kal. lämpöä. Sitävastoin antaa 1 kg hiiliä poltettuna 8,000 kal. Tästä lämmöstä muuttaa kuitenkin höyrykone vain noin 8% mekaniseksi työksi, siis noin 640 kal. Tästä lämmöstä muuttaa dynamo, työn muuttuessa sähköksi, 90% sähköksi. Siis on sähköksi muuttunut noin 570 kal. Yksi kilo sinkkiä maksaa vähintään 15 kertaa sen, minkä kilo hiiliä. Dynamon virta maksaa siis tuskin $\frac{1}{15}$ siitä, minkä sama virta maksaisi hankittuna elementeillä.

Tarkastamme vieläkin muutamia induktioni-ilmiöitä. Paitisi johtolangoissa syntyy induktioni-ilmiöitä myöskin suuremmissa metallikappaleissa. Sellaisia suuremmissa metallikappaleissa syntyviä virtoja sanotaan *pyörrevirroiksi*. Nämä virrat vaikuttavat sähkökoneissa useinkin häiritsevästi, jota paitisi niihin kuluu työtä ilman mitään hyötyä. Sähkökoneissa koetetaan estää näiden virtojen syntymistä siten, että suuremmat rautakappaleet, kuten käämien sydämet ja elektromagnetit, tehdään joko eristetyistä levyistä tai hapetetuista rautalangoista.

Toisesta induktioni-ilmiöstä, jonka myös Faraday keksi, on meidän vielä kerrottava. Kuten sähkövirta herättää lähellä olevassa johtajassa induktionivirran, niin herättää se sellaisen virran myös omassa johdossaan. Johtokäämihän on joukko yhdensuuntaisia kierteitä. Jos käämiin päästetään virta, niin jokainen kierre herättää muissa kierteissä induktionivirran. Sama on asianlaita, kun virta johdossa katkaistaan. Tätä ilmiötä sanotaan virran *itseinduktioniksi* ja näin syntynyttä virtaa *seuravirraksi* (*ekstravirraksi*). Kun virta suljetaan, juoksee seuravirta tietenkin virran vastaiseen suuntaan ja, kun virta katkaistaan, samaan suuntaan kuin johdon virta juoksi. Seurauksena tästä on, että kun virta suljetaan, niin virta ei heti saa täyttä voimakkuuttaan, koska syntynyt seuravirta juoksee vastaiseen suuntaan. Vasta hetken, joskin lyhyen, kuluttua on sillä täysi voimakkuus. Virtaa katkaistaessa ei voi oikeastaan puhua seuravirrasta, sillä kun johto on katkaistu, niin johdossa ei voi juosta mitään virtaa. Sellai-

nen seuravirta, joka juoksisi johdon virran suuntaan, pyrkii kumminkin syntymään ja voi sellainen erityisissä tapauksissa syntyäkin ja siten tavallaan jatkaa johdon virtaa. Sellainen tapaus sattuu, kun katkaistun johdon päät jäävät niin lähelle toisiansa, että seuravirta voi kipinästä kulkea niiden välillä. Johdon virta ei katkeakaan silloin silmänräpäyksessä, vaan kestää katkeaminen jonkun ajan. On kyllä keino, jolla voi välttää seuravirran syntymistä johdossa. Käämiksi kierrettävä johto taivutetaan keskikohdalta kaksinkerroin ja näin saatu kaksinkertainen johto kierretään käämiksi. Vierekkäin olevissa kierroksissa juoksee virta silloin vastakkaisiin suuntiin, jonka vuoksi myös syntyneet seuravirrat niissä juoksevat vastakkain ja kumoavat toisensa. Sellaisen käämin sanotaan olevan induktionista vapaan käämin.

Otaksumme, että käämiä, jossa virta juoksee, käytetään induktionivirran herättämiseen lähellä olevassa käämissä. Tiedämme, että induktionivirran jäniteys on sitä suurempi kuta nopeammin päävirran voimakkuus muuttuu. Olemme nähneet, että seuravirran vuoksi päävirtaa suljettaessa virran voimakkuus kasvaa jonkun ajan kuluessa. Päävirran voimakkuuden muutos ei tapahdu silmänräpäyksessä. Päävirran sulkemisesta syntyneen induktionivirran jäniteys on siis verrattain pieni. Toisin on asianlaita, kun päävirta katkaistaan. Se tapahtuu silmänräpäyksessä, jollemme ota huomioon, että seuravirta voi kipinästä kulkea johdon päiden välillä. Nyt saadun induktionivirran jäniteys on suuri. Ymmärrämme ilman pitemmittä selityksittä, että se, mitä nyt olemme sanoneet sivujohdossa syntyvästä induktionivirrasta, koskee myös pääjohdossa syntynyttä seuravirtaa. Kun päävirta suljetaan, syntyy verrattain heikko seuravirta, kun päävirta katkaistaan, syntyy väkevä seuravirta.

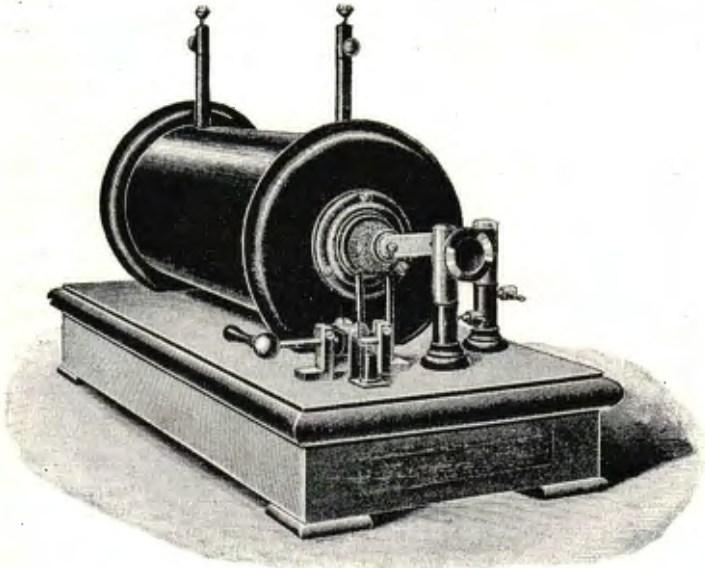
Olemme edellisessä tarkastaneet koneita, joissa magneti herättää induktionivirran. Tarkastamme nyt koneita, joissa induktionivirta saadaan toisen sähkövirran avulla. Koneita sanotaan *induktionikoneiksi* eli *transformatoreiksi*. Sellaiseen koneeseen olemme jo tutustuneet puhuessamme Faradayn kokeista. Onton käämin sisään asetaan toinen käämi ja sen sisään vielä rautasydän. Sisempään käämiin, jossa on verrattain pieni luku kierteitä ja johto paksua lankaa, johdetaan pää-



Kuva 247.
Transformatori.

virta. Kun virta suljetaan tai katkaistaan syntyy ulkopuolisessa käämissä, jossa on suuri luku kierroksia hienoa lankaa, induktionivirta. Pääjohdon sisällä oleva rautasydän aikaansaa, kun siinä syntyy magnetismia päävirran alkaessa ja kun siitä magnetismi häviää päävirran katketessa, myös induktionivirtoja sivujohdossa, jotka käyvät samoihin suuntiin kuin päävirran aikaansaamat virrat. Käyttämällä pitkää sivujohtoa voi saada induktionivirran, jonka jännitys on satatuhatta voltta ja enemmänkin, kun päävirran on vain 10 tai 20 voltta. Koska emme induktionikoneella, yhtä vähän kuin millään muullakaan koneella, voi luoda lisää energiaa, niin induktionivirran energia ei voi olla suurempi, vaan korkeintaan yhtä suuri kuin päävirran. Koska induktionivirran jännitys on suurempi kuin päävirran, täytyy sen voimakkuuden olla pienempi. Se energia, mikä päävirrassa on, on induktionivirrassa jaettu toisella tavalla, volttiluku on suurempi, mutta amperiluku pienempi. Tästä syystä saakin koneen nimi transformatori, muuttaja. Jos päinvastoin käytämme pääjohtona pitkää ja ohutta lankaa sekä sivujohtona lyhyttä ja paksumaa, niin voimme jakaa päävirran energiankin päinvastaisella tavalla. Päävirtana käytetään silloin virtaa, jolla on suuri jännitys ja pieni voimakkuus. Sivujohdosta saadaan virta, jolla on suuri voimakkuus, mutta pienempi jännitys. Puhuesamme vaihtovirtadynamoista mainitsimme, että sen antama virta on edullinen käyttää, jos sähköä on johdettava pitkä matka, koska virralla on pieni voimakkuus, josta syystä johto voi olla verrattain ohut. Käytännössä tarvitaan kumminkin useimmiten virtaa, jolla on suuri voimakkuus, mutta verrattain pieni jännitys. Niinpä sähkövalaistuksessa käytetään virtaa, jonka jännitys on vain 100—250 voltta, mutta virran voimakkuus on oleva suuri, jotta virta haarautuessaan lukuisiin lampuihin riittäisi kuumentamaan lampun johdon niin korkeaan lämpötilaan, että se säteilee valoa.

Vaihtovirtadynamos antavat virran, jonka jännitys on 2,000—10,000 voltia. Virran jännitys on siis ensin transformatorilla alennettava. Transformatori, joka on rakennettu äsken esittämämme periaatteen mukaan, sijoitetaan lähelle sitä paikkaa, missä muutettua virtaa on käytettävä. Jokainen sähköasemalla sijaitsevan dynamon johtoon yhdistetty transformatori on siis tavallaan dynamo, joka antaa erilaisen virran kuin aseman dynamo.



Kuva 248. Ruhmkorffin induktionikone.

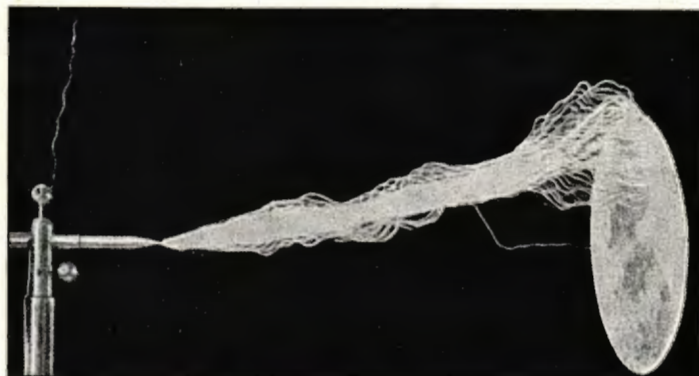
Jos pääjohdon virta on vaihtovirta, ei tarvita mitään laitosta, joka sulkee ja katkaisee päävirran. Jos taas päävirta on samasuuntainen virta, kuten elementin ja sähkökerääjän (akkumulatorin) virta on, niin täytyy induktionikone varustaa erityisellä virrankatkaisijalla. Erityisellä virrankatkaisijalla varustettuja induktionikoneita, jommoisia tieteellisissä tutkimuksissa etupäässä käytetään, rakensi ensin hyvinkin voimakkaita parisisäinen mekaniko *Ruhmkorff* († 1877).



Kuva 249.
Elektrolytinen virrankatkaisija.

Virran katkaisijana käytetään pienemmissä koneissa Wagnerin vasaraa, josta ennen olemme kertoneet. Elektromagnetina on vasarassa pääjohdon rautasydän. Vasara katkaisee kumminkin virran vain 15—20 kertaa sekunnissa eikä sitä voi käyttää väkevämpää virtaa varten kuin 4—5 amperiä, sillä väkevämpää virtaa käytettäessä sulaa kosketusruuvin päähän kiinnitetty platinapuikko, kun päävirran katketessa syntynyt seuravirta aikaansaa kipinän ruuvin pään ja vasaran varren välillä. Tämän katkaisukipinän syntyminen on, kuten jo olemme kertoneet, haitallinen väkevän induktionivirran aikaansaamiselle, etenkin kun katkaisun aiheuttama induktionivirta on voimakkaampi kuin sulkemisen aiheuttama. Katkaisukipinän voi ainakin suurimmaksi osaksi välttää Leydenin pullon tapaisella sähkötiivistäjällä. Parafiniin kastetun paperin molemmille puolille liimataan tinapaperia ja useampia sellaisia levyjä ladotaan päällekkäin. Joka toinen paperien välinen metallipäällys yhdistetään vasaran varreen, joka toinen kosketusruuviin. Katkaisusta syntyneen seuravirran sähkö leviää tiivistäjään, jolla on suuri varautumiskyky, ja kipinä on heikompi. Löytyy koko joukko muitakin virran katkaisijoita, mutta veisi liian pitkälle kertoa niistä kaikista. Kerromme kumminkin vielä yhdestä, joka on täydellisin katkaisija, mikä nykyään tunnetaan. Se on *Wehneltin* keksimä elektrolytinen katkaisija. Laimennettua rikkihappoa sisältävään astiaan upotetaan lyijylevy ja lasi- tai posliniputki, jonka läpi on pisetty platinapuikko. Platinapuikon kärki on nesteessä. Platinapuikko yhdistetään sähköpariston positiviseen ja lyijylevy negatiiviseen poltiin. Kun virta suljetaan nähdään platinapuikon päässä kirkas valoilmio ja kuuluu samalla kova sävel. Valoilmio syntyy puikon kärjessä kehittyvästä happikaasusta, jonka virta saa hehkumaan. Se seikka, että kuu-

luu sävel, todistaa nopeiden värähdyksien olemassa oloa. Huomaamme todellakin, että virta katkiaan ja taas alkaa erittäin nopeasti. Katkaisija on vallan itsetoimiva. Syyn tähän voimme selittää seuraavalla tavalla. Kärjessä kehittyä happea. Koska virran johto kärjen kohdalla on aivan ohut, syntyy kärjessä suuri kuumuus. Neste muuttuu siinä höyryksi. Kaasukerros kärjen ja nesteen välillä käy yhä laajemmaksi ja vihdoin ei virta enää voi kulkea sen läpi. Virta katkiaan ja seuraavirta aikaansaa kipinän, joka irroittaa kaasukerroksi kärjestä. Neste koskettaa taas kärkeen ja virta on suljettu. Tällaisella katkaisijalla voi virran katkaista 200—2,000 kertaa sekunnissa. Käyttämällä elektrolytistä katkaisijaa voi käyttää pääjohdossa väkevää virtaa, joten saadaan erittäin voimakkaita induktionvirtoja. Jänteys on aina 100,000 volttiakin. Sivujohdon päiden välillä saadaan loistavia kipinöitä aina 1 m pituisiakin. Tietysti on sivujohto oleva hyvin pitkä, jos näin voimakkaita ilmiöitä halutaan noin 85 tuhatta kierrosta.



Kuva 250. Induktionikoneen kipinä, 40 cm pitkä. Valokuvan mukaan.

XXIV.

Sähkövärähdykset. Impedanssi. Teslan virrat. Sähkö-aallot. Kohereri. Righin värähdin. Langaton sähköttäminen. Maxwellin elektromagnetinen valoteoria. Zeemanin ilmiö. Valosähköilmiöt.

Tosin voimme uudenaikaisilla virrankatkaisijoilla katkaista päävirran parituhatta kertaa sekunnissa, mutta luonto itse tarjoaa meille keinon virran katkaisemiseen satojatuhansia, miljonja ja tuhansia miljonja kertoja sekunnissa. Voimme aikaansaada sähkövirtoja, jotka vaihtavat suuntaansa tuhansia miljonja kertoja sekunnissa. Sellaisia mahdollottoman nopeasti vaihtuvia virtoja sanotaan *sähkövärähdyksiksi*. Keino, jolla niitä aikaansaadaan, on sähkökipinä.

Kun sähkökipinä lyö induktionikoneen sivujohdon päiden välillä, Leydenin pullon ulko- ja sisäpuolisen päällystysten välillä tai ylipäänsä minkä kahden kappaleen välillä hyvänsä, niin syntyy aina sähkövärähdyksiä. Syynä näihin erittäin nopeisiin värähdyksiin, joiden luku on tuhansia miljonjakin sekunnissa, on se, että jokaisessa sähköpurkauksessa syntyy aina seuravirta. Tarkastamme sähkön purkautumista Leydenin pullon päällystysten välillä. Leydenin pullon päällystyksillä on, kuten tiedämme, vastaista sähköä. Jos päällystyksiin yhdistetään langat ja lankojen päät asetetaan lähemmäksi, niin vastaisten sähköjen välisen vetovoiman vuoksi purkautuvat sähköt langoista ilmaan ja yhtyvät, syntyy sähkövirta langoissa. Sähköjen yhtymisen vuoksi vähenee sähkömäärä kummallakin päällystyksellä, josta taas seuraa, että jänteysienkin ero pienenee. Tästä seuraa edelleen, että purkausvirta heikkonee. Kaikki tämä tapahtuu tietenkin äärettömän lyhyessä ajassa, muutamassa miljonas- tai tuhannesmiljonasosassa sekunnista. Kun virran voimakkuus johtajassa

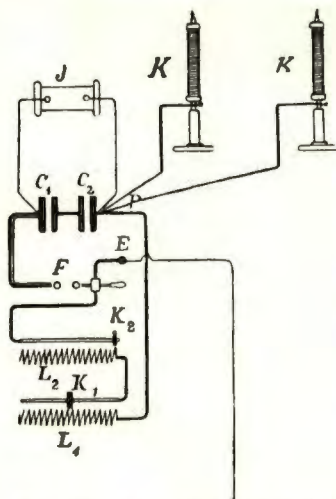


Kuva 251. Pyörivästä peilistä heijastunut sähkökipinän kuva.

vähenee, syntyy seuravirta. Heti kun purkautumisvirta alkaa, alkaa seuravirtakin ja juoksee tietysti purkautumisvirran vastaiseen suuntaan. Pian käy purkautumisvirta niin heikkoksi, että seuravirta pääsee voitolle. Syntyy siis sähkön purkautuminen vastaiseen suuntaan. Kuten ensimmäinen purkautuminen heikkonee toinenkin purkautuminen, syntyy vastaiseen suuntaan käypä seuravirta. Kolmas purkautuminen tapahtuu siis taas samaan suuntaan kuin ensimmäinen. Siten tapahtuvat purkaukset vuorotellen vastakkaisiin suuntiin, syntyy *värähtelevä* purkautuminen, syntyy sähkövärähdyksiä.

Voipi kokeellisestikin näyttää, että Leydenin pullon purkautuminen on värähtelevä. Sen teki ensimmäisenä saksalainen *Feddersen*. Hän asetti peilin siten, että kipinä kuvastui peiliin. Peili pannaan nopeasti pyörimään. Kipinän kuva näkyy silloin peilissä venytettynä valokuovaksi. Valojuova ei ole kumminkaan yhtenäinen, sen katkaisevat tummat paikat, joka seikka juuri todistaa, että purkautuminen on värähtelevä, eikä yhdenmittainen. Feddersen voi kokeensa avulla määrätä myös värähdysajankin. Valojuovan pituudesta voi, kun peilin pyörimisaika ja etäisyys peilistä valokuvauslevyyn, jolla peilistä heijastunut kipinän kuva valokuvattiin, ovat tunnetut, laskea kuinka kauan purkautuminen kaikkiaan kestää. Laskemalla valojuovassa olevat tummat paikat saamme tietää montako kertaa tämän ajan kuluessa purkautuminen on keskeytynyt ja muuttanut suuntaansa. Jakamalla koko ajan tällä luvulla saamme värähdysajan.

Vastuksen voittaminen luonnossa tapahtuu jaksollisesti, sen huomaamme siitäkin, että vastuksen voittamisesta aina syntyy ääni. Ylipäänsä ovat värähdykset sitä nopeammat kuta pienempi se ainemäärä on, joka liikkuu edestakaisin. Tämä toteutuu myös sähkövärähdyksiin nähden. Kuta pienempi purkautuva sähkömäärä on, sitä nopeammat ovat värähdykset. On siis edullista antaa purkauksen tapahtua kappaleiden välillä, joiden varautumiskyky on pieni.



Kuva 252. Johto sähkövärähdyksen aikaansaamiseksi varten. J induktio-kone. C_1 C_2 Leydenin pullot. F ki-pinäväli. L_1 L_2 käämit johdon itse-induktionin muuttamista varten. K K käämit, joissa resonanssin kautta syntyy sähkö-aaltoja.

Emme siis voi laisinkaan epäillä sähkövärähdyksen olemassa oloa. Koska sellaisia värähdyksiä on, niin täytyy niillä olla samat ominaisuudet kuin värähdyksillä yleensä on. Olemme aikaisemmin oppineet tuntemaan ilmiön, joka käy nimellä kumu eli resonanssi. Siihen olemme ääniopissa tutustuneet, sen olemme tavanneet uudelleen valo-opissa puhuessamme tummista juovista imeytymis-spektrissä. Ääni ja valo ovat värähdyksien aikaansaamia ilmiöitä. Onko sama ilmiö olemassa myös sähkövärähdyksiin nähden, synnyttävätkö johdossa tapahtuvat sähkövärähdykset samanlaisia värähdyksiä lähellä olevassa johdossa, kunhan vain molemmat johdot ovat samalla tavalla »viritetyt», käyttääksemme lausepartta ääniopista?

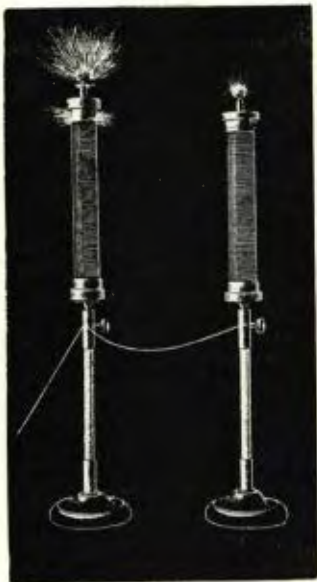
Oletamme, että on kaksi johtoa, värähdysohdoiksi voisimme niitä nimittää. Toisessa johdossa syntyy sähkövärähdyksiä siten, että sähkö purkautuu kahden johdon pisteen välillä. On tutkittava, syntyykö toisessakin johdossa värähdyksiä. Johdot voivat olla joko kokonaan erillään toisistaan, olla induktiivisesti yhdistetyt, tai ovat ne yhdistetyt johdolla, ovat galvanisesti eli suoraaan yhdistetyt.

Johdon, jossa värähdykset syntyvät, järjestämme seuraavalla tavalla. Kaksi suurta Leydenin pulloa eristetään. Toisen sisäpuolinen päällystys yhdistetään toisen ulkopuoliseen. Induktionikoneen sivujohdon päät yhdistetään edellisen pullon ulkopuoliseen ja jälkimäisen sisäpuoliseen päällystykseen. Samoihin päällystykseen on johto, jossa värähdykset syntyvät, kiinnitetty. Osa johdosta on eristävälle alustalle kierrettyä eristämätöntä lankaa, jonka kierrokset eivät kosketa toisi-

ansa ja josta erityisellä koskettajalla voi johtoon yhdistää pienemmän tai suuremman luvun kierroksia, joten johtoa voi pidentää tai lyhentää. Johto on yhdellä paikalla katkaistu ja päät päättyvät palloihin. Kun induktionikone pannaan toimimaan varautuvat Leydenin pullojen päällystykset vastaisilla sähköillä ja pallojen välillä tapahtuu värähtelevä purkautuminen. Purkautuminen on loppunut, ennenkuin induktionikoneen virta muuttaa suuntaansa. Leydenin pullo varautuvat uudelleen ja syntyy uusi purkautuminen. Jos induktionikoneen virta vaihtaa suuntaansa esim. 2,000 kertaa sekunnissa, niin voi jokaisen vaihdoksen välillä purkautuminen muuttaa suuntaansa esim. kymmenen kertaa. Silloin syntyy johdossa kaksikymmentätuhatta värähdystä sekunnissa. Kun kumminkin jokainen kipinä kestää vain noin $\frac{1}{50,000}$ sek., niin tapahtuvat nuot 20,000 värähdystä noin $\frac{1}{25}$ sekunnissa, joten kuhunkin värähdykseen kuluu $\frac{1}{500,000}$ sek. Suurimman osan ajasta on johto siis värähdyksistä vapaa. Yhdistämällä johtoon pienemmän tai suuremman osan toista eristämättömästä langasta voi johdon itseinduktionia melkoisesti muuttaa ja siten heikontaa tai vahvistaa johdossa syntyvää seuravirtaa, jonka voimakkuudesta riippuu nopeus, millä purkautuminen vaihtaa suuntaansa. Siten voimme muuttaa johdossa syntyvien värähdysten lukua ja siten samalla sähköaaltojen pituutta johdossa.

Toinen johto, jossa värähdykset ensimmäisessä johdossa herättävät värähdymiä, on yksinkertaisesti käämi hyvin eristettyä lankaa, jonka pituuden ja paksuuden voi valita mielivaltaisesti. Käämin yksi pää yhdistetään ensimmäisen johtoon, tavallisesti siihen Leydenin pullon päällykseen, mistä tuo johto, jonka pituutta voi muuttaa, alkaa.

Kun ensimmäinen johto alkaa toimia, niin ei ehkä huomata toisessa johdossa mitään erityistä. Mutta kun ensimmäisen johdon pituutta muutetaan, niin syntyy värähdymiä toisessakin. Se huomataan siitä, että käämin vapaasta päästä sinkoilee ilmaan väkeviä sinertäviä kipinöitä kimputtain. Jos ensimmäistä johtoa edelleen pitennetään, lakkaavat kipinät. Johdot eivät ole enää viritetyt sopusointiin. Käämin päässä on n. s. jänneyskupu, suurin sähköön jänneys, koska sähkö ei voi siitä johtua kauemmaksi. Siitä syntyvät kipinät.



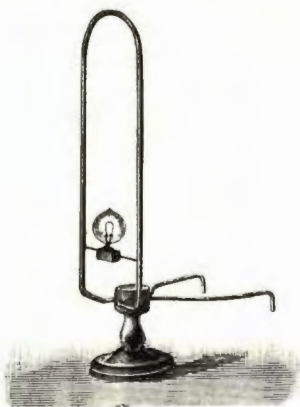
Kuva 253. Käämien päästä sinkoilee väkeviä kipinöitä.

Kun tavallinenkin vaihtovirta juoksee johdossa, niin johdo näennäisesti vastustaa sitä enemmän kuin samasuuntaista virtaa. Syynä tähän ovat kumminkin johdossa syntyneet seuravirrat, jotka aina käyvät, kuten tiedämme, alkuperäisen virran vastaiseen suuntaan ja heikontavat sitä, siis näennäisesti suurentavat johdon vastustusta. Ilmiö saa sähköopissa nimen *impedanssi*. Tämä ilmiö huomataan paljon voimakkaampana, kun johdon läpi juoksee erittäin nopeiden värähdyksien synnyttämä virta; siitä on seurauksena ilmiöitä, joita ei laisinkaan huomata käytettäessä samasuuntaista tai verrattain hitaasti suuntaansa muuttavaa vaihtovirtaa. Seuravirta voi tällaisessa tapauksessa heikontaa alkuperäisen virran

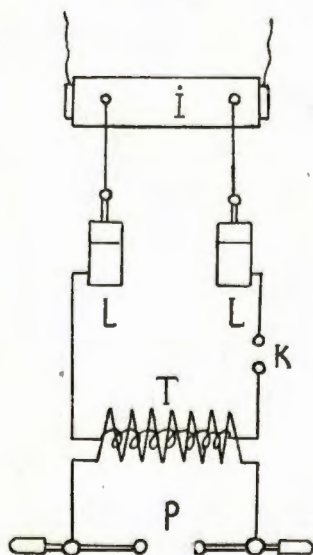
siinä määrin, että se ei ollenkaan mene johdon läpi. Erittäin nopeasti vaihtuva virta voi helpommin mennä senttimetrin pituisen hienon hiililangan läpi kuin paksun muutamia senttimetrejä pitkän kuparilangan läpi, koska kuparilangassa syntynyt seuravirta on paljon voimakkaampi. Tämän voi näyttää seuraavalla hauskalla kokeella. Taivutetaan paksu kuparilanka korkeaksi hevosenkengän tapaiseksi kaareksi. Kaaren poikki asetettuihin johtoihin pannaan hehkulamppuja. Kun johdossa herätetään sähkövärähdyksiä, niin lamput loistavat. Samasuuntainen virta ja hitaasti vaihtuva vaihtovirta menisi suurimmaksi osaksi kuparilangan läpi, aivan vähäinen osa lamppujen läpi.

Tietysti tällaisella nopeasti vaihtuvalla virralla on erittäin voimakkaita induktionivaikutuksiakin, sillä kuta nopeammin päävirta vaihtuu, sitä voimakkaampi on induktionivirta.

Nopeasti vaihtuvista sähkövärähdyksestä syntyneiden virtojen induktionivaikutusta on tutkinut etenkin amerikalainen *Nikolas Tesla*. Induktionivirtoja sanotaankin tässä tapauksessa Tesla-irroiksi. Tesla käytti virtojen aikaansaamista varten transformatoria. Induktionikoneen sivujohdon päät ovat yhdistetyt kahden Leydenin pullon sisäpuolisiin päällystyksiin. Ulkopuoliset päällystykset ovat yhdistetyt johdolla, jossa on kipinäväli, transformatorin pääjohtoon. Transformatorin sivujohdossa syntyy Tesla-virta. Suuren jätneyden vuoksi,



Kuva 254. Sähkövärähdyksien aikaansaama impedanssi.

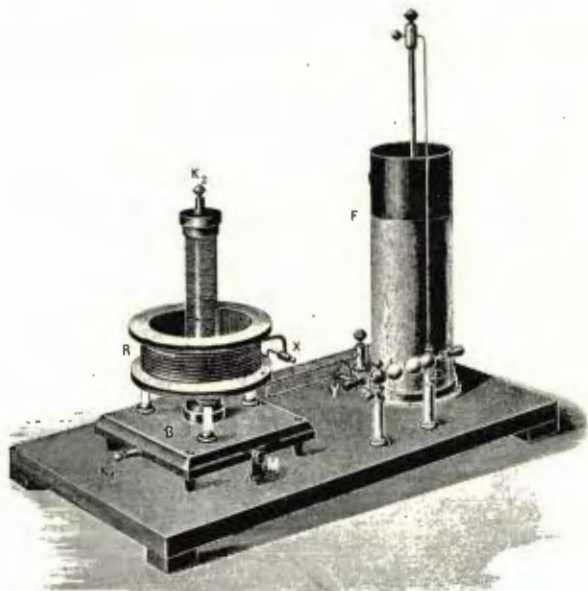


Kuva 255. Teslan transformatori. I induktionikone. L L Leydenin pullot. K kipinäväli. T transformatori. P Teslavirran purkauskipinä.

satojatuhansia volttia, ovat johdot erittäin huolellisesti eristettävät. Tavallisesti upotetaan koko transformatori paraffiniöljyyn.

Jos transformatorin sivujohdon toinen pää yhdistetään maahan, niin toisesta sinkoilee kohtisuorasti langasta ulos pitkiä sinertäviä kipinöitä. Asetetaan johdot yhdensuuntaisiksi. Silloin näemme useampien metrien pituudella kipinöitä lankojen välillä, niiden välille syntyy pitkä valovyö. Jos lasiputkella, jossa on ohennettua ilmaa, kosketaan johdon yhtä päätä, loistaa putki. Ei ole tarpeellista koskettaakaan putkella johtoa, se loistaa johdon läheisyydessäkin. Yhdistetään johdon päät metalliverkosta tehtyihin varjostimiin. Putki lois-

taa niiden välillä ja ulkopuoellakin missä hyvänsä, sillä kaikkialla ympäristössä vallitsee väkeviä sähkövoimia. Tesla arvelee voitavan tämän ilmiön nojalla aikaansaada ihanteellista sähkövaloa. Ei tarvita laisinkaan johtoja, asetetaan vain valaistavan huoneen kahdelle vastakkaiselle seinälle metallilevyt, jotka yhdistetään johtoon, niin putki loistaa missä hyvänsä huoneessa. Onpa hän mennyt kauemmaksikin. Hän uskoo,



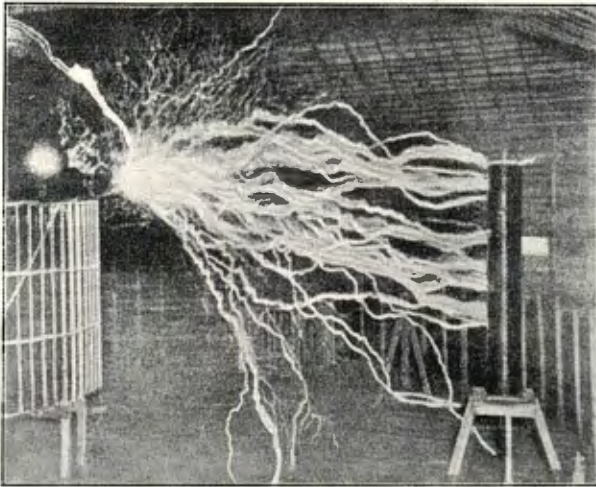
Kuva 256. Teslitransformatori.

että ihmiskunta voi tulevaisuudessa aikaansaada niin^m väkeviä Teslavirusia, että niiden avulla voi saada koko maan ilmakehän ylemmät ohuet kerrokset loistamaan ja näin saadulla valolla valaista koko maan yön aikana.

Omituista kyllä ei Teslavirusilla ole sanottavaa vaikutusta ruumiiseen. Tavallinen vaihtovirta, jonka jänteys on vain parituhatta volttia, on melkein varmaan kuolettava. Voi tarttua käsin johdon molempiin päihin, jossa Teslavirusia juoksee,

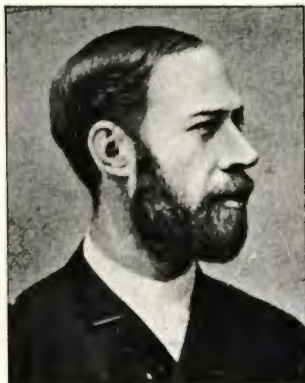
vaikka jänitys on kaksisataatuhatta voltia, ehkä enemmänkin, tuntematta mitään. Voi antaa puolen metrin pituisten kipinöiden lyödä käteen, tuntematta kipua. Syynä lienee virran nopea vaihtuminen, jonka vuoksi mitään elektrolysiä ruumiin nesteissä ei voi syntyä.

Vieläkin nopeampia sähkövärähdyksiä, kuin ne, joista nyt olemme kertoneet, on Bonnin professori *Heinrich Hertz* († 1894) aikaansaanut seuraavalla tavalla. Induktionikoneen sivu-



Kuva_257. Teslavirusien purkauksia Teslan kokeiluhuoneessa. Valokuvan mukaan.

johdon päät yhdisti hän pieniin sylintereihin. Purkautuminen tapahtui sylinterien välillä. Sylinterit lisäävät kyllä johdon varautumiskykyä, mutta paljon vähemmän kuin Leydenin pullo. Johdon itseinduktio on myös pieni. Syntyneet värähdykset ovat näistä syistä erittäin nopeita, värähdykset ovat joku sadasmiljonasosa sekunnista. Luulisi sylinterien vastaisen sähköjen purkautuvan johdon itsensä kautta eikä kipinästä sylinterien välillä. Että näin ei tapahdu, siihen on syynä käämin suuri itseinduktio. Sähköt voittavat helpommin sylinterien välisen ilman vastustuksen kuin käämissä syntyvän

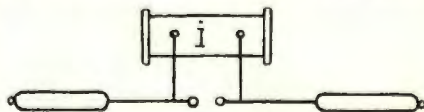


Kuva 258. Heinrich Hertz.

väkevän seuravirran. Näitä nopeita värähdyksiä on Hertz käyttänyt erittäin nerokkaalla tavalla.

Hän huomasi, että sähkövärähdykset eivät ole rajoitetut vain johtoon, vaan leviävät sen yhteyden vuoksi, mikä on olemassa elektronien ja etterin välillä, myös ympäröivään etteriin, aikaansaaden siinä aaltoliikkeen. Olemmehan ennen huomanneet, että painollisen aineen värähdykset sen yhteyden vuoksi, mikä on olemassa painollisen aineen molekyylien ja etterin välillä, aikaansaavat etterissä aaltoliikkeen. Sitenhän syntyivät aallot, jotka ilmenevät lämpönä ja valona. Onhan luonnollista, että sähköaineen osien, elektronien, liike vaikuttaa etteriin samalla tavalla.

Valitettavasti ei meillä ole mitään aistia, joka olisi tunnokas noille sähkö-aalloille kuten silmämme on tunnokas valo-aalloille. Täytyy siis keksiä sellainen kone, jonkunlainen sähköinen silmä. Hertz kyllä keksi keinon, joskin vaillinaisen, saattaa sähkö-aaltojen olemassaolo aisteillamme huomattavaksi. Hän asetti matkan päähän värähtelevästä kipinästä ympyräksi taivutetun johdon, jossa oli pieni kipinäväli. Induktionivaikutuksesta syntyi johdossa virta, kun aallot kohtasivat sitä, ja pieni kipinä löi johdon päiden välillä. Hertz voi myös määrätä nopeuden, jolla aallot leviävät ja huomasi sen olevan 300 tuh. km sekunnissa, siis vallan sama kuin valon etenemisnopeus on. Mukavamman koneen, joka erinomaisesti helpotti näiden aaltojen tutkimista, keksi ranskalainen oppinut *Branly*. Hän täytti kahden lasin putken sisään asetetun levyn välin karkealla metallijauholla (rautaa, nik-

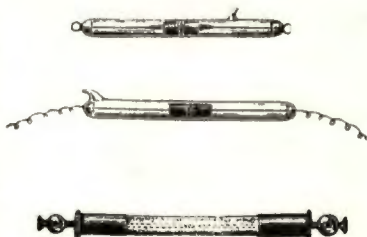


Kuva 259. Nopeita sähkövärähdyksiä synnyttävä purkautuminen.

keliä tai hopeaa). Metallijyvät koskettavat toisiansa löyhästi, jonka vuoksi putken vastustus on erittäin suuri, satojatuhansia ohmia. Sähkövirta kulkee siis aivan heikkona putken läpi. Mutta omituista on, että kun sähköaalto kohtaa putkea, sen vastustus laskeutuu 5—10 ohmiin, joten heikkokin virta

helposti kulkee sen läpi. Syynä tähän seikkaan on se, että metallijyvien välillä lyö pienen pieniä kipinöitä, kun sähköaalto kohtaa putkea. Jyvät sulavat pinnalta yhteen ja putki johtaa hyvin. Jos koputetaan putkeen, niin jyvät eroavat taas toisistaan ja putki johtaa huonosti. Putki on saanut nimen *kohereri*. Yhdistetään elementti, kohereri ja galvanometrinen neula poikkeaa asemastaan. Kun nyt sähköaalto sattuu kohereriin, käy virta johdossa ja neula poikkeaa. Virta lakkaa, kun koputetaan putkeen, ja kohereri on taas valmis uutta aaltoa varten. Sopii antaa virran itsensä toimittaa tuon koputtamisen siten, että virta saa käydä Wagnerin vasaran elektromagnetin ympäri. Vasara koputtaa putkeen. Voipi antaa vasaran lyödä kelloonkin, jolloin kello helähtää, kun aalto sattuu kohereriin.

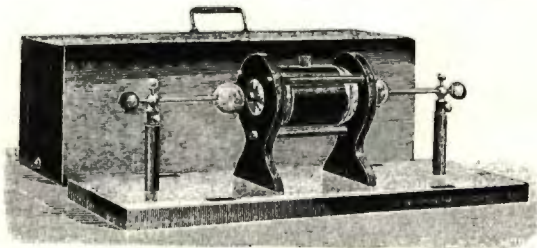
Pitkät sähkö-aallot, useampia metrejä, leviävät kuten ääni-aallot myös esineiden taakse. Kun käytetään näin pitkiä aaltoja, voi kohererin asettaa huoneessa mihin hyvänsä, aallot kohtaavat sitä kyllä. Saadaksemme lyhempiä aaltoja, noin kaksituhatta miljoonaa värähdystä sekunnissa, käytämme *Righin* värähdintä. Se on kokoonpantu neljästä pallosta, keskellä kaksi suurempaa, jotka ovat puoleksi eboniitilaatikon sisällä. Niiden kummallakin puolella on kaksi pienempää johtoon yhdistettyä palloa. Saadaan siis kolme kipinää, joista keskimäinen lyö suurien pallojen välillä petroleumissa. Se synnyttää lyhyitä aaltoja. Lyhin tunnettu sähköaalto on noin 3 mm. Tämäkin aalto on liian pitkä levitäkseen vain määrättyyn suuntaan kuten valo-aalto. Saadaksemme



Kuva 260. Koherereja.

vain tiettyyn suuntaan leviävän aallon, asetamme värähtimen metallilaatikkoon, jonka seinässä on torvi. Torvesta leviävät aallot kulkevat jokseenkin samaan suuntaan, muodostavat siis sähkösäteen.

Asetetaan värähtimen ja kohererin välille metallivarjostin. Kohereri lakkaa toimimasta. Metallien läpi eivät sähköaallot etene. Sitävastoin kulkevat ne esteettömästi lasin, paperin, rikin, paraffinin, puun y. m. läpi. Voi siis asettaa värähtimen yhteen huoneeseen ja kohererin toiseen, se ei estä kokeen onnistumista. Metallipinnoista heijastuvat aallot valan samalla tavalla kuin valo-aallot. Myös taittumiseen nähdän ovat aallot valo-aaltojen kaltaisia. Paraffinistä tehty prisma tai linssi taittavat ne kuten lasiprisma tai linssi valon.



Kuva 261. Righin värähdin.

Lienee syytä lyhyesti kertoa miten tällaisen aallon pituus saadaan määräytyksi. Sen pisteen ympärille, missä värähtelevä kipinä syntyy, asetetaan johto ympyräksi ja jatketaan sitä kahdeksi yhdensuuntaiseksi pitkäksi johdoksi. Kun värähdin toimii, syntyy sitä ympäröivässä johdossa sähkö-aaltoja. Ne kulkevat pitkin yhdensuuntaisia johtoja ja heijastuvat niiden päistä samoin kuin aaltoliike jännitetyssä kielessä heijastuu kielen päistä. Langoissa syntyy seisovia sähkö-aaltoja värähdyskupuineen ja värähdyssolmuineen. Jos yhdensuuntaiset langat jollakin paikalla yhdistetään poikkilangalla, syntyy sille paikalle langoissa värähdyssolmu kuten väräjävään kielenkin paikalle, missä kosketetaan kieleen. Solmuilla ei ole mitään sähkövärähdyksiä, elektronit ovat niillä levossa. Asetetaan yhdensuuntaisten lankojen poikki ohennetulla ilmalla

tai mieluummin ohennetulla heliumikaasulla täytetty lasiputki. Jos putki sattuu solmun kohdalle, ei se loista, kupujen kohdalla loistaa se kirkkaasti. Asetetaan lankojen poikki johto jollekin paikalle. Siihen syntyy solmu. Asetetaan kauemmaksi lasiputki ja sen toiselle puolelle poikkijohto. Tällaisissa suhteissa ei putki ylipäänsä loista. Siirretään putken takana olevaa poikkijohtoa putkeen päin. Putki loistaa, kun poikkijohto on jollakin määrättyllä paikalla. Jos poikkijohtoa siirretään lähemmäksi putkea, lakkaa putki loistamasta, samoin kun johtoa siirretään kauemmaksi. Putki on nyt molempien poikkijohtojen keskivälillä ja on poikkijohtojen väli kahden solmun väli eli seisovan aallon pituus. Etenevän aallon pituus on siis kaksi kertaa mainittu väli.

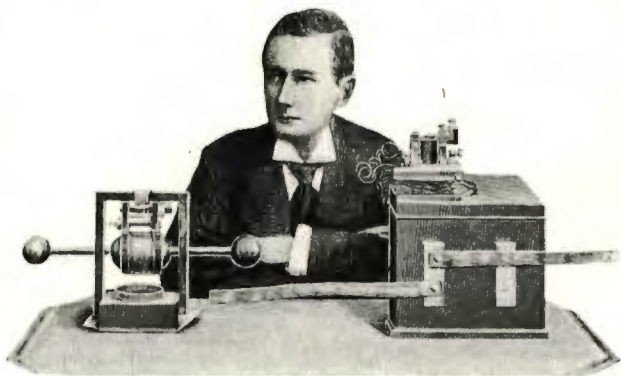
Olemme poikkijohdoilla pakottaneet johdossa syntyään aaltoja, joilla on määrätty pituus. Tämä pakottaa vuorostaan värähtimen antamaan juuri tällaisia aaltoja, muuttamaan värähdysten luvun sopusointiin aallon pituuden kanssa. Voimme siten virittää värähdintä määrättyjen rajojen välillä.

Jollei kuolema olisi poistemmannut Heinrich Hertziä ai-noastaan 37 vuoden ikäisenä, olisi hän, joka niin nerokkaasti on kokeillaan osoittanut sähkö-aaltojen olemassa olon, varmaankin tehnyt sen keksinnön, joka ehkä enin on kääntänyt suuren yleisön huomion tähän fysiikan osaan, l a n g a t t o m a n s ä h k ö t t ä m i s e n. Kävisi liian pitkäksi, jos ryhtyisimme tässä kertomaan kaikista niistä kokeista, joita aikojen kuluessa on tehty tarkoituksessa käyttää johtolangan asemasta jotakin luonnon tarjoamaa johtoa, maata tai vettä, merkkien antamiseen paikasta toiseen sähkövirran avulla.

Ensimmäinen, joka selvästi ehdotti miten sähkö-aaltoja oli käytettävä sähköttämiseen, lienee professori *Threfall* v. 1890. Mutta *W. Crookes* julkaisi v. 1892 huomattavan kirjoituksen eräässä aikakausilehdessä, jossa hän viittoittaa selvään tien ja osoittaa miten koneetkin ovat järjestettävät.

Nuori italialainen insinööri *Guglielmo Marconi*, syntynyt Bolognassa v. 1874, on kuitenkin käytännössä toteuttanut langattoman sähköttämisen. V. 1896 ilmoitti hän keksintönsä

yksinoikeuden saantiin. Ensimmäiset kokeensa teki hän maatilallaan Bolognan läheisyydessä, mutta siirtyi pian Englantiin, jossa posti- ja lennätinlaitoksen päänsinööri William Preece, joka itse oli kokeillut langattoman sähköttämisen alalla käytämällä maata ja vettä johtona, oli hänelle ohjaajana ja neuvonantajana. Hänen kokeissaan oli läsnä saksalainen professori *Slaby*, joka sittemmin laati oman järjestelmänsä. Edelleen ovat tällä alalla työskennelleet saksalainen *Braun*, venäläinen *Popoff* y. m. Matka on koneiden parantumisen vuoksi yhä pidennyt. V. 1897 oli matka Bristolin kanavan yli 5 km, v. 1899 100 km. V. 1901 järjestettiin sähköttäminen Kap Lizar-



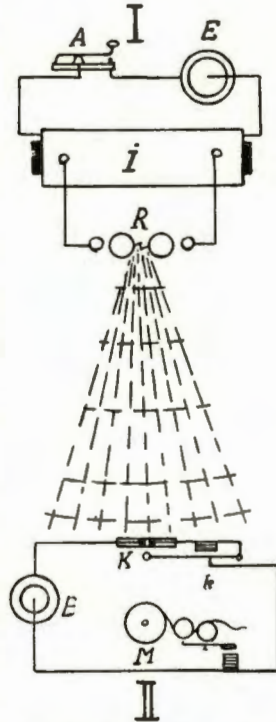
Kuva 262. Guglielmo Marconi.

din ja Wight- saaren välillä, 300 km. V. 1901 onnistui Marconi sähköttämään myös Atlantin valtameren yli, 3,400 km. Jo seuraavana vuonna oli matka 5,100 km, Poldhun asemalta Cornwallisista Englannista Cape Coden asemalle Amerikan rannalla. Omituista on, että sähkö-aallot kiertävät pyöreän maan ympäri. Nykyjään on asemia kaikkialla ja sota- ja matkustajalaitavat ovat varustetut Marconin koneilla.

Sähköttämisen periaate on edellisen nojalla kylläkin selvä. Lyhempiä matkoja, noin 20 m, varten järjestetään koe seuraavalla tavalla. Lähetysasemalla on Righin värähdin, joka synnyttää sähkö-aallot. Joka kerta, kun induktionikoneen pääjohto erityisellä »avaimella», kädellä painettavalla vivulla, sul-

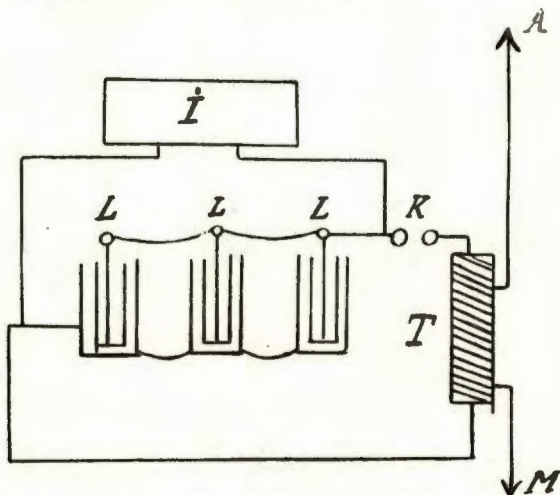
jetaan, syntyy kipinä värähtimessä. Siten voi värähtimestä lähettää aaltoja lyhempien tai pitempien väliaikojen kuluttua. Vastaanottoasemalla kohtaavat aallot kohereria, joka toimii kuten aikaisemmin olemme kertoneet. Paitsi vasaraa, joka koputtaa kohereriin, on johdossa nyt yhdistetty Morsen vastaanottokone, josta vastedes puhumme. Kun aalto kohtaa kohereria, sulkeutuu virta hetkeksi ja Morsen kone lyö paperiliiskaansa pistemäisen merkin. Jos aallot seuraavat toisiansa tiheästi, syntyvät merkitkin tiheään muodostaen tavallan viivan. Viivoista ja pisteistä on sähkösanoma-aakkoset kokoonpantu.

Righin värähdin antaa kumminkin vain lyhyitä aaltoja, korkeintaan pari kolme metriä. Sähköttämiseen pitemmillä matkoilla tarvitaan kumminkin 200—3,000 m pitkiä aaltoja, sillä lyhyitä aaltoja synnyttävät värähdykset eivät sisällä kyllin energiaa. Saadaksemme suurempia energiamääriä täytyy lisätä johdon varautumiskykyä. Se tapahtuu niin, että käytetään suurta lukumäärää suuria Leydenin pulloja. Suurilla asemilla käytetään satoja miehenkorkuisia pulloja. Pullojen sisäpuoliset päällystykset yhdistetään yhteen, samoin ulkopuoliset. Induktionikoneen sivujohdon päät yhdistetään toinen pullojen ulkopuolisiin, toinen sisäpuolisiin päällystykseen. Johdossa, jossa värähdykset syntyvät, päät ovat yhdistetyt samalla tavalla pullojen päällystykseen. Johdossa on kipinäväli ja osa johdosta on transformatorin sisäjohtona. Transformatorin ulkojohdon yksi pää yhdistetään maahan ja toinen



Kuva 263. Langaton sähköttäminen. I. Lähetyksasema. E elementti. A avain. i induktionikone. R värähdin. II. Vastaanottoasema. K kohereri. k koputtaja. E elementti. M Morsen kone.

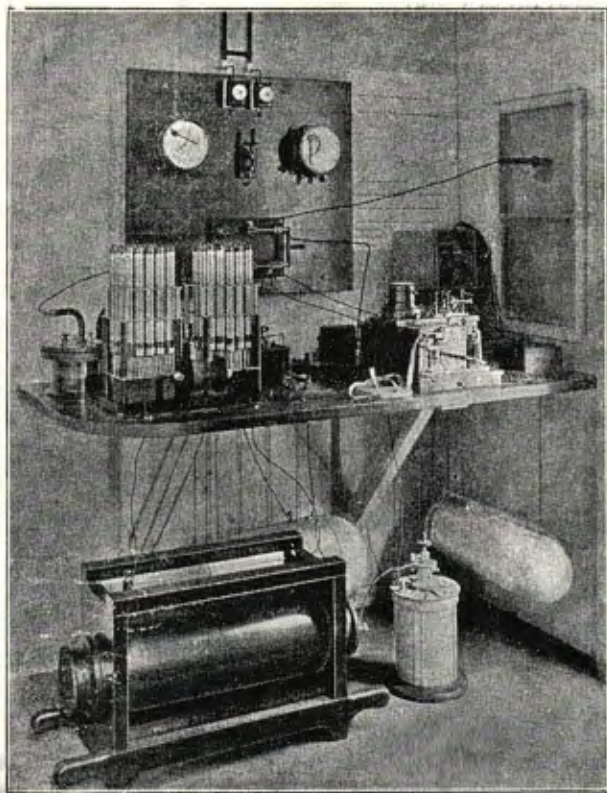
pitkään pystysuoraan lankaan, ilmalankaan (antenniin). Tavallisesti käytetään ilmalankana useampia lankoja, jotka ovat eri tavoin toisiinsa yhdistetyt. Kun pääjohdossa kipinän lyödessä syntyy värähdyksiä, niin myös transformatorin sivujohdossa syntyy samanlaisia värähdyksiä, jotka ilmalangoista leviävät sähkö-aaltoina. Molemmat johdot ovat viritettävät siten, että niissä voi syntyä samanlaisia värähdyksiä. Sen voi saavuttaa muuttamalla niiden varautumiskykyä, lisäämällä tai vähentämällä Leydenin pullojen lukua tai lankojen pituutta.



Kuva 264. Langaton sähköttäminen pitemmilla matkoilla. I induktionikone. LLL Leydenin pulloja. K kipinäväli. T transformatori. A ilmalanka. M maa.

Myös itse induktionia voi muuttaa muuttamalla kierroksien lukua transformatorissa.

Vastaanottoasema on järjestetty kuten jo aikaisemmin olemme kertoneet. Kohererin putkesta pumpataan nykyään ilma melkein kokonaan pois; se lisää kohererin tunnokkaisuutta. Kohererin asemasta on viimeisinä vuosina alettu käyttää muitakin aallonilmaisijoita (detektoreita). Uusin keksintö tällä alalla on n. s. thermodektori (lämpöilmaisija). Se on lämpösähköpari, jonka johtajat koskettavat toisiaan vain yhdessä pisteessä. Kun aalto sattuu siihen, syntyy sähkövirta ja joh-



Kuva 265. Lennätinaseman sisustus. Lattialla induktionikone virrankatkaisijoi-
neen. Pöydällä vasemmalla Leydenin pullot, oikealla Morsen kone sekä kohereri.

toon yhdistetyssä telefonissa kuulee naputtavan äänen. Sähkö-
sanoma on siis kuultava; Morsen konetta ei käytetä. Ilmaisija
on erittäin tunnokas heikoillekin aalloille. Myös vastaanotto-
asemalla on ilmalanka, joka on yhteydessä kohererin johdon
kanssa.

Langattomalla sähköttämisellä on se haitta, että sähkö-
aallot vaikuttavat kaikkiin vastaanottokoneisiin, joihin saakka
ne ulottuvat ja jotka ovat kyllin tunnokkaita aalloille. Salai-



Kuva 266. Lennätinasema ulkopuolelta.

suuksia ei voi sähköttää, jollei käytetä salakieltä. Senpä vuoksi ei langaton sähköttäminen voikaan korvata sähköttämistä langalla, mutta on siitä arvaamaton hyöty siinä tapauksessa, että lankajohto ei voi tulla kysymykseen kuten laivojen välillä merellä sekä ranta-asemien ja laivojen välillä. Kuinka kauas langaton sähköttäminen tulevaisuudessa kehittyy, sitä on vaikea sanoa. Onhan Tesla luvannut sähköttää aina maata lähimmän kiertotähden, Marsin, asukkaille.

Olemme nähneet, että sähkö-aallot kaikissa suhteissa ovat valo-aaltojen kaltaisia, ainoa ero on, että lyhin sähkö-aalto on 3 mm ja pisin valo-aalto tuskin neljästuhannesosa siitä. Jo Faraday oli lausunut sen ajatuksen, että valo ja sähkö ovat sama ilmiö ja oli hän kokeilla koettanut todistaa tätä seikkaa. Hän koetteli esimerkiksi valon vaikutusta elektrolysiin, hän antoi valon kulkea elektrolytin läpi virran suuntaan, vastaiseen suuntaan, poikki virran suunnan; kaikki turhaan, hän ei voinut huomata vähintäkään vaikutusta. V. 1845 ryhtyi hän uudelleen kokeisiinsa tutkien etupäässä yhteyttä valon ja sähkön magnetisten vaikutusten välillä. Tällä kertaa antoivatkin kokeet erittäin merkillisen tuloksen. Hän huomasi näet, että magneti vaikuttaa valoon, ei tosin tavalliseen valonsäteeseen, vaan polariseerattuun. Koe tehdään seuraavalla tavalla. Kaksi väkevää elektromagnetia asetetaan vastaiset polit vastakkain aivan lähelle toisiansa, joten polien väliin syntyy voimakas magnetinen kenttä. Polien välillä on tasapintainen lasilevy. Magnetien läpi on akselin suuntaan tehty reikä, joten valo voi kulkea niiden läpi. Valo kulkee silloin magnetisten voimaviivojen suuntaan. Valolähteen ja reiän väliin asetetaan Nicolin prisma ja reiän toiselle puolelle myös samanlainen prisma. Tiedämme, että Nicolin prisman läpi kulkenut valo on polariseerattua, värähdykset tapahtuvat prisman vinoneliönmuotoisen pohjapinnan lyhemmän lävistäjän kautta kulkevassa tasossa. Jos toinen prisma asetetaan sellaiseen asemaan, että mainittujen lävistäjien määräämät tasot ovat kohtisuorassa asemassa, ei valo tietenkään kulje toisen prisman läpi. Jos siis katsomme reiän kautta molempien prismojen läpi, emme näe valoa. Mutta niinpian kuin sähkövirran sulkemalla herättämme magnetismia elektromagneteissa, kulkee valo läpi. Valon värähdystaso on siis kiertynyt. Täytyy kiertää toista prismaa ja kiertää sitä magnetien molekylivirtojen suuntaan saadaksemme valon taas sammumaan. Kuinka paljon valon värähdystaso kiertyy, riippuu magnetikentän voimakkuudesta sekä sen aineen laadusta ja paksuudesta, joka on asetettu polien väliin. Valon kulkusuunnasta on kiertyminen riippumaton.

Noin 50 vuotta oli Faradayn keksimä ilmiö ainoa yhdyside valon ja sähkön välillä, mikä tunnettiin. Kaikki nerok-

kaastikin keksityt kokeet olivat tuloksitta. Joskin kokeet pettivät, niin asia ei siltä jäänyt unhotuksiin. Löytyi mies, joka rohkeasti kävi asiaan käsiksi, ei taitavasti suunnitelluilla kokeilla, vaan-puhtaasti matematiselta kannalta. Se mies oli englantilainen *Clerk Maxwell* († 1879). V. 1865 julkaisi hän elektromagnetisen valoteoriansa. Maxwellin teos on loistavimpia esimerkkejä siitä, miten kauas matemaattisten päätelmien avulla voi tulla luonnonilmiöitä selitettäessä. Heinrich Hertz sanoo Maxwellin teoriasta: »Ei voi tutkia tätä ihmeteltävää teoriaa, saamatta välistä sitä tunnetta, että matemaattisissa kaavoissa on itsenäinen elämä ja niillä oma järkensä, että ne ovat viisaammat kuin me, vieläpä viisaammat kuin niiden keksijä, ne näyttävät antavan meille enemmän kuin mitä keksijä on niihin pannut.»

Tiedämme, että sähkö synnyttää magnetismia ja magnetismi sähköä ainoastaan silloin, kun sähkö tai magneti on liikkeellä. Siis sähköisissä ja magnetisissa ilmiöissä esiintyy nopeus ja nopeuden mukana siis myös aika. Kun Maxwell kehitteli kaavojansa, esiintyikin niissä yhä uudelleen ja taas uudelleen eräs muuttumaton suure, jonka täytyi merkitä suurta nopeutta. Maxwell oli siis tieteisperäistä tietä saanut vastauksen kysymykseen, jota Faraday oli koettanut turhaan kokeilla ratkaista, nimittäin siihen, tarvitsevatko sähkö ja magnetin vaikutukset matkan päähän aikaa, vai vaikuttavatko ne pimmänkin matkan päähän silmänräpäyksessä. Sähkönopeus johdossa oli kyllä tullut määrättyksi niin hyvin kuin sen ylipäänsä voi noilla vaikeasti suoritettavilla kokeilla määrätä ja oli huomattu, että se oli melkein sama kuin valon nopeus. Voihan tämä olla sattuma, mutta Maxwellin mielestä se ei ollut. Koska sähkökin, niin arveli Maxwell, syntynee jonkunlaisista muutoksista eetterissä, täytyy näiden kahden nopeuden olla vallan yhtä suuret. Maxwell kehitti kaavojansa edelleen tämän otaksumisen nojalla ja saikin ne vihdoinkin käsittämään ei ainoastaan kaikki ennen tunnetut ilmiöt sähköopin alalla, vaan myös uuden ryhmän ilmiöitä, sähkö-aallot. Nämä aallot näyttäytyivät olevan poikittaisia aaltoja ja niiden aallonpituus voi vaihdella minkä rajojen välillä hyvänsä. Niiden nopeus oli sama kuin valon. Kaksikymmentäviisi vuotta myöhemmin näytti Hertz sähkö-aaltojen olemassaolon kokeillaan

ja todensi siten loistavalla tavalla Maxwellin tieteisperäiset tulokset. Maxwellin elektromagnetinen valoteoria sisältää siis lyhyesti sen, että valo-aallot ovat vain erityinen ryhmä sähkö-aalloja, pitemmät ja lyhemmät sähkö-aallot eivät vaikuta silmään.

Vasta v. 1897 keksi hollantilainen professori *Zeeman* uuden, huomiota herättävän ilmiön tällä alalla. Tiedämme, että natriumin spektrissä on loistava keltainen viiva tai oikeammin kaksi aivan lähekkäin olevaa keltaista viivaa. *Zeeman* asetti kaasuliekin, johon oli pantu keittosuolaa, väkevän elektromagnetin polien väliin. Silloin huomasi hän, että viivat jakautuivat kolmeksi viivaksi, kun valonsäteet olivat kohtisuorat magnetin voimaviivoja vastaan, mutta kahdeksi, kun liekistä lähtevä valo kulki voimaviivojen suuntaan. Vielä huomasi hän, että kun viivat jakautuvat kolmeksi viivaksi on viivojen valo polariseerattua, keskimäisen viivan kohtisuorasti magnetin voimaviivoja vastaan; molempien toisten yhdensuuntaisesti voimaviivojen kanssa. Kerromme miten *Zeeman* selittää viivojen jakautumisen; jälkimäisen ilmiön, että viivojen valo on polariseerattua, selittäminen veisi meidät liian pikälle. *Zeeman* olettaa, että syynä liekin valoon ei ole aineellisten molekyylien, vaan elektronien väräjäminen liekissä, jotka elektronit ovat liekissä joko vapaina tai yhtyneinä aineen molekyylien kanssa ioneiksi. Kun liekki pannaan magnetin polien väliin, niin muutamien elektronien liike voimaviivoja vastaan kohtisuoraan suuntaan tulee nopeammaksi, toisten hitaammaksi ja vihdoin muutamien jää muuttumatta. Liekistä säteilee siis nyt paitsi niitä aaltoja, joita siitä ennenkin säteili, myös pitempiä ja lyhempiä aaltoja. Kun valo hajoitetaan prismalla tai hilalla, saadaan yhden viivan asemasta kolme viivaa. Viivan jakautuminen kahdeksi selitetään siten, että siinä tapauksessa syntyy vain kahta lajia aaltoja.

Mainitsemme vielä muutamia vastaisia ilmiöitä, jotka näyttävät, että valokin puolestaan vaikuttaa sähköilmiöihin. *Hertz* huomasi kokeissaan, jotka koskivat sähkö-aaltoja, että jos käytetään kahta induktionikonetta, suurempaa ja pienempää, joilla molemmilla on päävirtana sama virta, ja sivujohdoissa kipinäväli tehdään niin suureksi, että kipinä vielä säännöllisesti syntyy, niin kipinät molemmissa koneissa lakkaavat,

jos koneiden väliin asetetaan levy sellaisesta aineesta, joka on ultrasinipunerville säteille läpäisemätön. Nämä säteet helpottavat siis sähköön purkautumista. Syytä ilmiöön ei tunnettu, ennenkuin *Hallwach* näytti, että negatiivisesti sähköinen kappale menettää sähkönsä, kun ultrasinipunervat säteet kohtaavat sitä. Negatiiviset elektronit irtautuvat silloin kappaleesta ja säteilevät siitä, jos kappale asetetaan vielä ilmatyhjään tilaan, suoraviivaisesti pois. Ilmiötä sanotaan *valosähköilmiöksi* (*aktinoelektriseksi* ilmiöksi).

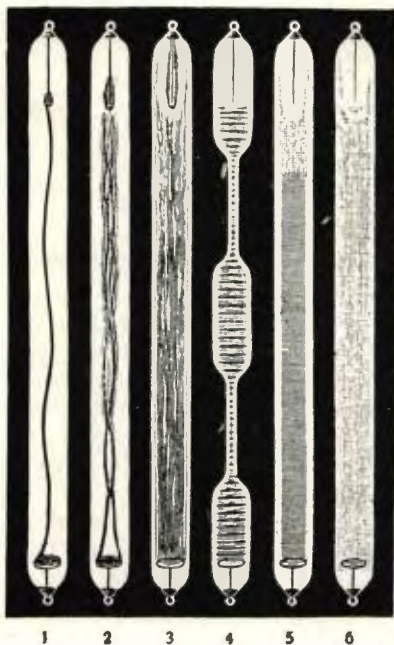
XXV.

Sähkön kulku kaasujen läpi. Katodisäteet. Kanavasäteet. Röntgenin säteet.

Olemme edellisessä jo tarkastaneet niitä ilmiöitä, jotka syntyvät sähkön kulusta kiinteiden aineiden ja nesteiden läpi. On vielä tarkastettava sähkön kulkua kaasujen läpi. Ilmiöt, jotka syntyvät sähkön kulkiessa kaasun läpi, ovat sekä erittäin moninaiset että monimutkaiset. Tällä alalla on vielä paljon järjestävää työtä tehtävänä, ainoastaan harvoja ilmiöitä on voitu järjestää määrättyjen lakien alaisiksi.

Tarvitaan hyvinkin suuria sähköjänniteyksiä, ennenkuin sähkö purkautuu kipinän muodossa kaasun, esim. ilman, läpi, jos kaasulla on tiheys, mikä ilmalla on maanpinnalla. Niinpä aikaansaamaan 0,5 mm pitkää kipinää kahden johtavan pallon välillä tarvitaan 3,000 voltin jännetysero, 1 mm pituista varten 4,800 voltia, 10 mm 25,000 ja 20 mm 31,000 voltia j. n. e.

Miten on asianlaita ohennetuissa kaasuissa? Tätä asiaa tutkivat ensimmäisinä *Gassiot* ja perusteellisemmin *Plücker* kuluneen vuosisadan kuusikymmenluvulla. Jälkimmäisellä oli apulaisenaan taitava lasinpuhaltaja *Geissler*. Hänen lasinpuhallustaitonsa helpotti tutkimuksia melkoisesti, sillä ilmiöiden tutkiminen tapahtuu lasiputkilla, jotka täytetään ohennetulla ilmalla tai jollakin muulla kaasulla. Sähkö johdetaan putken sisään kahdella metallilangalla, jotka ovat sulatetut putken päihin. Sähkölähteen positiviseen poliin yhdistetty lanka saa tässäkin nimen anodi ja negativiseen poliin yhdistetty katodi. Lankojen päät putken sisällä voivat myös päättyä levyihin, tasaisiin tai kaareviin. Näin valmistettua putkea nimetään *Geisslerin putkeksi*. Putken langat yhdistetään sähkökoneen johtajiin, väkevän varaajan poleihin tai tavallisesti induktionikoneen sivujohdon päihin.

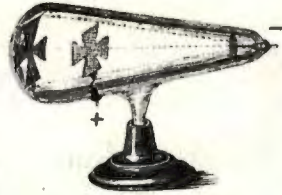


Kuva 267. Geislerin putkia. Katodi yläpäässä, anodi alapäässä. Paine putkissa 1—6 on 40, 10, 6, 3, 0,14 ja 0,02 mm.

Niinkauan kun ilmalla putkessa on tavallinen tiheydensä, ei huomata mitään erityistä, mitään sähkökipinääkään ei synny suuren kipinävälin vuoksi. Kun ilman jänteys putkessa on noin 50 mm, huomataan lankojen päistä lähtevän heikkoja sinertäviä kipinöitä. Jänteiden yhä vähetessä huomataan sen ollessa noin 10 mm kirkas sinipunainen valovyö toisesta langasta pitkin putken pituutta toiseen lankaan. Valovyö täyttää koko putken, kun jänteys on 1—3 mm. Vyö ei ole kaikkialla yhtä kirkas, siinä on vuorotellen kirkkaita ja tummempia paikkoja. Olipa putkella muoto mikä hyvänsä, se ei muuta ilmiötä.

Jos valoilmiota putkessa tarkastamme huolellisemmin, huomaamme, että valo katodin läheisyydessä on sinertävää, mutta että tuo sinertävä valo ei ulotu aivan katodiin saakka. Sen erottaa katodista tumma väli, Hittorfin tumma tila. Katodin pinnalla on taas valokerros, väriltään keltainen. Nämä kaksi valokerrosta ynnä niiden välinen tumma tila muodostavat yhteensä *negativisen välkevalon*. Negativisen välkevalon ja positivisesta anodista lähtevän koko muun osan putkesta täyttävän *positivisen valon* välillä on vieläkin tumma tila, Faradayn tumma tila. Jos ilmaa putkessa ohennetaan yhä edelleen, nähdään kuinka Faradayn tumma tila yhä pitenee, putken loisto vähenee samalla. Vihdoin on positivinen valo supistunut vähäiseksi tähteeksi anodin läheisyyteen. Mutta nyt

huomataan uusi ilmiö. Sen keksi v. 1869 *Hittorf*. Katodista alkaa erittyä säteitä, jotka kohdatessaan putken lasiseinää saavat lasin heileästi loistamaan viheriällä, punaisella tai sinisellä valolla aina lasin laadun mukaan. Kirkkain on tämä fosforiseeraava valo pisteessä, joka on putken seinällä vastapäätä katodia. Säteet saavat nimen *katodisäseet*. Englantilainen *Crookes* valmisti katodisäteiden tutkimista varten sopivia putkia, *Crookesin* putkia, joissa ilma oli hyvin ohennettua, aina jäntevyyteen $\frac{1}{1,000}$ mm saakka. Katodisäteillä on koko joukko erittäin huomattavia ominaisuuksia.



Kuva 268. Katodisäteet.

Katodisäteet erittyvät kohtisuorasti katodin pinnasta kokonaan riippumatta anodin asemasta putkessa; on yhden-tekevää onko anodi putken toisessa päässä, sivulla tai vaikkapa katodin takana. Säteiden suoraviivaisesta erittymisestä seuraa, että on mahdollista yhdistää säteet polttopisteeksi, jos katodina käytetään koveroa peiliä. Vielä seuraa samasta seikasta, että jos putken sisään asetetaan katodisäteiden ja putken seinän välille metallilevystä tehty kuvio, vaikkapa risti, niin putken seinälle syntyy ristin varjo, koska säteet eivät tunkeudu metallin läpi. Paitsi lasia loistavat muutkin aineet, lukuunottamatta metalleja, eri väreillä, kun ne asetetaan putken sisään. Putken sisään asetettu valokuvauslevy mustuu kehitettäessä, kun katodisäteet ovat kohdanneet sitä hetkenkin.

Sillä paikalla, mihin katodisäteet sattuvat syntyy korkea lämpötila. Putken seinä voi lämmitä niin paljon, että lasi sulaa. Ohuet metallilevyt putken sisällä rupeavat hehkumaan, voivatpa, jos putken läpi kulkeva virta on voimakas, sulaakin.

Katodisäteiden sähköistä laatua todistaa se seikka, että magneti vaikuttaa niihin. Jos magnetia liikutetaan putken läheisyydessä seuraavat katodisäteet sitä, valopaikka putken seinällä siirtyy magnetin mukana sinne tänne.



Kuva 269. Katodisäteiden poikkeaminen magnetin vaikutuksesta.

Myös mekanisia vaikutuksia on säteillä. Asetetaan putken si-

sään helposti pyörivä siipiratas. Ratas alkaa pyöriä, kun katodisäteet kohtaavat rattaan siipiä esim. akselin yläpuolella.

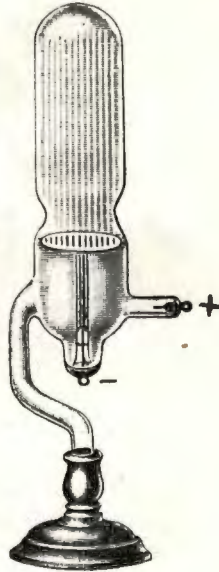
Niin kummallisia ominaisuuksia kuin katodisäteillä onkin, ei kumminkaan pitkään aikaan päästy niihin paremmin käsiksi. Ne olivat suljetut putken sisään ja kaikki niissä sisältyvä energia näytti kuluvan aikaansaadessaan niitä ilmiöitä putken sisällä, joista olemme kertoneet. Hertz huomasi kumminkin, että säteet tunkeutuvat ohuen alumiiniumilevyn läpi ja *Lenard* käytti tätä seikkaa hyväkseen saadakseen säteet putkesta ulos. Hän laittoi putkeen akkunan alumiiniumista. Säteet tunkeutuivat tuon ohuen levyn läpi ja huomattiin niiden voivan jatkaa kulkuaan tavallisessakin ilmassa, joskin ne voivat syntyä vain ohennetussa ilmassa. Nyt oli tilaisuus tutkia niitä putken ulkopuolellakin. Ne aikaansaavat fosforisuutta kappaleissa putken ulkopuolellakin, vaikuttavat valokuvauslevyyn ja magneti saa ne poikkeamaan. Huomattiin myös, että kaikki säteet eivät poikkea yhtä paljon. Magnetilla voi katodisäteet hajoittaa, kuten valonsäteet prismalla.

Huomattiin niillä olevan uusi tärkeä ominaisuus entisten lisäksi. Jokainen kappale, jota katodisäteet kohtaavat, tulee negatiivisesti sähköiseksi. Nyt ryhdyttiin myös miettimään mitä nuo säteet oikeastaan ovat. Jo *Crookes* oli olettanut, että säteet ovat aineellista laatua, joko putkessa olevan kaasun molekylejä tai katodista irtautuvia aineosia tai ehkä mieluummin sähkövirran hajottamia kaasumolekylejä, jotka suurella nopeudella liikkuvat suoraviivaisesti. Hän nimittikin säteitä »säteileväksi aineeksi» ja arveli aineen näissä säteissä esiintyvän neljännessä olomuodossaan. Voikin selittää säteiden aikaansaamat valo- ja lämpöilmiöt olettamalla, että suurella nopeudella liikkuvat aineosat sysäävät kappaleita ja siten saattavat niiden molekyylit väräjämään, josta tietysti on seurauksena lämpö- ja valoilmiot. Mutta magnetin vaikutusta säteisiin ei voinut tällä tavalla selittää. Ei myös voi täten selittää miksi säteiden kohtaama kappale tulee negatiivisesti sähköiseksi. Tämä juuri mainittu säteiden ominaisuus yhteydessä sen käsityksen kanssa, mikä meillä nyt on sähkön luonteesta, on muuttanut *Crookesin* olettamisen sellaiseen muotoon, että se antaa tyydyttävän selityksen kaikkiin ilmiöihin. Katodisäteet eivät ole painollisen aineen mole-

kylejä, ne ovat sähköaineen molekyylejä, ne ovat negatiivisia elektroneja, jotka irtautuvat katodista ja liikkuvat suoraviivaisesti suurella nopeudella. Putkessa käy siis yhdenmittainen virta sähköä, joka seikka myös selittää magnetin vaikutuksen säteisiin.

Onpa voitu määrätä nopeuskin, millä elektronit liikkuvat katodisäteissä. Kuta enemmän ilma putkessa on ohennettu, sitä suurempi on nopeus. Nopeus on kolmasosa valon nopeudesta, ääretön nopeus, kun on kysymys osasista, joilla kumminkin varmaan on painoa. Edelleen on voitu määrätä sähkönpaljous, jota elektronit kuljettavat mukanaan, ja tultu siihen tulokseen, että yhdessä grammassa näitä osasia täytyy sisältyä noin 170 miljoonaa coulombia sähköä. Yhdessä grammassa vetyä voi sisältyä vain 96,500 coulombia. Koska vertapainot eri aineita kuljettavat mukanaan yhtä suuret määrät sähköä, kuten elektrolysistä puhuessamme olemme maininneet, niin seuraa tästä, että katodisäteissä esiintyvien elektronien massan täytyy olla vain noin $\frac{1}{2,000}$ vetyatomin massasta.

Tiedämme, että missä sähkö ilmestyy, se aina ilmestyy sekä positivisenä että negatiivisenä sähköinä. Toinen tai toinen sähkölaji ei voi esiintyä yksinään. Katodisäteet ovat negatiivisia elektroneja, meidän täytyy siis tavata putkessa myös positivisia elektroneja ja täytyy niiden liikkua anodista katodiin. Asetetaan putkeen katodiksi metallilevy, jossa on reikiä. Nähdään katodin takana reikien kohdalla heikosti loistavia ruskeahkoja säteitä, jotka leviävät katodin takana olevaa putken päätä kohti. Säteet ovat saaneet nimen *kanavasäteet*, koska ne kulkevat katodin reikien, kanavien, läpi. Nekin poikkeavat suunnastaan magnetin vaikutuksesta, joskin heikommin kuin katodisäteet sekä vastaiseen suuntaan kuin ne. Niiden nopeus on paljon pienempi kuin katodisäteiden ja massa noin



Kuva 270.
Kanavasäteet.



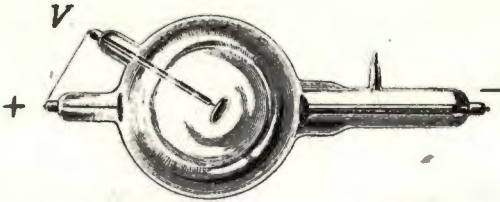
Kuva 271.
Konrad Wilhelm Röntgen.

vetyatomin massan kokoinen. On siis luultavaa, että säteet eivät olekaan vapaita positiivisiä elektroneja, vaan aineen atomeihin yhtyneitä, siis positiivisiä ioneja.

Tapahtumat putkessa ajattelempa siis seuraavalla tavalla. Sähkövirta jakaa osan kaasumolekyyleistä negativisiksi elektroneiksi ja positiivisiksi ioneiksi. Elektronit syöksyvät positiivista anodia kohti ja ionit kulkevat negativistä katodia kohti. Matkallaan törmäävät ne yhteen kaasun molekyylien kanssa ja seurauksena on, että kaasumolekyylit

hajoavat ioneiksi. Kaasu tulee ioniseeratuksi. Voi tapahtua niinkin, että yhteentörmäyksen hajoittaman molekyylin positiivinen ioni yhtyy molekyyliin sattuneeseen negativiseen ioniin, elektroniin, muodostaen taas sähköttömän molekyylin. Molekyylistä eronnut elektroni syöksyy silloin edelleen uusia tuhoja tekemään. Yhteentörmäyksistä syntyy lämpöä, sen vuoksi loistaa kaasu. Samasta syystä kuumenee putken seinä ja sama seikkaa lienee syynä valoilmioon putken seinällä.

Se huomio, minkä katodisäteet olivat tiedemiesten kesken saavuttaneet, sai uutta virikettä erään sattumalta tehdyn keksinnön kautta. V. 1896 huomasi professori *Röntgen* Würzburgissa kokeillessaan Geisslerin putkella, jonka ympärille hän oli kääriinnyt valontiiviin kankaan, että putken läheisyydessä oleva bariumplatinacyanyrillä sivelty varjostin loisti pimeässä, kun sähkövirta kulki putken läpi. Putkesta lähti siis säteitä, vaikka siinä ei ollutkaan alumiiniakkunaa, ja säteet tunkeutuivat kankaan läpi. Säteitä nimitti hän X-säteiksi, nykyään käyvät ne nimellä *Röntgenin säteet*. Säteet lähtevät putkesta siltä paikalta, missä katodisäteet kohtaavat putken seinää. Ne saavat erityiset aineet (fluoriseeraavat aineet) loistamaan ja vaikuttavat valokuvauslevyyyn kuten valo. Huomattavin säteiden ominaisuus on kumminkin se, että ne tunkeutuvat



Kuva 272. Röntgenin putki. V vastakatodi.

aineiden läpi, paitsi metallien paksumpina kerroksina. Metallienkin läpi kulkevat säteet jonkun verran, etenkin alumiinimin läpi erittäin hyvin. Lyijy on vähin läpäisevä. Ylipäänsä kulkevat säteet helpommin kevyiden aineiden läpi kuin raskaiden. Peilipinnoista heijastuvat säteet huonosti ja hajanaisesti, eikä säännöllisesti kuten valo. Kulkiessaan aineiden läpi eivät säteet taitu laisinkaan. Katodisäteistä eroavat ne siinä suhteessa, että magneti ei niihin ollenkaan vaikuta.

On huomattu, että kappale, jota katodisäteet kohtaavat putken sisällä, säteilee putken läpi Röntgenin säteitä. Senpä vuoksi nykyjään käytetäänkin tätä tapaa n. s. Röntgenin putkissa. Katodina on pieni kovero peili, jonka polttopisteeseen asetetaan metallilevy n. s. *vastakatodi* (antikatodi). Metall-



Kuva 273. Röntgenin säteillä valokuvattu rintakehä.

levystä säteilevät Röntgenin säteet. Tästä on se etu, että säteet lähtevät yhdestä pisteestä, josta taas seuraa, että säteitä käytettäessä valokuvaukseen saadaan kuvan reunat tarkemmiksi. Valokuvaaminen säteillä on näet tehnyt ne erittäin suosituiksi. Koska säteet tunkeutuvat aineiden läpi, niin voimme niiden avulla valokuvata aineiden sisälläkin olevia esineitä, jos säteet kulkevat helpommin ympäröivän aineen kuin sisällä olevan aineen läpi. Valokuvauslevylle, joka voi olla puukoteloon tai paksun paperin sisään suljettu, asetetaan kuvattava esine. Röntgenputki asetetaan esineen yläpuolelle siten, että vastakatodi on esinettä kohti. Säteet kulkevat esineen läpi ja kun levy kehitetään, nähdään sillä tiheämmät paikat vaaleampina, harvemmat tummempina. Positiivisessa kuvassa tietysti päinvastoin. Rahakukkarossa oleva raha nähdään tummempana, kukkaro itse vaaleampana. Käden luut näkyvät tummina, lihakset tuskin näkyvät. Sormus sormessa näyttää häilyvän va-



Kuva 274.
Röntgenin säteillä valokuvattu käsi. Kädessä raha ja harppi. Sormessa sormus.

paana sormen luun ympärillä. Täten voi keksiä ruumiiseen tunkeutuneet vieraat esineet, silmäneulan, luodin y. m. Nykyjään voidaan valmistaa säteiden avulla valokuvia ei ainoastaan ruumiin ohuemmista osista, käsistä ja jaloista, vaan myös rintakehästä, päästä ja vatsaontelosta. Paitsi luita nähdään valokuvassa myös sydän, keuhkot j. n. e. vaaleampina tai tummempina. Siten voi lääkäri keksiä niissä ehkä löytyviä sairaloisia vikoja, kasvannaisia, muodonmuutoksia y. m.

Valokuvauslevyn asemasta voi käyttää myös bariumplatinacyaniryillä sivel-

tyä varjostinta. Se loistaa Röntgenin säteiden sitä kohdatessa keltaisen viheriällä valolla. Kuvattava esine asetetaan putken ja varjostimen välille. Pimeässä nähdään silloin varjostimella esineen kuva tummana, tiheimmät osat tummempina, harvemmat vaaleampina.



Kuva 275. Käsivarren valokuvaaminen Röntgenin säteillä.

Röntgenin säteitä käytetään lääketieteessä myös parannuskeinona, pahanlaatuisten kasvainten hävittämiseen, ihotaudeissa y. m. Kuitenkin täytyy olla varovainen käyttäessään Röntgenin säteitä, sillä ne aikaansaavat useinkin tuskallisen vaikeasti parannettavan ihotulehduksen.

Röntgenin säteet hävittävät sähköisen kappaleen sähkövarauksen. Jos sähköistä kappaletta, olipa se positiivisesti tai negatiivisesti sähköinen, kohtaavat Röntgenin säteet, menet-

tää se sähkönsä heti. Ilmiön voi selittää niin, että säteet tekevät ilman johtavaksi, ne ioniseeraavat ilman, kuten katodisäteet ilman Geisslerin putkessa. Sähköisen kappaleen sähkön vastaiset ionit yhtyvät kappaleen sähkön kanssa ja kappale tulee sähköttömäksi.

Näiden säteiden luonne ei ole selvillä. Se seikka, että säteet eivät taitu, todistaisi, että säteiden syynä ei ole aalto-liike. On kyllä koetettu, olettamalla että säteet ovat aalto-liikettä, määrätä aallonpituus ja etenemisnopeus. Kokeet ovat erittäin vaikeat ja tulokset epävarmat. Aallonpituus olisi vain noin $\frac{1}{1,000}$ lyhimmän ultrasinipunervan aallon pituudesta ja nopeus noin $\frac{1}{3}$ valon nopeudesta, ehkä vielä pienempikin. Kaikki tämä on kumminkin ristiriidassa sen seikan kanssa, että säteet eivät taitu.

Nykyjään oletetaan, että säteet syntyvät siten, että katodisäteet kohdatessaan vastakatodia tai putken seinää sysäyksien tavoin vaikuttavat eetteriin, jotka sysäykset sitten leviävät putken ulkopuolellekin ja sattuessaan erityisiin aineisiin saavat ne loistamaan ja hopeasuolan valokuvauslevyllä hajoamaan.

XXVI.

Becquerelsäteet. Radioaktiivisuus. Radium. Radiumin säteet. Emanationi. Alkuaineiden muuttuminen.

Edellisessä olemme puhuneet erilaatuisista säteistä ja luulisi sen ehkä jo riittävän näiden tutkimuksien osaksi. Luonto tarjoaa kumminkin yhä uusia arvoituksia ratkaistaviksi, tuskin olemme yhdestä suunnilleen selvillä, kun jo uudet vaativat huomiotamme. Kuluneen vuosisadan viimeiset vuodet ovat niin rikkaat uusista keksinnöistä, että saamme palata vuosisadan ensimmäisiin vuosikymmeniin, Örstedin, Ampèren ja Faradayn aikoihin, löytääksemme yhtä loistavia fysikaalisia keksinnöitä kuin mainittujen vuosien olivat. Kaikki koskevat ne säteilyä ja olemme edellisessä tutustuneet koko joukkoon sellaisia ilmiöitä. Meidän on vieläkin puhuttava säteistä, jotka ovat ehkä kummallisimmat kaikista ja jotka näennäisesti uhkaavat järkyttää fysikalisen ja kemiallisen rakennuksen perusteita, kumota ne lait, jotka punaisena lankana käyvät näiden tieteiden läpi. Ne uhkaavat lakia, joka sanoo, että energiaa ei voi syntyä itsestään, energia voi ainoastaan muuttua muodosta toiseen, lisääntymättömänä ja vähentymättömänä, ne uhkaavat alkuaineiden olemassa oloa, oppia atomien jakamattomuudesta.

V. 1896 keksi ranskalainen *Henry Becquerel*, että eräät fosforiseeraavat aineet, jotka sisältävät uranium-metallia, erittävät omituisia säteitä, jotka ovat Röntgenin säteiden kaltaisia. Säteet tunkeutuvat aineiden läpi, vaikuttavat valokuvauslevyyn, saavat fosforiseeraavat aineet loistamaan ja ioniseeraavat ilman. Myös itse metalli uranium erittää näitä säteitä, joten säteily ei ole riippuva siitä josko aine on fosforiseeraava tai ei, sillä metallilla itsellään ei ole tätä ominaisuutta. Säteily on vallan riippumaton aineen käsittelystä, lämmittämi-

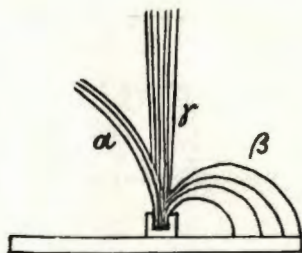
nen, jäädyttäminen, pimeässä säilyttäminen kuukausien kuluessa eivät vaikuta säteilyyn laisinkaan. Kuten Röntgen-säteet ovat *Uranisäteet* tai *Becquerelsäteet*, kuten säteitä nimettiin, taittumattomia, jota vastoin magneti saa Becquerel-säteet poikkeamaan. Aineen ominaisuus erittää säteitä, joka erittäminen on kokonaan ulkonaisista seikoista riippumaton, sai nimen *radioaktiivisuus* ja aineita, joilla on tämä ominaisuus, nimitetään radioaktiivisiksi aineiksi.

Uranium-metallia löytyy eräässä mineralissa pechblendessä. Tämä seikka aiheutti olettamaan, että mainitussa mineralissa ehkä löytyisi muitakin radioaktiivisia aineita. Aviopari *Curie* löysikin siinä erään aineen, joka kemiallisessa suhteessa oli vismut-metallin kaltainen, mutta sen radioaktiivisuus oli 400 kertaa voimakkaampi kuin uraniumin. Aine sai nimen polonium rouva Curien kotimaan Puolan kunniaksi. Syntyi pitkäjäisiä väittelyitä siitä, oliko uusi aine todellakin uusi alkuaine vaiko vain vismutia, joka uraniumin säteilystä oli saanut säteilykyvyn, n. s. induseeratun säteilykyvyn, jommoisen muutkin aineet, joilta säteilykyky puuttuu, saavat tilapäisesti, kun uranisäteet kohtaavat niitä. Ainakaan ei spektralianalysillä voitu uutta ainetta löytää näissä valmisteissa.

V. 1898 onnistuivat herra ja rouva *Curie* taaskin löytämään samassa mineralissa uuden kemiallisessa suhteessa barium-metallin kaltaisen aineen, jonka säteilykyky oli 4,000 kertaa niin suuri kuin uraniumin. Uusi aine sai nimen *radium*. Opittiin valmistamaan yhä puhtaampia radiumvalmisteita, joiden säteilykyky oli 1 miljona kertaa niin suuri kuin uraniumin. Myös aineen spektrissä löydettiin aineelle omituisia viivoja. Vasta aivan viimeisinä aikoina on voitu valmistaa radiumia puhtaana. Se on hopeankarvainen metalli, joka ilmassa pian hapettuu. Radiumin valmistaminen on erittäin vaivaloinen ja pitkälinen työ. Tuhannesta kilogrammasta mineralia saadaan noin $\frac{2}{10}$ grammaa radiumin klooriyhdistystä. Hinta onkin sen mukaan; nykyään maksaa 1 milligramma noin 15 mk, siis gramma noin 15,000 mk. Gramma kultaa maksaa 3 mk.

On löydetty muitakin radioaktiivisia aineita kuin uranium ja radium. V. 1898 huomasi *G. Schmidt*, että erään harvinaisen metallin, thoriumin, yhdistyksillä on sama ominaisuus. Myöhemmin löysi *Debiere* pechblendessä radioaktiivisen ai-

neen, jolle hän antoi nimen aktinium. On mahdollista, että radioaktiivisuus on hyvinkin yleinen aineiden ominaisuus, vaikka se useimmissa tapauksissa on niin heikko, että sitä ei huomata. On voitu näyttää, että useiden lähteiden vesi, lumi, maaperä ovat jossakin määrin radioaktiivisia, josko sitten tämä ominaisuus on alkuperäinen tai radioaktiivisten aineiden induseeraama.



Kuva 276.
Radiumin eri sädelajit.

Jo v. 1898 osoitti *Rutherford*, että uraniumista erittyvät säteet eivät kaikki ole samanlaisia. Sama on muidenkin radioaktiivisten aineiden säteilyn laita. Huomataan kolme eri sädelajia, joita nimitetään α -säteet, β -säteet ja γ -säteet (kreikkalaisia kirjaimia alfa, beta, gamma).

Tarkastamme näiden eri sädelajien ominaisuuksia. Asetamme pienen astian väkevään magnetiseen kenttään ja astian pohjalle hiukan radiumsuoalaa. Suola erittää kaikkia kolmea lajia säteitä. Säteet, joita nimitämme γ -säteiksi, kulkevat suoraan laisinkaan poikkeamatta magnetin vaikutuksesta. Niillä on erittäin suuri läpikulkyky, tunkeutuvat useampia senttimetrejä paksun alumiinilevyn läpi ja on niillä voimakas vaikutus valokuvaslevyyn. Niillä on siis samat ominaisuudet kuin Röntgenin säteillä. Niitä pidetäänkin samanlaisina säteinä, siis eetterisäyksiä. On kyllä olemassa sekin ajatus, että γ -säteet ja samoin Röntgenin säteetkin olisivat ainehiukkasia. Sen opin esitti v. 1907 englantilainen *Bragg*. Hän ajattelee γ -säteiden syntyvän α -säteiden ja β -säteiden yhtymisestä, olevan siis melkein sähköttömiä säteitä eli neutralisia pareja, kuten hän niitä kutsuu. Vaikeinta on kyllä selittää miten aineelliset hiukkaset voivat tunkeutua paksujen ainekerrosten läpi.

β -säteet taipuvat helposti magnetin vaikutuksesta. Ne antavat kappaleille negatiivisen sähkövarauksen, kun ne kohtaavat kappaletta. Läpikulkyky on vain noin $1/100$ γ -säteiden läpikulkykyvyydestä. Ne ovat samoja säteitä kuin katodisäteet, vapaita negatiivisiä elektroneja.



Kuva 277. Radiumin säteillä otettu valokuva. Kuvaa verrattakoon Röntgenin säteillä otettuun kuvaan siv. 456.

neljä kertaa vetyatomin massa tai yhtä suuren kuin heliumkaasun atomin massa. Suurin osa radiumin säteilystä on α -säteitä.

Radioaktivisten aineiden tarjoamat arvoitukset eivät kumminkaan lopu tähän. Paitsi säteitä erittävät radium, thorium ja aktinium, vaan ei uranium eikä polonium, kaasumaista ainetta, eritystä tai *emanationia*. Kaasun olemassaolo huomataan sen sähköisistä vaikutuksista, jotka ovat samanlaiset kuin α -säteiden. Edelleen todistaa samaa seikkaa se, että ilmavirralla voi puhaltaa pois kaasun ja johtaa sen putken kautta minne haluaa, jota ei säteilyyn nähden voi tehdä. Kaikki esineet, joihin kaasu koskettaa tulevat tilapäisesti radioaktiiviksi. Kaasulla täytetty putki loistaa pimeässä ja voi nähdä kuinka kaasu virtaa astiasta toiseen. Jos kaasun annetaan virrata tyhjään astiaan, ei tarkinkaan manometri näytä mitään painetta. Ympäröimällä kaasua sisältävän putken juokse-

Nopeus on kumminkin suurempi, melkein sama kuin valon.

α -säteet herättivät aikaisemmin vähintä huomiota. Ne ovatkin vaikeammin tutkittavat kuin edellä mainitut sädelajit, mutta ovat myöhemmin näyttäytyneet olevansa kaikista kolmesta sädelajista enin huomiota ansaitsevat. Ne poikkeavat magnetin vaikutuksesta vähemmän kuin β -säteet ja vastakkaiseen suuntaan. Kappaleelle antavat ne sitä kohdatessaan positivisen sähkövarauksen. Säteet ovat siis samanlaisia kuin kanavasäteet. Säteet ovat positiviisiä ioneja ja on ionien massan huomattu olevan

valla ilmalla saadaan kaasu tiivistymäänkin, jolloin kaikki sen vaikutukset häviävät. Ei voi huomata radiumvalmisteen painon rahtuistakaan vähenevän, vaikka se erittää kaasua vuosikausia. Kemiallisessa suhteessa on kaasu vallan tehotonta.

Kaikki tämä on kyllä omituista, mutta vielä omituisempia ilmiöitä huomattiin pian, ilmiöitä, joiden todellisuutta ensin voi täydellä syyllä epäillä. V. 1903 tutkivat *Ramsay* ja *Soddy* emanationin spektriä. Kaasu oli suljettu pieneen putkeen ja saatiin tietysti kaasun spektri viivoineen. Kun he taas neljän päivän kuluttua tutkivat spektriä, huomasivat he siinä heliumin keltaisen viivan ja viiden päivän kuluttua olivat useimmat heliumin viivat nähtävissä. Emanationi oli siis muuttanut uutta heliumiksi. Ensimmäisen kerran näki tiedemiehen silmä spektroskopin avulla sen ihmeen, jota kullantekijät olivat uneksineet, että alkuaine voi muuttua toiseksi. Mistä on helium tullut putkeen? Emme voi ajatella muuta kuin että emanationista on erittynyt heliumia ja siten emanationi itsekin edelleen muuttunut joksikin muuksi kuin mitä se alkujaan oli. On huomattu, että heliumia löytyy kaikissa radiumpitoisissa mineraleissa, samoin thorium-mineraleissa. Debierne on näyttänyt, että myös aktiniumista syntyy heliumia ja Soddy, että sitä syntyy myös suorastaan uraniumista.

Emme voi tätä aineiden muuttumista (transmutationia) selittää muulla tavalla kuin olettamalla aineiden atomien hajoavan, ikäänkuin räjähtävän rikki. Sirpaleet lentävät äärettömällä nopeudella erilleen, ne ovat aineesta erittyvät säteet ja jäännös jääpi edelleen elämään uutena atomina, kunnes sekin vuorostaan räjähtää, jolloin taaskin erittyy säteitä ja jäännöksestä syntyy uuden aineen atomi. Onpa voitu määrätäkin muuttumiseen tarpeellinen aika. Se tapahtuu niin, että määrätään miten nopeasti aineen radioaktiiviset ominaisuudet heikkonevat. Kun radiaktiivisuus on vähentynyt esim. puoleksi, voimme olettaa, että puolet aineen atomeista on hajonnut. Muutamat näistä muutoksista tapahtuvat hyvinkin lyhyessä ajassa, toisiin kuluu äärettömiä aikoja. Otamme tähän esimerkkinä uraniumisarjan ja sen jatkon radiumsarjan. Aikaa, jonka kuluessa puolet atomeista on hajonnut, sanotaan kuoleutumisaajaksi.

Uranium-Radium-sarja.

Alkuaine.	Kuoleutumisaika.
Uranium	600 milj. vuotta.
Radiouranium	Useita vuosia.
Uranium X.	21,5 päiv.
Jonium	10,000 vuotta.
Radium	2,000 »
Emanationi	3,9 päivää.
Radium A	3 minutia.
Radium B	26,7 »
Radium C	19,5 »
Radium D	12 vuotta.
Radium E	5 päivää.
Radium F (Polonium)	140 „

Kysyne joku: jatkuuko atomien hajoaminen äärettömiin vai onko vihdoin lopputuloksena joku kestävä atomi? Tähän ei tiede voi nykyään antaa varmaa vastausta. On syytä otaksua, että jälkimäinen on todenmukaisempi. Niinpä oletetaan, että uranium-radium-sarjan pysyväinen lopputulos on lyijyä. Onpa olemassa muitakin etupäässä kemiallisia tosi-seikkoja, jotka viittaavat samaan suuntaan kuin aineiden radioaktivisuus. Luuleepa Ramsay, että metallit natrium ja litium syntyvät kuparista.

Mitä eroaa sitten atomeista niiden muuttuessa uusiksi atomeiksi? Kuten olemme nähneet erittyä niistä kolme sädelajia. β -säteet ovat negatiivisia elektroneja, γ -säteiden luonne ei ole vallan selvillä ja α -säteet ovat aineosia, positiivisesti sähköisiä, positiivisiä ioneja. Hajoavan aineen ioneja ne eivät voi olla, sillä uraniumin atomipaino on 238,5, radiumin 226,2 ja oletetun lopputuloksen lyijyn 206,9. Kuten jo mainitsimme on α -säteissä esiintyvien aineosien atomipaino sama kuin heliumin, nimittäin 4. Meidän täytyy siis olettaa, että α -säteet ovat h e l i u m i o n e j a ja että aineen muuttuminen tapahtuu niin, että siitä eroaa heliumioneja. Voisimme toimittaa tässä pienen laskunkin asian todistamista varten. Heliumin atomipaino on tarkemmin lausuttuna 3,96. Kerrotaan se

kolmella, niin saadaan 11,83. Jos tämä luku vähennetään uraniumin atomipainosta, saadaan luku 226,6. Radiumin atomipaino oli 226,2. Uraniumista syntyy radiumia, kun sen atomi on menettänyt kolme heliumatomia. Erittyvien elektronien paino ei tässä voi sanottavasti vaikuttaa.

Kuuluu ehkä kummalliselta, jos sanomme, että on voitu laskeakin erittyvät α -osaset eli heliumionit yksitellen. Rutherford ja Geiger ovat sen tehneet kahdellakin eri tavalla. Kerromme toisesta. Radiumvalmisteella sivelystä kalvosta säteilevät α -osaset sopivan matkan päässä olevaan astiaan pienen katinkulta-akkunan läpi. Astiassa on ilma ohennettu ja astian akkunan vastaisena seinänä on sinkkisulfidillä sivelty varjostin. Kun osaset sattuvat varjostimeen, loistaa sillä pieni fosforisuuden aiheuttama kipinä. Nyt lasetaan vallan pimeässä huoneessa kipinöiden luku tietyn ajan kuluessa. Siten saamme akkunan kautta astiaan lentäneiden osien luvun. Olemme laskeneet heliumatomit yksitellen. Tällaisten mittauksen kautta tuli Rutherford siihen tulokseen, että 1 gr radiumia erittää sekunnissa 34 tuhatta miljoonaa heliumatomia, niin monta radiumatomia räjähtää rikki sekunnissa.

Atomien rikkiräjähtäessä kehitty hämmästyttäviä määriä energiaa. Osa kuluu osien erittämiseen, niiden elävään voimaan, suurin osa muuttuu lämmöksi. Radiumsuolojen lämpötila onkin aina noin 3° korkeampi kuin ympäristön. Yksi gramma radiumia kehittää tunnissa noin 110 gramma-kaloriaa lämpöä. Tästä tulee hajoavan emanationin osalle noin 75 kal. tunnissa ja 1,800 kal. vuorokaudessa. Yksi gramma radiumia kehittää vuorokaudessa noin 1 mm³ emanationia. Yksi mm³ emanationia kehittää siis vuorokaudessa 1,800 kal. Otaksumme, että emanationi on kokonaan hajonnut $5 \frac{1}{3}$ vuorokaudessa. Kehittynyt lämpö on noin 10,000 kal. Yksi kuutiosentimetri kehittäisi siis täydellisesti hajotessaan 10 milj. kal. Kun palaa yksi kuutiosentimetri räjähdyskaasua, vedyn ja hapen sekoitusta, syntyy 2 kal. lämpöä. Emanationin hajotessa syntyy 5 milj. kertaa enemmän lämpöä. * Tämä ääretön energiamäärä ei voi tulla ulkoapäin, sen täytyy syntyä itse atomeissa, olla atomien sisäistä energiaa.

Tällaista atomien hajoamista on tietysti jatkunut ikuisesti. Voimme kysyä: miten on selitettävissä, että näitä ai-

neita vielä löytyy, että ne eivät ole jo kokonaan hajonneet? Ainoana vastauksena voimme lausua, että on todenmukaista, että samoin kuin atomit hajoavat ne taas uudelleen rakentuvat kokoon, vaikka sellaista ilmiötä tiede ei vielä tunne. Onhan kaikki luonnossa kiertokulkua, miksi se ei toteutuisi tälläkin alalla.

XXVII.

Sähkövalo. Kaarivalo. Hehkuvalo. Edisonin hiililamput. Nernstin hehkulamppu. Metallihehkulamput. Sähkön käyttö lämpölähteenä.

Ihmisten aikojen kuluessa käyttämät keinot hankkia valoa, kun luonnollista valoa ei ole tarjona, ovat kappale ihmiskunnan kehityshistoriaa. Palava soihtu oli tavallinen valolähde vanhalla ajalla vieläpä kauas keskiajallekin. Tosin jo vanhat egyptiläiset käyttivät öljylamppua, samoin kreikkalaiset ja roomalaiset. Öljyyn kastettuja kaislankorsia käytettiin erityisissä tilaisuuksissa soihtuina. Tästä kehittyivät lampun sydän ja kynttilät. Ensimmäiset kynttilät olivat vahasta, myöhemmin talista. Vasta v. 1834 tulivat stearini- ja v. 1850 parafinikynttilät käytäntöön. V. 1859 löydettiin petroleumi. Jo vuodesta 1739 alkaen oli tehty kokeita kivihiihikaasulla valaistusaineena ja kuluneen vuosisadan ensimmäisellä neljänneksellä oli jo kaasutehtaita olemassa. Sähkövalossa sai kaasuyllä vaarallisen kilpailijan, jonka vuoksi sitä yhä on koetettu parantaa. Suurin keksintö kaasuväläistuksen alalla oli Auer von Welsbachin v. 1891 keksimä hehkusukka.

Sähkövalon keksijänä on pidettävä englantilaista fysikoa Davytä (1821). Kun hän yhdisti väkevän sähköpariston johtolangat kahteen hiilitankoon, syntyi hiilien välillä kirkas valo, jos hiilet hiukan loitonnettiin toisistaan. Hiilien välillä oleva ilma kuumenee kovasti sähkövirran kulkiessa sen läpi, hiilien päät kuumenevat samalla. Siitä syntyy valo. Kokemus on näyttänyt, että valoa ei synny, ellei hiilien välillä ole vähintään 40 voltin jänniteeroa, kun käytetään samasuuntaista virtaa, ja 28 voltin eroa käytettäessä vaihtovirtaa. Hiilien välillä oleva ilma ja hiilien päät kuumenevat lämpötilaan 2,000°—4,000°. Hiilet muuttuvat jo tässä lämpötilassa kaasuksi ja



Kuva 278. Kaarilamppu.

niistä irtautuu yhtämittaa pieniä palasia, jotka liikkuvat hiilestä toiseen. Siten syntyy hiilien välillä ikäänkuin hehkuva silta kuumasta ilmasta ja pienistä hiilhiukkasista. Hiilien välillä käy voimakas ilmavirta, joka työntää tuon sillan kaarenmuotoiseksi sivulle päin. Siitä saakin valo nimen *kaarivalo*. Hiilet kuluvat tietysti hehkuessaan ja niiden väli kasvaa. Vihdoin on väli niin suuri, että virta ei enää voi kulkea hiilien välillä, valo sammuu, ellei hiiliä sitä myöten kuin ne kuluvat siirretä lähemmäksi toisiansa. Käytettäessä samasuuntaista virtaa kuluu positिवinen hiili nopeammin ja sen päähän syntyy syvennys. Sen lämpötila on myös noin $1,000^{\circ}$ korkeampi kuin negatiivisen hiilen, joka pysyy terävänä. Vaihtovirtaa käytettäessä

kuluvat molemmat hiilet yhtä paljon ja pysyvät molemmat terävinä. Samasuuntaista virtaa käytettäessä leviää valo etupäässä positिवisen hiilen koveron peilin tapaisesta syvennyksestä, vaihtovirtaa käytettäessä tasaisemmin kaikkiin suuntiin.

Kaarilampun hiiliä täytyy, kuten jo mainitsimme, yhtämittaa työntää lähemmäksi toisiaan, kun ne palaessaan kuluvat. Lamput, joita vain tilapäisesti käytetään, kuten talkalampun lampussa, voi tämän tasoittamisen tehdä kädelläkin erityisen ruuvilaitoksen avulla, mutta lamput, joita käytetään valaistukseen, olisi sellainen tasoittaminen mahdoton. Täytyy järjestää lamppu niin, että lamppu itse toimittaa tuon tasoittamisen. Tällaisia tasoituslaitoksia löytyy monen monta eri lajia emmekä tässä voi niistä ryhtyä kertomaan. Kerromme vain miten tasoittaminen on pääpiirteissään järjestettävä. Vipuvarren toiseen päähän kiinnitämme lampun toisen hiilen,

toinen on kiinteä. Vivun toisessa päässä on rautapaukko. Se on osaksi upotettu solenoidiksi kierretyn johtokierteen sisään. Kun virta ei juokse johdossa, koskettavat hiilien päät toisiansa. Kun virta suljetaan, vetää solenoidi rautapaukkoa sisäänsä ja hiilet eroavat toisistaan. Hiilien palaessa suurenee niiden väli, virta kulkee työllämmiin niiden välillä ja heikkonee. Solenoidi ei vedä enää rautapaukkoa niin voimakkaasti ja vivun pää, missä liikkuva hiili on, painuu hiukan alas. Hiilet ovat taas sopivan matkan päässä toisistaan ja pysyvät ne siinä, kunnes vastustus tulee liian suureksi. Tasoituslaitos toimii taas uudelleen.



Kuva 279. Hehkulamppu.

Kaarilamppuja rakennetaan hyvinkin laajojen rajojen välillä vaihtelevaa valovoimaa varten, 100—70,000 normalikynttilään saakka.

Huoneiden valaisemiseen eivät kaarilamput sovellu hyvin. Lähellä lamppua on valo liian kirkasta ja kauempana syntyy kovin tummia varjoja, valo tulee epätasaisesti jaetuksi huoneeseen, kun se säteilee yhdestä ainoasta pisteestä. Sitä paitsi on kaarilampan valo kylmää, siinä on vähän punaisia säteitä, jonka vuoksi punainen ja keltainen väri kaarilampan valossa ei tule juuri ollenkaan näkyviin, ihmisten kasvat saavat kolkon vaalean värin, kankaat muuttavat värinsä j. n. e. Amerikalaisen *Edisonin* onnistui pitkällisten ahkerien kokeilujen jälkeen keksiä sähkövalo, joka tekee mahdolliseksi jakaa valaistus vaikkapa kuinka moneen pisteeseen hyvänsä ja sijoittaa kuhunkin pisteeseen sopivan valovoiman. Valaistus on *hehkuvalo*, lamput hehkulamppuja.

Ohut johto kuumenee sähkövirran kulkiessa sen läpi niin kuumaksi, että se säteilee valoa. Kauan oli koetettu käyttää valaistukseen ohuita metallilankoja, etenkin platinalankoja. Ohuet langat sulivat kumminkin helposti. Paras olisi hieno hiililanka. Tätä ainetta käyttikin Edison hehkulampuissaan. Kun hiili kumminkin palaa ilmassa, täytyy sulkea lanka ilma-

malikynttilälle. Metallilamppujen hinta on kyllä nykyään noin 4 kertaa hiililampun, mutta sen korvaa piankin vähempi virrankäyttö. Nykyään valmistetaan osramlamppuja aina 400 n. k. valovoimaan saakka.

Paitsi valaistukseen on sähköä viime aikoina käytetty myös lämmön aikaansaamiseen, keittämiseen ja lämmittämiseen. Mukavaa on käyttäminen kyllä, mutta taloudellisessa suhteessa varsin epäedullista, ellei dynamoiden käyttämiseen ole tarjona halpaa voimaa, vesivoimaa. Verratessamme kustannuksia sähkövirtaa aikaansaataessa dynamokoneella ja sähköelementeillä, tulimme siihen tulokseen, että 1 kg hiiliä poltettuna höyrypannun alla antaa sähkövirran, joka vastaa 570 kal. Jos sähkö muutetaan takaisin lämmöksi, saadaan siis korkeintaan 570 kal. lämpöä. Yksi kg hiiliä poltettuna antaa 8,000 kal. Tästä näemme kuinka epäedullinen sähkön käyttö lämpölähteenä on.

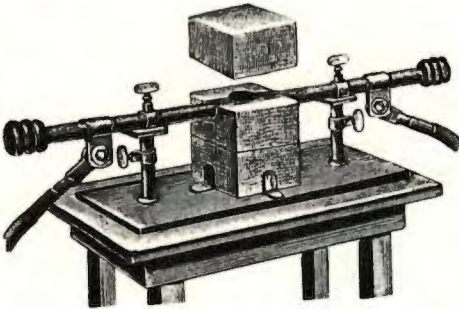
Sähköä keittämiseen käytettäessä asetetaan keittoastia alustalle, jota lämmitetään metallilangoilla siten, että kyllin väkevä sähkövirta kuumentaa langat hehkuviksi. Usein asetetaan langat ruuvin muotoon kierrettyinä savikappaleeseen tehtyihin reikiin. Käytetään myös metallilankojen asemasta katinkultakaistaleita, joiden pinnalle on ohut hopeakerros sulatettu.

Myös huoneiden ja raitiotievaunujen lämmittämiseen voi käyttää sähköä. Niinikään kauppapuotien näyttelyakkunoiden lämmittämiseen estääkseen niiden jäätymistä. Sähköuunin voi helposti siirtää huoneesta huoneeseen, kunhan vain joka huoneessa on kyllin vahva johto. Voi laskea, että noin 37 watilla voi lämmittää 1m³ ilmaa 10°.

Monella muullakin alalla voi hyvällä menestyksellä käyttää sähkön synnyttämää lämpöä, etupäässä kun on lyhyessä ajassa korkea kuumuus saatava. Niinpä käytetään sähköä metallien juottamiseen. Juottimen kuparikärki yhdistetään johdon positiviseen poliin ja lyhyt hiilitanko negativiseen. Kun virta suljetaan, syntyy kuparin ja hiilen välillä sähkövalokaari, joka kuumentaa kuparin. Sähköllä voi yhteenkeittääkin metalleja. Sähkövirta saa joko kulkea yhteenkeitetävien metallikappaleiden läpi, jolloin metallit liitepaikassa kiehuvat

yhteen, tai saa valokaari syntyä metalleista erillään olevan sähköjohdon ja liitekohdan välillä.

Korkein keinotekoinen lämpötila saadaan sähköisessä sulatusuunissa. Nämä uunit ovat pidettävät etupäässä ranskalaisen kemistin *Moissanin* ansiona. Magnesitistä tai tulenkestävästä savesta tehtyyn nelisärmäiseen harkkoon on ontettu syvennys, jossa on hiilestä tai magnesitistä tehty sulatusastia. Harkon päälle asetetaan toinen harkko, jossa on mainittua syvennystä vastaava reikä. Kaksi vahvaa hiilitankoa on pistetty harkon läpi. Niiden päät ovat jonkun matkan toisistaan harkkoon tehdyssä reiässä. Kolmas harkko asetetaan toisen



Kuva 281. Sähköinen sulatusuuni.

päälle kanneksi. Sulatettava aine pannaan sulatusastiaan ja hiilitankojen läpi johdetaan erittäin väkevä sähkövirta. Moissan käytti ensin virtaa, jonka voimakkuus oli 1,000 amperia ja jännitys 110 volttia. Sellaista virtaa aikaansaamaan tarvitaan 150 hevosvoimaa. Uunin raoista lieskaa ulos aina 50 cm pituisia liekkejä. Lämpötila uunissa on $4,000^{\circ}$ ja ylikin. Kun Moissan käytti 2,000 amperin virtaa, sulii koko uuni. Silloin käytti hän sulatusastian ympärillä magnesialevyjä ja niiden takana hiililevyjä. Tällaisessa uunissa voi sulattaa vaikeasti sulavia metalleja ja muutoinkin tutkia fysikaalisia ja kemiallisia ilmiöitä korkeassa lämpötilassa.

XXVIII.

Sähkökemia. Metallien elektrolytinen valmistaminen. Alumiinim valmistaminen. Calciumkarbidi. Typpiyhdistysten valmistaminen ilman typestä. Galvanostegia. Galvanoplastika. Sähköliikevoimana. Sähkömotorit. Raitio- ja rautatiet. Sähköenergian mittarit.

Tiedämme, että jos osa johdosta on nestettä, niin sähkövirta hajoittaa sen alkuosiinsa, aikaansaa siinä elektrolyysin. Tätä sähkövirran ominaisuutta käytetään nykyään moneen tarkoitukseen jokapäiväisessä elämässä. Sähkö saa yhä enemmän jalansijaa kemiallisten tapahtumien alalla, yhä enemmän käytetään sähköä kalliimpien kemiallisten tuotteiden valmistamiseen halvemmista raaka-aineista, metallien valmistamiseen niiden malmeista ja eri teollisuushaaroissa tarvittavien aineiden hankkimiseen. On kehittynyt vallan uusi teollisuus *sähkökemia*. Elektrokemia käyttää apuneuvoinaan sekä elektrolyysiä että sitä korkeata lämpötilaa, mikä syntyy sähkövalokaareissa. Esimerkkeinä sähkön käytöstä tällaisiin tarkoituksiin otamme ensin muutamien tärkeimpien metallien valmistamisen, joskin nämä seikat oikeastaan kuuluvat teknikan eikä fysiikan alalle.

Nykyjään valmistetaan kuparia elektrolytisellä tavalla. Kuparimalmeista saadaan ensin n. s. mustaa kuparia, epäpuhdasta kuparia, joka sisältää rikkikuparia, rikkirautaa, mutta myös hopeaa, platinaa, kultaa j. n. e. Musta kupari valetaan pak-suiksi levyiksi ja asetetaan sellainen levy anodiksi happameen kuparivihtrilliliuokseen. Katodina on puhdas kuparilevy. Kun virta käy elektrolytin läpi, liukee musta kupari ja puhdasta kuparia laskeutuu katodille. Muut aineet jäävät joko liuokseen tai painuvat pohjaan mutana, josta ne sitten voi erottaa, jos niitä on niin runsaasti, että työ kannattaa.

Useissa kultakaivoksissa Transvaalissa erotetaan kulta malmeista elektrolyysillä. Malmia käsitellään ensin laimenne-

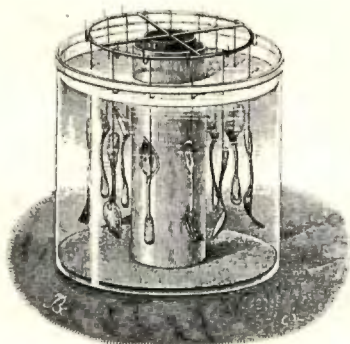
tulla cyankaliumliuoksella. Se liuottaa kullan ja liuoksesta erotetaan kulta elektrolysillä lyijylevyille.

Tärkeän käytännön on sähkö saanut aluminiumin valmistuksessa. Aluminiumin valmistaminen kemiallista tietä on sekä vaivaloinen että kallis työ. Senpävuoksi maksoikin aluminium ensi alussa, kun sitä aljettiin käyttää, noin 300 mk kilo. Nyt maksaa se noin 4 markkaa. Metallia valmistetaan seuraavalla tavalla. Aluminium-natrium-fluoridia ja savea sekoitetaan yhteen ja sekoitus pannaan hiilestä tehtyyn raudalla ympäröityyn sulatusastiaan. Astia yhdistetään negatiiviseen poliin ja positiiviseen on useampia hiilitankoja. Kun virta suljetaan, syntyy tankojen ja astian välillä valokaari, joka sulattaa aluminiumisulan. Tangot nostetaan nyt sulassa aineessa ylemmäksi, jolloin valokaari niiden ja astian pohjan välillä sammuu, mutta virta kulkee kumminkin aineen läpi pitäen sen sulana sekä toimittaen elektrolysin. Sula aluminiumi laskeutuu astian pohjalle, anodille. Virralla, jota Neuhausenin tehtaassa Sweitsissä käytetään tähän työhön, on ainoastaan 5—8 voltin jännitys, mutta 12,000 amperin voimakkuus.

Sähköuunin korkeassa lämpötilassa yhtyvät useimmat metallit hiilen kanssa. Niinpä kalkki ja hiili muodostavat tunnetun calciumkarbidin, kalkissa olevan calcium-metallin ja hiilen yhdistyksen. Kun sen päälle kaadetaan vettä, kehittyy acetylenikaasua, joka palaa kirkkaalla liekillä ja jota käytetään valaistukseen.

Paperi- ja kangastehtaissa käytetään klooria valkaisuun. Sitäkin valmistetaan nykyään elektrolysillä keittosuolasta. Anodissa kehittyy näet klooria, joka liukenee liuokseen. Tätä liuosta käytetään sitten paperin ja kankaiden valkaisuun.

Viime vuosina on sähkökemialla ryhtynyt käsiksi erittäin tärkeään tehtävään, typpiyhdistysten valmistamiseen ilman tyystä. Typpiyhdistykset ovat erittäin tärkeitä keinotekoisia lannoitusaineita. Siihen tarkoitukseen käytetään etupäässä luonnossa löytyvää salpietaria. Mutta Chilen salpietarikerrokset alkavat loppua. Sähkövalokaareissa yhtyvät ilman happi ja typpi muodostaen typpioksidia, mutta yhdistys hajoaa taas, jos se jää valokaareen. Se on siis nopeasti poistettava valokaaresta ja sitten siitä muodostettava salpietarihappoa. Etenkin norjalainen professori *Birkeland* on kehittänyt val-



Kuva 282. Galvanostegia.

mistustapaa. Valmistus kannattaa, jos sähköä saadaan halvalla, kuten Norjassa vesivoimalla. Valokaari saa syntyä kahden kuparijohdon välillä. Kaari on samalla kahden väkevän magnetipolin välillä. Kun käytetään vaihtovirtaa, leviää kaari magnetien vaikutuksesta ohueksi levyksi. Putkesta virtaa ilmaa tuota sähkölevyä vastaan. Se muuttuu osaksi typpioksidiksi ja valolevy lykkää sen noin 100

$\frac{m}{\text{sek.}}$ nopeudella kaikkiin suuntiin levyn säteen suuntaan koamoisputkiin, joista se johdetaan edelleen valmistettavaksi salpietarihapoksi.

Jo v. 1837 keksi venäläinen *Jakobi*, että elektrolysillä voi päällystää esineitä ohuella metallipeitteellä. Menettelyä nimitetään *galvanostegiaksi*. Upotetaan esine liuokseen, johon on liuotettu sen metallin suolaa, jolla halutaan esine päällystää. Esine tulee katodiksi ja kysymyksessä olevasta metallista tehty levy anodiksi. Metallilaskuu liuoksesta esineelle ja anodista liukenee vertapaino metallia vuorostaan liuokseen. Siten pysyy liuos yhtä väkevöitynä kuin se oli alkujaan. Esineen pinta on ensin huolellisesti puhdistettava.

Jos esine ei ole johtavaa ainetta, tehdään sen pinta ensin johtavaksi hankaamalla pintaan hiilijauhoa. Jos pinta on sileä, kuten lasin, posliinin j. n. e. vernissataan se ensin ja, kun vernissa on melkein kuiva, hangataan siihen hiilijauhoa.

Tällä tavoin voi metallikerroksen esineen pinnalla saada niinkin paksuksi, että sen voi erottaa pinnasta. Siten saadaan esineestä, muistorahasta, kipsikuvasta y. m., jäljennös metallista. Menettely saakin nimen *galvanoplastika* (sähköjäljennys). Tavallisesti käytetään jäljennökseen kuparia. Kun on tehtävä jäljennöksiä puupiirroksista ja kuparipiirroksista, käytetään hyvällä menestyksellä galvanoplastikaa. Puupiirroksen pinta tehdään johtavaksi hiilijauholla, kuparipiirroksen pinnalle hangataan hiukan rasvaa, joka estää sille las-

keutuneen kuparin tarttumasta kiinni. Näin saatuun kaavaan valetaan sitten esim. sinkkiä, joten saadaan samanlainen levy kuin alkuperäinenkin oli.

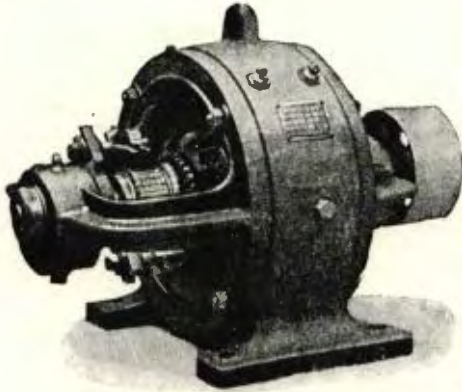
Myös anodimetallin liukenemista voi teollisuudessa käyttää. Jos anodilevy peitetään eristävällä aineella, esim. vahalla, ja eristävä kerros paikoittain poistetaan, liukenee metalli vain näiltä paikoilta, joten ne syöpyvät syvemmälle kuin muut levyn pinnan osat. Siten saadaan syvennetty kuva levyille. Jos taas kuva piirretään levyille eristävällä aineella, saadaan korkokuva. Syvennykset voi sitten taas galvanoplastikalla täyttää toisella metallilla. Siten valmistetaan usein taide-teollisuusesineitä, vieläpä väärennettyjä vanhoja esineitäkin. Sähkö saa siis palvella petostakin.

Lienee sanomattakin selvää, että näihin tarkoituksiin nykyään käytetään yksinomaan dynamon virtaa, mutta tietysti samasuuntaista virtaa. Vaihtovirta ei kelpaa, sillä mitä virta elektrolytisesti toimittaa yhteen suuntaan juostessaan, sen se hävittää juostessaan vastakkaiseen suuntaan.

Nykyään käytetään sähköä paljon liikevoimana. Kun höyryvoimaa käytetään liikevoimana, on höyrykoneen voima käytettävä koneen lähimmässä läheisyydessä; ne koneet, jotka höyrykone panee liikkeelle, eivät voi olla kaukana höyrykoneesta. Toisin on asian laita käytettäessä sähköä. Kone, jonka sähkövirta panee liikkeelle, voi olla hyvinkin kaukana sähkölähteestä. Vielä on sähköllä toinenkin etu. Sähkölähteestä tulevan virran energian voi johdosta haarautuvilla sivujohdoilla jakaa niin moneen pisteeseen kuin vain haluaa ja kuhunkin sen energiamäärän, mikä siinä tarvitaan. Sähköä käytettäessä hankitaan energia yhdellä ainoalla paikalla ja jaetaan sitä sähkövirtana kaukanakin oleviin paikkoihin. Höyryn voimaa käytettäessä täytyy joka paikalla, missä energiaa tarvitaan, vaikkapa vähäinenkin määrä, olla erityinen höyrykone. Sähkön käyttäminen liikevoimana tulee siis, kun on kysymyksessä pienempi määrä voimaa, halvemmaksi.

Dynamokoneessa muuttuu, kuten tiedämme, mekaaninen työ sähköksi siten, että dynamon ankkuria pyöritetään mag-

netikentässä käyttämällä mekanista työtä. Ankkurin käämeissä syntyy sähkövirta. Jos päinvastoin sähkövirta jostakin sähkölähteestä johdetaan dynamokoneen ankkurin käämien läpi, niin ankkuri alkaa pyöriä. Dynamosta on tullut kone, joka muuttaa sähköenergiaa mekaniseksi työksi. Kun dynamoita käytetään viimeksi mainitulla tavalla, saa se nimen *motori*, *sähkömotori*. Jos siis dynamoon saatetaan mekanista energiaa, antaa se sähköenergiaa; jos siihen saatetaan sähköenergiaa, antaa se mekanista energiaa.

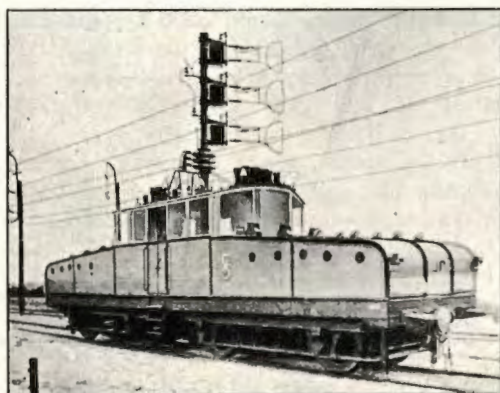


Kuva 283. Sähkömotori.

Tämä koskee dynamoita, jotka antavat samasuuntaisen virran. Vaihtovirtadynamoita ei voi erityisittä laitoksitta käyttää motoreina. Erilaisten motorien rakennuksien selittäminen kuuluu sähkötekniikkaan eikä fysiikkaan. Motoreita käytetään tarkoituksiin jos jonkinlaisiin. Erittäin ovat sähkömotorit saaneet laajan käytännön sähköraiteilla ja sähkörautateilla. Sähkövirran antaa dynamo. Virta johdetaan raitiovaunun tai rautatievaunun motoriin. Varsinainen vaikeus on johtaa virta motoriin, joka itse liikkuu vaunun mukana. Se tapahtuu joko maanpäällisellä tai maanalaisella johdolla. Maanpäällistä johtoa käytettäessä yhdistetään dynamon yksi poli johtoon, toinen maahan. Vaunujen katolla on tanko, jonka päässä on metallipyörä. Pyörä painaa eristämätöntä johto-

lankaa vastaan. Sähkövirta johtuu tankoa pitkin motoriin ja siitä kiskojen kautta maahan. Usein käytetään pyörän asemasta sangan tapaista johtoa; se ei luiskahda pois johtolangasta niinkuin pyörä usein tekee.

Maanalaiset johdot ovat kyllä mukavammat, ne eivät ole tiellä kaduilla, eivätkä rumenna katua kuten maanpäälliset johdot, mutta tulevat kalliimmiksi. Kiskon alla on erityisessä kanavassa kaksi johtoa. Kiskossa on pitkin pituutta noin 3 cm leveä rako. Raon kautta koskettaa erityinen kaksijohtoinen kosketustanko kumpaakin johtoa liukuen vaunun liikkeessä



Kuva 284. Sähköveturi.

niiden välillä. Virta käy yhdestä johdosta kosketustangon kautta motoriin ja siitä kosketustangon toisen johdon kautta toiseen johtoon kanavassa.

Sähköisillä rautateillä on saavutettu suurikin nopeus, aina $200 \frac{\text{km}}{\text{tuh.}}$. Rautateillä käytetyillä virroilla on suuri jännitys, 10—15 tuh. volttia. Myös vaunuissa ja venheissä voi sähköä käyttää liikevoimana, mutta sähkövirta on silloin otettava akkumulatoreista, jotka ovat sijoitetut vaunuun tai venheeseen.

Sähkövirrasta, jota käytetään tarkoitukseen tai toiseen, on tietysti maksettava ja sitä varten on käytetty sähkömittava. Sähkövirran toimittama työ on, kuten tiedämme,

virran jätneyden, volttiluvun, ja voimakkuuden, amperiluvun, tulo, jota lausutaan watteina. Sähköä mitattaessa mitataan wattiluku yhden tunnin kuluessa. Yksikkö saa nimen *wattitunti*, kun yksi watti käytetään tunnin ajan. Sähkönmittaajia löytyy monta lajia. Aronin wattituntimittaaja on rakennettu seuraavalla tavalla. Mittaajassa on kaksi yhtä pitkää ja yhtä raskasta heiluria, kumpikin kellolaitoksessaan. Molemmat kellot käyvät yhtä nopeasti, kun vain painovoima vaikuttaa pendeleihin. Kellot ovat yhdistetyt samaan viisariin siten, että viisari pysyy paikoillaan, niinkauan kun kellot käyvät samalla lailla. Kummankin pendelin päässä on vaakasuora johtokäämi ja niiden alla on kaksi kiinteää käämiä. Kun käämien läpi käy virta, niin käämit joko vetävät tai poistavat toisiansa aina sen mukaan käykö virta liikkuvassa käämissä ja sen alla olevassa kiinteässä käämissä samaan tai vastaiseen suuntaan. Nyt on johto niin järjestetty, että yhden heilurin käämit vetävät toisiansa, toisen poistavat. Edellinen heiluri käy siis nopeammin, jälkimäinen hitaammin kuin painovoiman niihin yksinään vaikuttaessa. Viisari alkaa siis liikkua, niinpian kun virta suljetaan, ja näyttää taululla käytettyjen wattituntien lukua.

XXIX.

Sähkötäminen langalla. Gaussin ja Weberin sähkölennätin. Steinhelin sähkölennätin. Morsen kone. Hughesin kirjasinlennätin. Useampien sähkösanomien lähettäminen samalla langalla. Pikalennätin. Casellin yleislennätin. Sähkölennätinjohdot. Telefoni. Mikrofoni. Keskusasemat. Telegrafoni. Puhuva kaarilamppu.

Sähkö-aaltojen yhteydessä olemme kyllä jo puhuneet uusimmasta keksinnöstä sähköttämisen alalla, langattomasta sähköttämisestä. Näyttää siis ehkä historialliseen kehitykseen nähden nurinperäiseltä nyt ryhtyä kertomaan ensimmäisistä alkeista sähköttämisen alalla. Langaton sähköttäminen ja sähköttäminen langalla perustuvat kumminkin eri ilmiöihin sähkö-opin alalla, joten edellistä tuskin voi pitääkään jälkimmäisen kehityksenä muussa suhteessa kuin tarkoituserän nähden, nopeiden tiedonantojen välittämiseen nähden kahden paikan välillä.

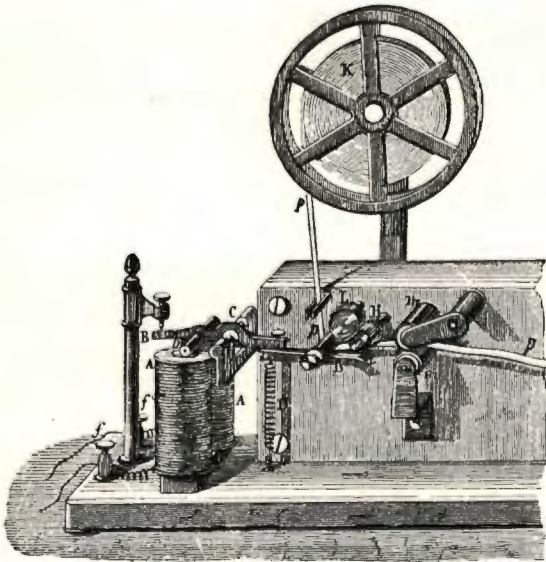
Oli varsin luonnollista, että kun Örsted oli keksinyt sähkövirran vaikutuksen magnetineulaan, tätä seikkaa koetettiin käyttää merkkien antamiseen sähkövirran avulla paikasta toiseen. Ensimmäisen tällaisen laitoksen rakensivat v. 1833 saksalaiset tiedemiehet *Gauss* ja *Weber*. He ovat *sähkölennättimen* eli *telegrafin* keksijät. Göttingenin kaupungissa yhdistävät he tähtitieteellisen ja magnetisen observatorion kahdella noin 1,500 m pitkällä johdolla. Kummallakin asemalla oli peiligalvanometri ja virrankääntäjä, jolla voi saada virran johdossa käymään suuntaan tai toiseen. Siten voi saada galvanometrin neulan poikkeamaan oikealle tai vasemmalle ja suostua näillä poikkeamisilla merkitsemään kirjaimia. Niinpä merkitse yksi poikkeaminen oikealle a , yksi vasemmalle e , kaksi oikealle i , yksi vasemmalle ja yksi oikealle u j. n. e. Myöhemmin käyttivät Gauss ja Weber elementin ja virrankääntäjän ase-

masta induktionivirtaa, joka syntyi, kun magneti upotettiin johtokierteen sisään ja taas poistettiin kierteen sisältä. Muiden toimien vuoksi jäi yritys Gaussilta ja Weberiltä edelleen kehittämättä. He jättivät aatteen edelleen kehitettäväksi Münchenin professorille *Steinheilille*. Hän paransi konetta siinä suhteessa, että kone itse merkitsi kellolaitoksen kuljettamalle paperiliuskalle magnetineulan poikkeukset. Hän käytti kahta neulaa, joista toinen heilahti oikealle, toinen vasemmalle. Neulojen päissä oli pieni värikuppi. Väri valui pienestä reiästä ulos. Neulan heilahtaessa syntyi paperille pieni väripiste, joista aakkoset olivat kokoonpannut. Esimerkkinä otamme kirjaimen a. Oikeanpuoleinen neula poikkeaa ensin, vasemmanpuoleinen sitten, oikeanpuoleinen toisen kerran. Syntyy liuskalle merkki . . . , se on a. Toinen tärkeä keksintö, minkä Steinheil teki, oli se, että asemien välillä ei tarvita kahta johtolankaa, että maata voi käyttää toisena. Johdon päät yhdistetään maahan kaivettuihin metallilevyihin. Sähkö leviää silloin maahan.

Yhä edelleen koetettiin sähkölennätintä parantaa, kuitenkin saman periaatteen nojalla, magnetin poikkeamisen. Rakennettiin koneita, joissa oli viisikin neulaa. Kaikki olivat kuitenkin epäkäytännöllisiä. Vuonna 1835 keksi amerikkalainen taidemaalari *Morse* koneen, jota vieläkin kaikkialla käytetään. Morsen kone perustuu elektromagnetin käyttöön. Toiselta asemalta tuleva virta herättää elektromagnetin, se vetää ankkuriaan. Ankkuri on kiinnitetty vivun yhteen päähän, toisessa päässä on kärki, joka painaa kellolaitoksen kuljettamaan paperiliuskaan. Niinkauan kun virta on suljettu, piirtää kärki liuskalle viivaa. Kun virta katkaistaan, vetää kierrejousi ankkurin irti magnetista ja kärki eroaa liuskasta. Siten syntyy liuskalle pisteitä tai viivoja aina sen mukaan, kauanko virta pidetään suljettuna. Viivoista ja pisteistä ovat aakkoset kokoonpannut. Esim. — — — — — . — (Morse). Virran sulkeminen ja avaaminen tapahtuu lähetysasemalla metallivivulla, avaimella.

Pian huomattiin kumminkin, että virta pitemmissä johdoissa johdon vastustuksen vuoksi kävi niin heikoksi, että elektromagneti ei jaksanut vetää ankkuriaan niin voimakkaasti, että kärki piirtäisi selviä merkkejä paperiin.

Kärjen asemasta käytetään kyllä nykyään pientä väripyörää, mutta sittenkin on virta liian heikko. Asian voi kumminkin auttaa aivan yksinkertaisesti. Toiselta asemalta tuleva virta ei vaikuta Morse-koneen elektromagneettiin, vaan erityiseen elektromagneettiin. n. s. *siirtäjään* jossa on suuri luku, 7—10 tuhatta johtokierrosta. Senkin ankkuri on kiinnitetty vipuun, joka liikkeussaan sulkee ja avaa erityisen sähköpariston virran, joka sitten vaikuttaa Morse-koneeseen.

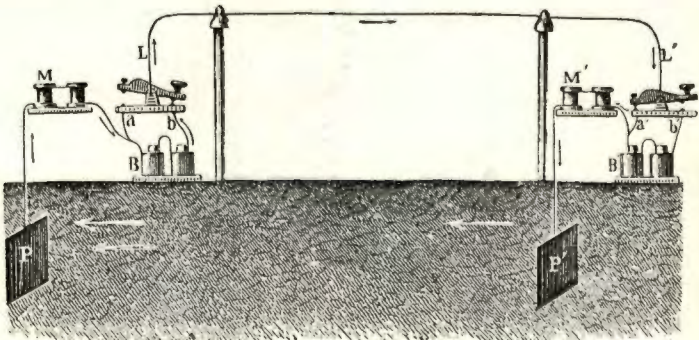


Kuva 285. Morsen kone.

Sähköttämisen täytyy voida tapahtua molempiin suuntiin asemien välillä. On kuitenkin tarpeetonta, että virta, joka lähetetään toiselle asemalle, kulkee lähetysaseman vastaanotto-koneen läpi. Miten asemien koneet johdoilla yhoistetaan toisiinsa, selviää parhaiten kuvasta. (Kuva 286).

Morse-kone on erittäin yksinkertainen kone, mutta on ensin opittava nuo aakkoset ja vielä on saapunut sähkösanoma kirjoitettava tavallisilla kirjaimilla ennenkun sen voi lä-

hettä vastaanottajalle. Nopeuskaan ei ole varsin suuri. Totunut sähköttäjä voi sähköttää korkeintaan noin 70 kirjainta minutissa. Erehdyksiä voi myös syntyä, kun kirjaimet ja numerot merkitään pisteillä ja viivoilla, joiden luku ja järjestys vain vaihtelevat. Vuonna 1855 rakensi *Hughes* koneen, joka painaa sähkösanoman tavallisilla kirjaimilla paperiliuskalle, *kirjasinlennättimen*. Koneessa on metallipyörä, jonka reunassa ovat kirjaimet, numerot ja välimerkit korotettuina kuten kirjapainokirjasimet. Lähetysasemalta tuleva virta vaikuttaa tässäkin koneessa elektromagneettiin, jonka ankuri liikkuessaan painaa paperia kirjaimia vastaan. Kirja-

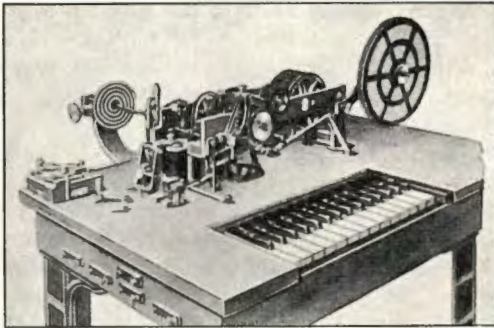


Kuva 286. M M' vastaanottokoneet, ab ja a'b' avaimet. BB' elementit. PP' maalevyt. LL' asemien välinen johto.

sinpyörä pyörii nopeasti ympäri ja on kone siten järjestetty, että ankuri painaa paperia sitä kirjainta vastaan, joka on alina pyörässä. Lähetysasemalla on samanlainen pyörä ja pyörivät molemmat pyörät vällä samalla lailla, joten sama kirjain samalla hetkellä on molemmissa pyörissä alimmassa pisteessä. Virran sulkeminen tapahtuu painamalla näppäimiä kuten pianossa. Kullakin kirjaimella on oma näppäimensä. Kone on niin rakennettu, että, kun jonkun kirjaimen näppäintä painetaan, virta menee toiselle asemalle ainoastaan siinä tapauksessa, että mainittu kirjain on kirjasinpyörän alimmassa pisteessä, muutoin ei. Silloin on vastaanottoasemallakin sama kirjain pyörän alimmassa pisteessä ja elektromagnetin ankuri

kurin painaessa paperia pyörää vastaan, tulee kirjain painetuksi paperille. Kirjasinpyörät pyörivät noin 100—120 kertaa minutissa, joten se kirjain, jonka näppäintä juuri painetaan, aina ehtii pyörän alimpaan pisteeseen, ennenkun sähköittäjän sormi lakkaa näppäintä painamasta. Koneen yksityiskohtien selittämiseen emme tässä voi ryhtyä. Kone on mekaaninen mestariteos ja voi sillä sähköittää noin 125 kirjainta minutissa. Paperiliuska leikataan sähkösanoman saavuttua poikki, liimataan paperille ja lähetetään vastaanottajalle.

Jokaisen merkin tai kirjaimen sähköittämiseen kuluu lyhyt hetki ja on johto käytettävä kunnes uusi merkki tai kir-



Kuva 287. Hughesin kirjasinlennätin.

jain sähköitetään. Tällä väliajalla voi johtoa käyttää toisen sähkösanoman lähettämiseen toisella lähettäjäkoneella toiseen vastaanottokoneeseen tai myös päinvastaiseen suuntaan. Löytyy koneita, joilla voi lähettää kahdeksankin sähkösanomaa samalla johdolla joko samaan suuntaan tai vastakkaisiin.

Oletamme, että halutaan lähettää neljä sähkösanomaa. Kummallakin asemalla on pyörä, joka on jaettu neljään toisistaan eristettyyn lohkokoon. Kukin lohko on molemmilla asemilla yhdistetty vastaanottokoneeseensa ja avaimensa. Molemmilla asemilla on siis neljä konetta. Pyörien keskipisteeseen on kiinnitetty nopeasti pyörivä metallivarsi ja asemien välinen johto on yhteydessä varsien kanssa. Pyöriesään koskettavat varret järjestään pyörien lohkoja. Mo-

lemmat varret pyörivät samalla lailla, koskettavat samalla kertaa pyörien vastaavia lohkoja. Yhdellä hetkellä ovat lohkot 1 yhdistetyt keskenään asemien välisellä johdolla, seuraavalla hetkellä lohkot 2 j. n. e. Silloin kuin vastaavat lohkot ovat yhdistetyt, voi sähköttäminen niihin yhdistetyillä koneilla tapahtua. Erityinen tahdinnäyttävä ilmoittaa kunkin koneen ääressä istuvalle sähköttäjälle milloin hän voi jatkaa sähköttämistä. Tällaisella yhdistyksellä voi sähköttää noin 400 kirjainta minutissa.

Uusin keksintö sähkölennättimen alalla on *pikalennätin*, jossa käytetään valokuvausta. Sellaisen järjestelmän on laatinut *Pollak* ja *Virag*. Valonsäde sattuu peiliin, jota lähetysasemalta tuleva virta hiukan kääntää suuntaan tai toiseen. Peilistä heijastuva valo muodostaa valopisteen liikkuvalla valokuvauskalvolle (filmille), johon siten kehitettäessä syntyy aaltomainen viiva. Viivan mutkat merkitsevät kirjaimia. Koneella voi sähköttää 3,000 kirjainta minutissa.

Toisen järjestelmän laatija on toiminimi *Siemens & Halske*. Kirjaimet ovat leikatut pyörivän levyn läpi. Levyn alla liikkuu valokuvauskalvo. Levyn yläpuolella syntyy sähkökipinä juuri sinä hetkenä, jolloin sähkötetty kirjain on kipinän alla. Sähkösanoma tulee siten tavallisilla kirjaimilla valokuvatuksi.

Yleisö ei kumminkaan tyydy kaikkiin näihin ihmeisiin. Se vaatii yhä enemmän, se vaatii saada sähkösanomansa lähettäjän omalla käsialalla kirjoitettuna, se vaatii sähkölennättimen tuomiin uutisiin myöskin kuvia. Nämäkin vaatimukset voi tiede ja koneenrakennustaito tyydyttää. Kerromme lyhyesti *Casellin yleislennättimestä (pantelegrafista)*. Kummallakin asemalla on metallilevy. Lähetysasemalla kirjoitetaan sähkösanoma tai piirretään kuva levyllä eristävällä hartsiliuoksella. Vastaanottoasemalla on metallilevyllä verilipeäsuola-liuoksella kostutettu paperi. Molemmilla asemilla liikkuu metallipuikko piirtäen levyllä tiheään yhdensuuntaisia viivoja. Molemmat puikot liikkuvat vallan samalla lailla. Kun puikko lähetysasemalla koskee metallia, kulkee virta toiselle asemalle, siellä puikosta kosteaan paperiin ja edelleen metallilevyyn. Verilipeäsuola hajoaa ja paperille syntyy puikon liikkuessa sininen viiva. Kun puikko lähetysasemalla koskettaa

hartsia, katkeaa virta, vastaanottoasemalla jää paperi valkeaksi. Vastaanottoasemalla saadaan siis kirjoitus tai kuva valkeana siniselle pohjalle.

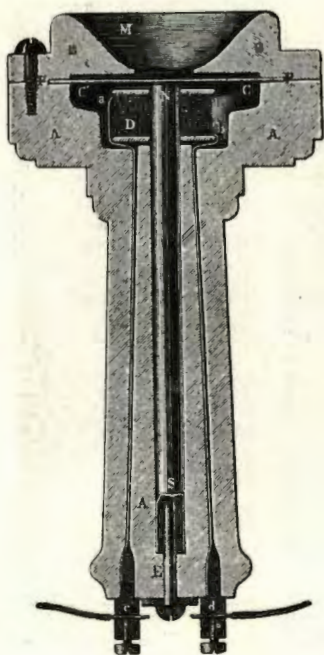
Sähkölennätinjohdoina maanpinnalla käytetään nykyään eristämätöntä rautalankaa, jota kannattavat puupylväisiin kiinnitetyt kellonmuotoiset poslinieristäjät. Kellojen sisäpinta pysyy aina kuivana, jonka vuoksi ne eristävät hyvin. Kun johto on laskettava veteen, on se erittäin huolellisesti eristettävä. Sellaiset johdot, *kaabelit*, tehdään aina kuparilangasta. Langan ympärillä on ensin kumia,



Kuva 288. Yleislennättimellä lähetetty kuva.

sen ympärillä tervattua hampppua ja sen ympärillä vielä sinkillä päällystettyä rautalankaa. Sitten voidellaan koko kaabeli asfaltilla ja ympärille kierretään vieläkin hampppua. Kaabeleita on nyt valtamerienkin poikki kaikkiin suuntiin. Jo v. 1857 yritettiin laskea kaabeli Atlantin- valtameren poikki, mutta kaabeli katkesi, ennenkun sitä oli pitkältä laskettu. Vielä kaksi kertaa yritettiin turhaan ja vasta v. 1866 onnistui yritys.

Näin pitkässä johdossa heikkonee virta siihen määrin, että se ei voi saada Morse-konetta toimimaan, ei edes siirtäjääkään. Käytetäänkin näissä johdoissa galvanometriä vastaanottokoneena kuten Gauss ja Weber käyttivät, mutta neu-la liikuttaa langalla pientä värillä täytettyä putkea, jonka kärki kirjoittaa sanoman paperille aaltomaisena viivana.



Kuva 289.
Telefoni.

Niin mukava kone kuin sähkölennätin onkin, ei se kumminkaan sovellu hyvin tiedonantojen vaihtoon välittömästi yksityisten henkilöiden välillä. Luonnollisin tiedonantojen välittäjä yksityisten henkilöiden välillä on puhe. Onhan olemassa kone, joka tekee puhelun mahdolliseksi satojen kilometrien matkan erottamien henkilöiden kesken. Se kone on *telefoni* (puhelin). Jo v. 1860 keksi opettaja *Reis* koneen, joka sähkövirran avulla siirsi puheen tai laulun toiseen paikkaan. Kone oli kumminkin niin vailinainen, että se ei koskaan tullut käytäntöön. Vasta sitten, kun amerikkalainen professori *Bell* v. 1877 keksi telefoninsa, sai telefoni käytännöllisen merkityksen. Telefoni on perin yksinkertainen kone. Puusta tai ebonitista tehdyssä torvessa on teräsmagneti. Sen yhden pään

ympäri on kierretty käämi eristettyä johtolankaa. Langan päät päättyvät kahteen ruuviin torven päässä. Torven toisessa päässä on lähellä magnetin päätä, jonka ympäri johtokäämi on kierretty, ohut levy pehmeätä rautaa. Levyn peittää suppilomainen kansi, jonka keskellä on reikä. Kaksi tällaista telefonia yhdistetään toisiinsa kahdella johtolangalla. Puhutaan toisen telefonin suppiloon. Ääni-aallot panevat rautalevyn väräjämään, se lähestyy magnetin polia ja loittonee siitä. Rautalevyssä on magnetin polin vastainen poli magnetiin päin käännettyällä puolella. Kun levyn värätessä vastaiset polit lähestyvät toisiaan, vahvistuu magnetismi niissä, kun ne loittonevat toisistaan, heikkonee magnetismi. Magnetismin vahvistuminen ja heikkoneminen synnyttää johtokää-

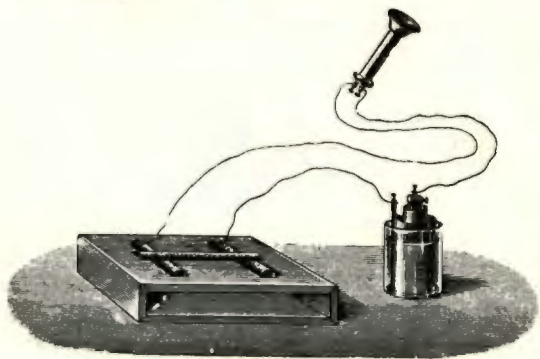
missä induktionivirtoja. Virrat kulkevat johtoa myöten toisen telefonin johtokäämiin. Kiertäessään tämän telefonin magnetin polin ympäri vahvistavat ja heikontavat virrat magnetin voimakkuutta vällan samalla tavalla kuin magnetin voimakkuus ensimmäisessä telefonissa muuttui, koska molemmissa telefoneissa magnetien samannimiset polit ovat käännetyt levyihin päin. Kun magnetin voimakkuus lisääntyy, vetää se rautalevyä lähemmäksi, kun magneti heikkonee, ponnahtaa levy takaisin. Toisen telefonin levy väräjä siis vällan samalla lailla kuin ensimmäisen. Levyn värähdykset synnyttävät ilmassa aaltoliikkeen ja toisesta telefonista kuuluvat samat äänet, jotka puhuttiin ensimmäiseen. Telefonissa muuttuu siis ensin ääni-aallon energia levyn liike-energiaksi, se muuttuu sähkö-energiaksi, se edelleen toisen telefonin levyn liike-energiaksi ja vihdoin se ilmahiukkasten liike-energiaksi. Jokaisessa muutoksessa menee osa energiasta hukkaan; senvuoksi kuuluukin ääni toisessa telefonissa paljon heikompana, jollei käytetä erityisiä apukeinoja sen vahvistamiseksi.

Bellin telefoni synnyttää itse sen virran, joka välittää puhehua. Mutta puheen välittäminen ei tapahdu siten, että telefonissa vain syntyy virta, vaan niin, että virrassa tapahtuu muutoksia. On siis yhdentekevä, millä tavalla nuo muutokset virrassa syntyvät, kunhan vain virran muutokset tarkoin seuraavat ääni-aallon muutoksia, niin kuulotelefonissa kuulemme kyllä äänen kaikkine vaihteluineen. Voimme siis antaa elementin virran kulkea telefonien läpi ja puheella aikaansaada tavalla tai toisella vaihteluita virrassa.

Tiedämme, että hiili on verrattain hyvä johtaja, joskin huonompi kuin metallit. Hiilen johteenvastustus vaihtelee melkoisesti ulkonaisen paineen vaikutuksesta. Jos asetetaan kaksi hiilitankoa päät vastakkain ja annetaan sähkövirran kulkea tankojen läpi, niin syntyy virran voimakkuudessa tuntuvia muutoksia sen mukaan miten lujasti hiilitankojen päitä painetaan vastakkain. Kuta löyhemmin tangot koskettavat toisiansa, sitä tunnokkaammat ne ovat mainituissa suhteessa. Ne ovat silloin niinkin tunnokkaat, että ne vähäiset paineen muutokset, jotka aiheutuvat hiilitankoja kohtaavan ääni-aallon aikaansaamista värähdyksistä tangoissa, synnyttävät melkoisia muutoksia tankojen läpi kulkevassa sähkövirrassa. Tä-

tä seikkaa käytti *Hughes mikrofoninsa* rakentamiseen, joka keksintö on tehnyt mahdolliseksi telefonin käyttämisen pitkilläkin matkoilla.

Kiinnitetään kumulaatikon kannelle kaksi yhdensuuntaista hiilitankoa. Niiden poikki pannaan kolmas, joka vain lepää edellisten päällä. Elementin virta käy hiilitankojen läpi, siten telefonin läpi ja takaisin elementtiin. Telefonissa ei kuulla mitään, niinkauan kun hiilitangot ovat levossa. Vaan vähinkin hiilien värjäminen synnyttää heti telefonissa äänen. Taskukellon, joka pannaan kumulaatikolle, käynti kuuluu selvästi telefonissa; kärpäsenkin kävely laatikon kannella.

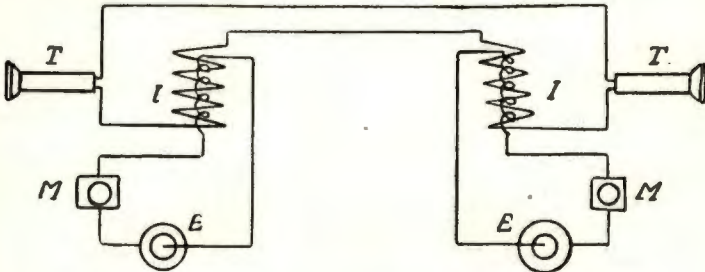


Kuva 290. Mikrofonii.

Mikrofonii tarjoaa meille oivallisen keino virran muutoksen aikaansaamiseksi. Nykyisessä telefonissa tapahtuikin puhuminen mikrofonilla ja kuuleminen telefonilla. Bellin telefonissa tapahtui puhuminen ja kuuleminen samanlaisella koneella, molemmat telefonilla. Edelleen käytetään nykyisessä telefonissa sähköelementin virtaa; Bellin telefoni synnytti itse virtansa. Telefonijohdo on mikrofonta käytettäessä järjestettävä siis seuraavalla tavalla. Elementin virta kulkee ensin mikrofonin läpi, siitä johtoa pitkin toisen aseman telefoniin, sieltä toista johtolankaa pitkin takaisin elementtiin. Koska tulee voida puhua molempiin suuntiin, on edullisempi järjestää johto seuraavalla tavalla. Elementin virta kulkee mikrofonin

läpi, sitten induktionikäänin pääjohdon läpi ja takaisin elementtiin. Virta ei siis menekään toiselle asemalle. Se on päävirran muutoksista induktionikäänin sivujohdossa syntynyt induktionivirta, joka menee toisen aseman kuulotelefoniin. Molempien asemien kuulotelefonit ovat siis johdolla toisiinsa yhdistetyt ja tapahtuu puheleminen tässä johdossa kulkevilla induktionivirroilla. Kummankin aseman mikrofonijohdot ovat mainitusta johdosta vällä erillään.

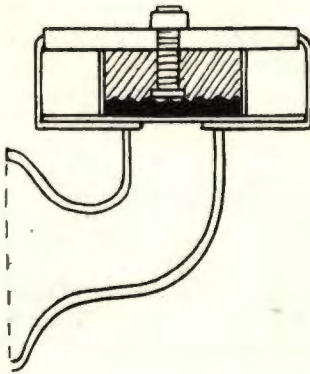
Telefoneissa käytetty mikrofoni on n. s. hiilijvämikrofoni. Hiililevyn ja hiiliharkon välillä on hiilijyviä. Elementin virta käy hiilijyvien läpi hiililevyyen ja siitä elementtiin takaisin. Hiililevyn edessä on suppilo, johon puhutaan. Uu-



Kuva 291. Telefonijohdo. TT kuulotelefonit. MM puhemikrofonit. II induktionikäänit. EE elementit.

denaikaisissa telefoneissa ovat puhemikrofoni ja kuulotelefonit sovitettuna samaan torveen siten, että mikrofonin suppilo sopii puhujan suun eteen ja kuulotelefonin korvaan. Tämä torvi riippuu telefonin sivulla vipuvarren päässä.

Merkin antamista varten toiselle asemalle soitetaan ensin sähkökellolla. Sähkökellon rakennuksen tunnettu jo ennestään. Soittaminen voi tapahtua elementin virralla, mutta toimitetaan se tavallisesti pienen dynamokoneen virralla, joka on telefonikaapin sisällä ja jota pyöritetään telefonikaapin sivulla olevalla kammilla. Kun telefoni riippuu vivussa, on dynamo yhdistetty johtoon, kun telefoni nostetaan pois vivun koukusta, painuu vivun toinen pää alas, johto dynamoon katkeaa ja johto elementtiin tulee yhdistetyksi mikrofoniin. Sama tapahtuu toisella asemalla, kun telefoni sielläkin nostetaan



Kuva 292. Hiilijyvämikrofoni.

vivun koukusta. Puhelu voi nyt alkaa. Puhelun päätyttyä ripustetaan telefoni koukkuunsa, mikrofoni-elementtijohto katkeaa ja dynamo ynnä kello ovat taas yhdistetyt johtoon.

Kun telefonien luku on suuri, on tietysti mahdotonta yhdistää niitä kaikkia keskenään johdoilla. Siitä tulisi valan sietämätön lukumäärä lankoja sekä ulkona että rakennuksissa. Senpä vuoksi yhdistetäänkin kaikki telefonit erityiseen keskusasemaan, jossa ne sitten yhdistetään keskenään. Keskus-

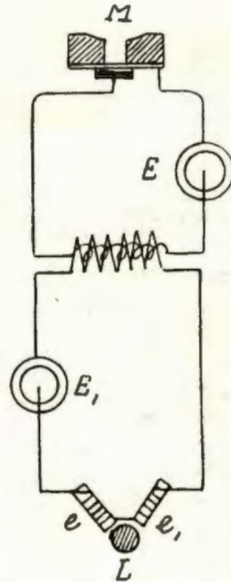
asemalla päättyvät johdot vaihtopöytiin. Vaihtopöydällä on kaappi ja sen etuseinässä pieni luukku kutakin telefonia varten. Luukun takana on telefonin numero. Kaapin etuseinän alaosassa on kaksi metallilla ympäröityä reikää kutakin numeroa varten, jos telefonien ja keskusaseaman välillä on kaksi lankaa, kuten nykyään yhä enemmän käytetään, yksi reikä, jos toisen langan asemasta käytetään maajohtoa, kuten sähkölennättimessä. Numeroluukkua pitää suljettuna hakanen elektromagnetin ankkurissa. Kun telefonista soitettaessa virta tulee keskusasemalle, vetää elektromagneti ankkuriaan, hakanen päästää luukun irti ja luukku putoaa alas. Aseman hoitaja yhdistää silloin oman telefoninsa johtoon ja saa kuulla minkä numeron kanssa halutaan puhella. Hän pistää silloin vaihtopöytänsä kiinnitetyn johtopalasen päät kumpaakin numeroa vastaaviin reikiin, tavallisesti ensin soitettuaan tuolle toiselle numerolle. Telefonit ovat nyt yhdistetyt ja keskustelu voi alkaa. Puhelun päätyttyä soittaa puhuja taas, jolloin luukku, jonka asemanhoitaja on sulkenut, vielä kerran putoaa alas merkiksi, että johdon saa katkaista. Suurilla asemilla käytetään nykyään luukkujen asemasta pieniä sähkölamppuja. Yksi lamppu syttyy, kun ensimmäisen kerran soitetaan, toinen eri värinen lamppu, kun puhelun lopun merkiksi toistamiseen soitetaan. Yhteen vaihtopöytänsä mahtuu noin 100 telefonia,

Vaihtopöydät ovat keskenään yhdistetyt erityisillä johdoilla.

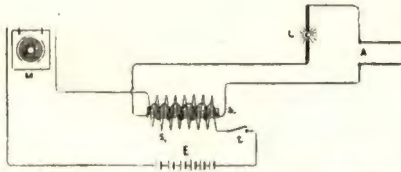
Kaikella on etunsa ja haittansa. Niinpä telefonillakin. Sen varjopuoli on, että kone ei säilytä puhelua, kuten sähkölennätin sähkösanoman säilyttää. Olisi useinkin suotava, että voisi kuulla puhelun sana sanalta toistamiseen. Sanotaan, että insinöörille ei ole mikään mahdotonta. Tanskalainen insinööri *Poulsen* keksi v. 1900 koneen, *telegrafonin*, joka tyydyttää tämänkin vaatimuksen.

Ohut teräslanka kierretään telalle siten, että kierrokset eivät kosketa toisiansa. Kun tela pyörii, juoksee lanka pienen elektromagnetin polien välillä, magnetin polit liukuvat lankaa pitkin sen oikealla ja vasemmalla puolella. Lanka tulee siten pitkinpäin magnetiseksi, oikea puoli saa esim. pohjoismagnetismiä, vasen etelämagnetismiä. Jos elektromagnetia herättävä virta pysyy koko ajan muuttumattomana, on lankakin yhtä väkevästi magnetinen pitkin pituuttaan. Mutta jos virrassa tapahtuu muutoksia,

niin on lankakin epätasaisesti magnetinen, paikottain on magnetismi voimakkaampi, paikottain heikompi. Tehdään johto, jossa elektromagnetin elementtineen on, induktionikoneen sivujohdoksiksi ja telefonin mikrofonijohto induktionikoneen pääjohdoksiksi. Kun mikrofonilla puhutaan, syntyy elektromagnetin johdossa induktionivirtoja, jotka joko vahvistavat tai heikontavat johdossa käypää virtaa. Teräslangan magnetismi tulee epätasaiseksi ja noudattavat magnetismin vaihtelut täsmälleen mikrofonivirran vaihteluja, toisin sanoen puhetta. Kun puhuminen on päättynyt, erotetaan telegrafonin johdosta elementti ja kuulotelefonin yhdistetään johtoon. Tela kierretään takaisin alkua asemaansa. Kun telaa nyt kierretään ympäri, liukuu tuo epätasaisesti magnetinen teräslanka elektromagnetin polien välillä. Elektromagnetin magnetismi vaihtelee samalla tavalla



Kuva 293. Telegrafoni. E elementti. M mikrofonin. E₁ elementti. e e₁ pienet elektromagnetit. L teräslanka.

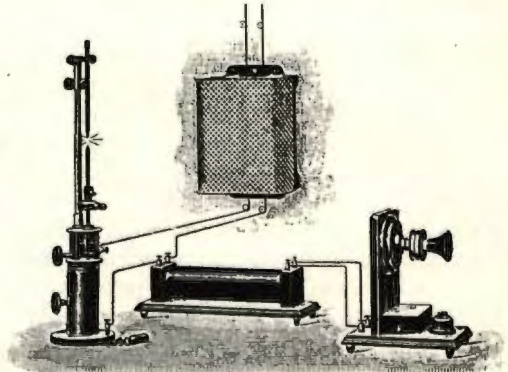


Kuva 294. Puhuva kaarilamppu. M mikrofoni, E elementti, SS transformatori, L lamppu, A lampunjohto.

kuin langankin ja sen johdossa syntyy induktionivirtoja, jotka vaihtelevat vallon samalla lailla kuin mikrofoni johdossa virta vaihteli puhuttaessa. Telefonissa kuulemme silloin puheen toistamiseen ja voi

sen tietysti uudistaa niin monta kertaa kuin haluaa. Telegrafoni ei ole kumminkaan tullut yleisemmin käytäntöön.

Mainittakoon vielä eräs omituinen ilmiö yhteydessä telefonin kanssa. Se on puhuva kaarilamppu. Kaarilampun johtoon, jossa käy samasuuntainen virta, asetetaan transformatori. Transformatorin pääjohdossa käy lampun virta, sen ulkojohto yhdistetään mikrofoniin. Kun mikrofoniin puhutaan, syntyy sen johdossa vaihteleva virta. Transformatorin pääjohdossa syntyy induseerattuja virtoja, jotka välistä vahvistavat, välistä heikontavat lampun virtaa. Siten vaihtelee valokaaren lämpötilakin, josta on seurauksena että ilmakin kaareissa välistä laajenee enemmän, välistä vähemmän; ilmassa syntyy vuorottaisia ohennuksia ja tiivistyksiä, jotka noudattavat täsmälleen mikrofoniin puhutun ääni-aallon ohennuksia ja tiivistyksiä. Valokaari kertaan mikrofoniin puhutut äänet niin kovasti, että ne voi hyvin kuulla kaikkialla suuressa huoneessa. Mahdollista on, että puhuvaa kaarilamppua tulevaisuudessa monella tavalla tullaan käyttämään.



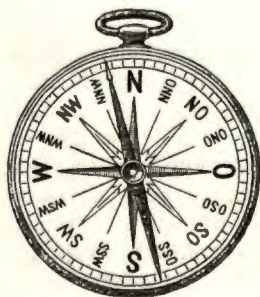
Kuva 295. Puhuva kaarilamppu. Oikealla mikrofoni, keskellä transformatori, vasemmalla kaarilamppu.

XXX.

Kompassi. Kompassin poikkeama. Isogonit. Inklinationi. Iso-
kliniit. Maan magnetinen voima. Magnetiset myrskyt. Maan
magnetisen tilan syyt, Ukkonen. Sulama. Salaman muoto, väri
ja pituus. Ukkosen jyrinä. Salaman vaikutukset. Ukkosenjoh-
taja. Revontulet.

Pystysuoraan akseliin kiinnitetty magnetineula asettuu,
kuten tiedämme, etelä-pohjoiseen suuntaan. Maa vaikuttaa
neulaan kuten magneti, jonka eteläpoli olisi käännetty pohjoi-
seen ja pohjoispoli etelään päin. Tämän seikan tunsivat kii-
nalaiset kaukaisessa muinaisuudessa. Tätä magnetineulan omi-
naisuutta käytetään, kuten tunnettu on, ilmaosuuntien mää-
räämiseen *kompassin* avulla. Aikaisimmat kiinalaiset tiedot kom-
passista ulottuvat aina noin vuoteen 2600 ennen meidän ajan-
luvun alkua. Kiinalainen Tsur-pao kertoo, että keisari Hoang-
tis sotaretkellään kapinoitsijoita vastaan käytti vaunua, jonka
etusassa oli puulaatikko ja laatikon kannelle oli erittäin kevyt
puusta tehty ihmisen kuva asetettu pystysuoraan puikkoon

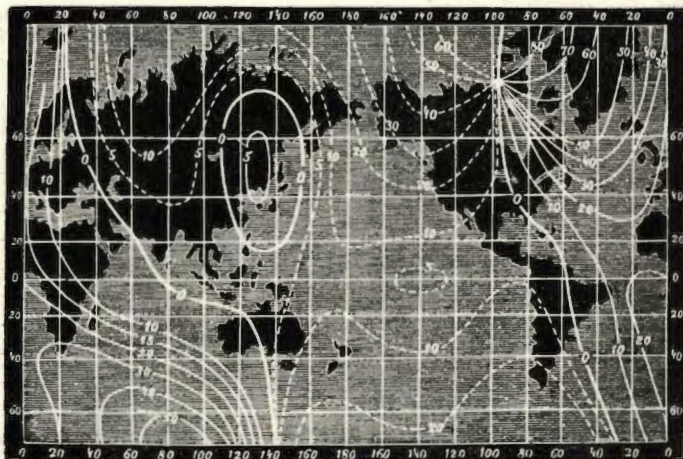
siten, että se voi vapaasti kääntyä
kaikkiin suuntiin. Kuvan ojennettuun
oikeaan käteen oli kiinnitetty magneti;
kääntyipä vaunu miten hyvänsä,
osoitti kuvan käsi aina etelään päin.
Milloin kompassi tuli tunnetuksi Eu-
ropassa, sitä ei varmuudella tiedetä.
Tiesivätpä kiinalaiset kompassista
enemmänkin. Jo v. 1100 j. Kr. vai-
heilla tiesivät he, että neula ei asetu
vallan etelä-pohjoiseen suuntaan, että
sen toinen pää ei osoita suoraan ete-
lään, vaan poikkeaa jonkun verran



Kuva 296. Kompassi.

oikealla kädellä pistettä kohti, jota kiinalaiset nimittivät »ping». Mainittuna aikana oli tämä neulan *poikkeama* eli *deklinatiio* Pekingissä vain 2° . Täytyy ihmetellä kiinalaisten havaintojen tarkkuutta.

Columbus huomasi myös matkallaan Amerikkaan saman seikan. Kerrotaan hänen kovasti säikähtäneen, kun hän valamerellä huomasi, että poikkeama, joka Italiassa oli ollut noin 9° pohjoispisteestä itäänpäin, ensin väheni nolllaksi ja sitten muuttui läntiseksi. Columbus siis tunsu poikkeaman olemassaolon. Kuitenkin luultiin siihen aikaan syyn poikkeama-

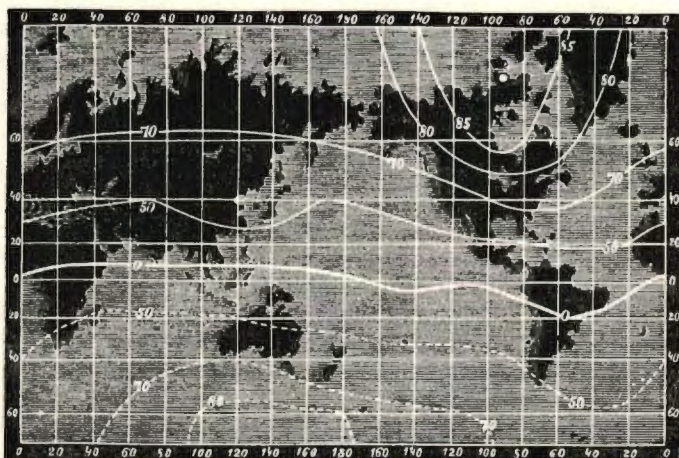


Kuva 297. Isogonit.

maan olevan jonkun virheen magnetineulan valmistamisessa ja koetettiin rakentaa neuloja, joilla ei tuota vikaa olisi. Kuitenkin vakautui yhä enemmän se mielipide, että poikkeama oli todellinen, neulan valmistamisesta riippumaton, ja että se eri paikoilla oli eri suuri. Tutkimukset ovat näyttäneetkin, että poikkeama on eri paikoilla eri suuri, toisilla paikoilla poikkeama neulan pohjoispää länteen päin, toisilla itäänpäin; harvoilla paikoilla on poikkeama 0° . Jos kartalle piirrämme viivoja niiden paikkojen kautta, joilla poikkeama on sama, saamme epä-säännöllisiä käyriä viivoja. Viivat saavat nimen *isogonit* (samo-poikkeumakäyrät). Niiden joukossa tapaamme myös vii-

voja, joita pitkin poikkeama on 0° . Sellainen viiva, *agoni*, käy Suomen itäosien kautta, Venäjän, Arabian ja Intian valtameren kautta etelänapaa kohti. Toinen sellainen viiva käy Pohjois- ja Etelä-Amerikan läpi. Kolmas suljetun soikean viivan muotoinen agoni on itäisessä Aasiassa. Helsingissä on v. 1911 poikkeama $1^\circ 8'$.

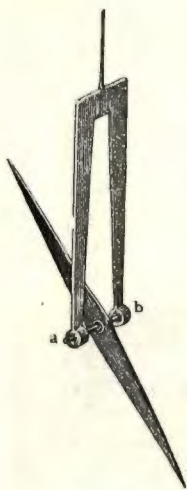
V. 1544 huomasi *Hartmann* Nürnbergissä, että vaakasuorassa akselissa liikkuvan magnetineulan pohjoinen pää painuu vaakasuoran suunnan alle. Luultiin ensin, että magnetineula pyrkii asettumaan niin, että sen yksi pää tähtää jotakin pis-



Kuva 298. Isokliniit.

tettä kohti taivaalla. Kuuluisa kartanpiirtäjä *Mercator* († 1594) lausui kumminkin sen mielipiteen, että neula tähtää maassa olevaa pistettä kohti. Neulan akselin ja vaakasuoran viivan välinen kulma *kallistuma-* eli *inklinationikulma* on myöskin eri paikoilla eri suuri. Kartalle piirrettyjä viivoja, jotka käyvät paikkojen läpi, joilla kallistumakulma on sama, sanotaan *isoklineiksi* (samakallistumakäyriksi). Kallistumakulma on 0 astetta pitkin käyrää viivaa, joka kiertää maan ympäri ja leikkaa päiväntasaajan kahdessa pisteessä. Viiva saa nimen magnetinen tasaaja. Sekä pohjoiseen että etelään päin tasaajasta kasvaa kallistumakulma, pohjoispuolella painuu neu-

Fysiikka



Kuva 299.
Inklinatonineula.

lan pohjois-, eteläpuolella eteläpää vaaka-suoran alle. Kallistumakulma on suurin kahdessa pisteessä, maan magnetisissä navoissa. Ne eivät yhdy maantieteellisiin navoihin. Pohjoisen magnetisen navan leveysaste on $73^{\circ} 25'$ ja pituusaste $94^{\circ} 40'$ länteen Greenwichistä; eteläisen $72^{\circ} 25'$ ja $155^{\circ} 16'$ itään Greenwichistä. Edellinen on Boothia Felix-saarella Pohjois-Amerikan pohjoispuolella, jälkimäinen Viktorianmaalla Australian eteläpuolella. Molemmilla navoilla on kallistumakulma 90° . Suomessa on kulma noin 70° . Maan magnetinen voima vaikuttaa kallistumaneulan suuntaan. Voiman suuruuden voi määrätä antamalla magnetineulan heilua kuten heilurin tasapainoasemansa molemmin puolin. Kuta suurempi voima kullakin paikalla on, sitä nopeammin heiluu sama neula sillä paikalla. Magnetinen voima vaihtelee niinkin paljon, että se

paikoittain on kaksikin kertaa niin suuri kuin toisilla paikoilla.

Niinhyvin poikkeama kuin myös kallistumakulma sekä magnetinen voima ovat samalla paikallakin muuttuvia. On huomattu vuorokausittain, vuosittain ja vielä pitempienkin ajanjaksojen kuluessa tapahtuvia vaihteluita. Vuorokausittain tapahtuvat vaihtelut saaraavat auringon näennäistä kulkua taivaslaella. Vaihtelujen suuruus kasvaa päiväntasaajalta napoja kohti. Niinpä poikkeuma vaihtelee päiväntasaajalla noin $2'$ tai $3'$, napaseuduilla $30'$ vuorokaudessa. Talvikuukausina jouluk.—helmik. ovat vaihtelut pienemmät. Mitä pitempiin jaksoihin tulee, niin on sellaisia huomattu kaksikin, toinen 11 vuotinen ja toinen 56 vuotinen. Molemmat riippuvat varmaan, kuten äsken mainitut vaihtelutkin, tapahtumista maan ulkopuolella, etupäässä auringon toiminnasta, jossa myös on huomattu samat ajanjaksot. Kun auringon toiminta on vilkas, ovat magnetiset ilmiötkin maanpinnalla voimakkaamat ja niiden vaihtelut suuremmat.

Paitsi näitä säännöllisiä vaihteluita huomataan tilapäisiä häiriöitä, usein hyvinkin voimakkaita, n. s. magnetisia myrs-

kyjä. Ilmakehän sähköiset ilmiöt ovat myös silloin voimakkaat, ukkosta ja revontulia syntyy. Tällaiset myrskyt ulottuvat usein yli koko maanpinnan. Löytyy kyllä paikallisiakin myrskyjä, jotka ulottuvat vain pienemmälle alalla. Sellaisen myrskyn aikana vaihtelevat magnetiset suureet hyvinkin laajojen rajojen välillä, poikkeuma voi yhtäkkiä muuttua 10 astettakin.

Syytä maan magnetiseen tilaan ei täydellä varmuudella tunneta. Olettaminen, että maa olisi magnetinen niinkuin teräsmagneti, ei voi monesta syystä pitää paikkaansa. Jos niin olisi, löytyisi maankuoreessa paljon enemmän magnetisia aineita kuin nyt löytyy. Maan sisusta ei myöskään voi olla magnetinen, sillä korkeassa lämpötilassa häviää magnetismi kappaleista. Syytä maan magnetiseen tilaan ovat todenmukaisesti sähkövirrat maan ilmakehässä ja myös maankuoreessa. Että tällaisia virtoja on olemassa, voi kokeillakin näyttää. Kaivetaan maahan metallilevy ja yhdistetään se maanpäällisellä johdolla toiseen metallilevyyn, joka on kaivettu maahan parin kolmen kilometrin päähän ensimmäisestä. Johtoon yhdistetty galvanometri näyttää melkein aina virran olemassaoloa. Maa on lähinnä verrattava pallonmuotoiseen solenoidiin. Maanpinnalla oleva magnetineula asettuu tietysti solenoidin voimaviivojen suuntaan siten, että voimaviivat kulkevat magnetin läpi eteläpäästä pohjoispäähän ja siitä ulos. Maa-solenoidin eteläpoli on pohjoiseen päin ja pohjoispoli etelään päin. Solenoidin voimaviivat käyvät siis maan pinnan ulkopuolella etelästä pohjoiseen kaarevina viivoina. Tästä seuraa, että neula ylipäänsä asettuukin suuntaan etelä-pohjoinen ja että pohjoispuolella magnetista tasaajaa pohjoispää, eteläpuolella eteläpää painuu vaakasuoran alle. Maalla on vain kääntävä vaikutus neulaan, sillä se vetää neulan yhtä polia yhtä suurella voimalla kuin se poistaa toista. Koska maa-solenoidin eteläpoli on pohjoisessa ja pohjoispoli etelässä, käy virta solenoidissa Ampèren säännön mukaan idästä länteen.

Meidän on vielä tarkastettava ilman sähköisestä tilasta riippuvia ilmiöitä. Huomattavimmat näistä ovat ukkonen ja revontulet.

Emme voisi täysin käsittää niitä suurenmoisia voimia, jotka vallitsevat ilmakehässämme, elleimme joskus näkisi uk-

kosenilman puhkeavan, halkaisevan pilviä salamoillaan, vapittavan koko luontoa suonenedontapaisilla nyhtäyksillä ja vihdoin voimansa tyhjennettyään poistuvan. Ei mikään muu ilmiö pane samalla niin hienoja ja niin kauhistuttavia voimia liikkeelle, ei mikään silmäkääntäjä voi kilpailla salaman kanssa hämmästyttävissä ja odottamattomissa taikatempuissa.

Emme tässä voi kajota kaikkiin niihin moninaiisiin arveluihin, joita eri kansoilla on ollut ukkosesta ja sen synnystä. Alamme siitä ajasta, jolloin luonto itse pakotettiin antamaan vastauksen kysymykseen, mitä ukkonen on. Ensimmäinen, joka vertasi salamaa sähkökipinään, oli eräs tohtori *Wall* noin v. 1650. Yhtäläisyys oli kyllä suuri, mutta suoranaisia todistuksia puuttui. Sillä aikaa kun vanhassa maailmassa keskusteltiin tästä kysymyksestä, oli eräs mies uudessa maailmassa tullut pitemmälle. Tämä mies oli *Benjamin Franklin*. Hänen kuuluisa kokeensa, jolla hän selvästi todisti, että ukkonen ja salama ovat sähkön aikaansaamia, on tunnettu. Annettuaan paperileijan nousta ukkospilveä kohti, sai hän jännittävän odotuksen jälkeen vihdoin kipinöitä langan päästä. Tämä oli ensimmäinen kerta, kun ihminen leikki salaman kanssa ja pääsi sen salaisuuden perille. Koe tapahtui kesällä 1752. Tällaiset kokeet eivät suinkaan ole vaarattomia. Niinpä Pietarin akatemian jäsen *Richmann* sai hengellensä maksaa kokeensa.

Tutkimuksien tulokset ovat lyhyesti seuraavat. Ilma on tavallisissa olosuhteissa positivisesti sähköinen. Sähkömäärä kasvaa maasta ylöspäin. Maa on negatiivisesti sähköinen. Pilvet ovat usein negatiivisesti sähköisiä. Syynä ilman sähköön lienee etupäässä maata kohtaava auringon lämpö- ja valosäteily. Sitäpaitsi saapuu maahan varmaan auringosta sähköä sekä sähkö-aaltona että myös luultavasti hienon hienonasähköllä varattuna tomuna. Maasta haihtuva vesihöyry tiivistyy noille tomuhiukkasille. Hiukkaset ovat negatiivisesti sähköisiä, jonka vuoksi pilvet, tiivistynyt vesihöyry, ovat myöskin negatiivisiä. Influenssin kautta syntyy pilvissäkin positivistä sähköä. Kun pilvien sähkömäärä on kasvanut siihen määrin, että pilvet ovat sähköä täynnä, tapahtuu sähkön purkautuminen joko kahden pilven tai pilven ja maan välillä ja ukkonen on valmis.

Niistä enteistä, jotka käyvät ukkosenilman edellä, mainittakoon barometrin hitainen, mutta yhdenmittainen, aleneminen, ilman tyyneys ja tukahduttava kuumuus. Hermoheikot henkilöt tuntevat ruumiissaan omituista levottomuutta ja väsymystä, josta he turhaan koettavat vapautua.

Salamoita löytyy useampaa eri laatua. Tavallisimmat ovat n. k. pintasalamat. Pintasalama on leimahdus, joka hetkeksi valaisee pilviä ja maata ja sen syynä lienee sähkön purkautuminen laajemmalla pinnalla. Toinen laji salamoita on n. k. viivasalamat, jotka ilmautuvat tarkasti rajoitetun vii-



Kuva 300. Viivasalama.

van muodossa. Vielä huomataan välistä, vaikka paljon harvemmin, pallonmuotoisia salamoita. Salaman tie on harvoin aivan suora, vaikka luulisi, että salamakin valitseisi lyhimmän tien. Syynä siihen, että salamalla tavallisesti on murtoviivan muoto, lienee ilman vastustus ja eri suuri kosteus eri paikoilla. Tiedämme nimittäin, että kostea ilma johtaa sähköä paljoo paremmin kuin kuiva ja kulkee siis salama etupäässä kosteita paikkoja. Usein haarautuu salama useimmiksi haaroiksi, joten salama on joen ynnä sen sivujokien näköinen.

Salaman väri on useimmiten sinisenvalkkea, vaan onpa keltaisia, punaisia, sinisiä salamoita. Sen väri riippuu suuressa määrin ilmassa löytyvistä vieraista aineista, tomusta y. m.

Mitä salaman pituuteen tulee, voi se olla aina 15, 16, ja 17 km. On kuitenkin luultava, ettei yksi ainoa kipinä ole näin pitkä, vaan että sellaisen salaman muodostavat useat toisiansa seuraavat kipinät. Salamata seuraa säännöllisesti jyrinä. Jyrinä syntyy osaksi siitä, että salama työntää tieltänsä ilmahiukkaset, osaksi ilman kovasta kuumenemisestä. Ilma syöksyy taas entiselle paikalleen, joten syntyy voimakas ääni-aalto.

Vaan mistä syntyy sitten tuo pitkällinen jyrinä, joka voi kestää puoli minuttia ja kauemminkin? Syynä siihen on se, että ääni ei kulje yhtä nopeasti kuin valo. Ajattelempa vaakasuo- ran esim. 8 km pitkän salaman yhden kilometrin korkeudella maanpinnasta ja jonkun henkilön seisovan juuri sen paikan alla, mistä salama alkaa. Hän näkee salaman koko pituudeltaan samassa silmänräpäyksessä, syystä että valo tarvitsee äärettömän lyhyen ajan kulkeakseen salaman toisesta päästä toiseen. Salaman synnyttämä ääni syntyy kyllä sekin samassa silmänräpäyksessä pitkin koko salamaa, mutta kun ääni kulkee vain noin 340 m. sekunnissa, kuulee hän ensin äänen salaman lähimmästä päästä, 3 sekunnin kuluttua, ja sitten yhä myöhemmin ja myöhemmin salaman etäisemmistä pisteistä. Salaman toisesta päästä saapuu ääni hänen korvaansa vasta 23 sek. kuluttua. Jyrinä on siis kestänyt 20 sek. Jos tähän vielä lisäämme sen äänen, joka syntyy siitä, että saman salaman muodostavat ehkä useat kipinät, ja siitä, että salama ei ole suora ja lopuksi kaiun, niin käsitämme aivan hyvin tuon jatkuvan jyrinän.

Siirrymme nyt tarkastamaan salaman vaikutuksia. Tässä kohtaa meitä odottamaton vaikeus. Tuon hienon sähköai- neen aikaansaamat työt ovat niin moninaiset, niin odotta- mattomat, niin kaikkea säännöllisyyttä ja johdonmukaisuutta vailla, että on melkein mahdotonta järjestää niitä eri ryhmiin ja likimainkaan kertoa niistä kaikista. Salama on ikäänkuin ajatteleva olento, välistä lempeä ja leikkisä, jolloin hän vain säikyttelee uhrejansa ja tekee heille kepposiansa, välistä taas ankara ja julma, jolloin se musertaa uhrinsa heti.

Voidaksemme jossakin määrin järjestää ilmiöiden moni- naisuutta, tarkastamme ensiksi salaman vaikutuksia johtavis- sa kappaleissa ja sitten sellaisissa, jotka eivät johda. Kun sa- lama kohtaa johtajaa, seuraa se sitä, vahingoittamatta sitä,

jos kappaleen poikkileikkaus on kyllin suuri ja kappale on yhteydessä maan kanssa. Jos kappale on ohut, kuumenee se salaman vaikutuksesta niin, että se täydellisesti sulaa. Läheisyydessä olevat epäjohtajat eivät vahingoitu. Niinpä kertoo Aristoteles nähneensä salaman sulattavan kilven vasken, vahingoittamatta sen puuosia. Plinius kertoo, että salama voi sulattaa kuparipalasia säkissä, polttamatta säkkiä ja pehmittämättä vahasinettiä, jolla säkki on suljettu. Vuonna 1807 iski salama erääseen myllyyn Englannissa ja kulki pitkin pak-sua rautaketjua, jolla eloa nostettiin. Ketju suli niin, että sen renkaat liittyivät yhteen, joten koko ketjusta tuli yksi ainoa rautatanko. Eräältä naiselta sulatti salama kerran korvarenkään vahingoittamatta naista itseään.

Välistä tapahtuu tällaisen ainesulatuksen ohella myös sulatetun aineen kuljetus paikasta toiseen. Siten voi salama välistä kullata esineitä, jotka eivät suinkaan ole aiotut kullattaviksi. Mainittakoot seuraavat tapaukset. Vuonna 1797 iski salama erääseen kirkontorniin Böömissä, sulatti kultauksen kellon viisarista ja kultasi sillä kappelin akkunan lyijykehyyksen. Vuonna 1761 löi salama erääseen kirkkoon Wienissä, otti kullan muutamasta pylväästä lähellä alttaria ja kultasi sillä hopeisen messukannun alttarilla. Kerran kohtasi salama erästä matkustavaista, joka ei kuitenkaan vahingoittunut ja jatkoi matkaansa. Hänellä oli rahakukkarossaan toisessa osastossa hopearaha ja toisessa kultaraha. Avatessaan kukkaronsa huomasi hän hämmästykseseen kaksi hopearahaa. Kultarahan molemmat puolet olivat hopeoidut hopealla, jonka salama oli ottanut hopearahasta ja kuljettanut nahkaisen väliseinän läpi kultarahalle. Riittääkööt nämä esimerkit salaman vaikutuksesta johtaviin kappaleisiin.

Kun salama kohtaa eristäjää, niinkuin puuta, kiveä, lasia j. n. e. särkee se ne tavallisesti palasiksi ja heittää palaset hajallensa yltymperi. Välistä sulattaa salama eristäjiäkin. Helposti syttyvät esineet, kuten puu, vaatteet y. m. syttyvät salaman iskusta palamaan. Kertomuksia salaman aikaansaamista tulipaloista on runsaasti.

Särkiessään epäjohtajia osoittaa salama useinkin hämmästyttävää voimaa. Suuria satavuotisia puita pirstoo se pieniksi lastuiksi, hajoittaa vahvoja muureja j. n. e. Mainittakoon

tässä seuraava esimerkki salaman tavattomasta voimasta. Lähellä Manchesteriä löi salama kerran pieneen kivirakennukseen, jossa säilytettiin kivihiliä. Salama repi irti yhden seinän rakennuksesta, nosti sen ylös ja kuljetti sen riikkomatta sitä 3 metriä paikaltansa. Tämä muuri painoi arviolta 26 tuhatta kg.

Ihmisruumis on jotenkin hyvä johtaja. Salaman kauhistuttavin vaikutus ihmisruumiiseen on epäilemättä se, kun salama tappaa ihmisen paikalle ja polttaa koko hänen ruumiinsa poroksi, jättäen ruumiin samaan asemaan, kuin sillä oli eläessäkin. Esimerkkejä sellaisista tapahtumista löytyy. Kolme sotamiestä oli kerran asettunut ukkosen ilmalla muutaman puun alle. Salama iski puuhun ja tappoi kaikki kolme. Vaan he jäivät seisomaan asemiinsa. Ohitse kulkevat puhuttelivat heitä ja, kun eivät saaneet mitään vastausta, menivät he lähemmäksi ja koskettivat heitä, jolloin he kaatuivat tuhkakooksi. Vaikka heidän ruumiinsa oli palanut tuhkaksi, olivat, kummallista kyllä, heidän vaatteensa vahingoittumattomat. Tämä ei suinkaan ole ainoa tapaus laatuansa. On tapahtunut, että salama on polttanut kädet luuta myöten ja jättänyt käsiä peittävät hansikkaat vahingoittamatta.

Vastakohtana tällaisille tapauksille ovat ne tapaukset, joissa salama polttaa vaatteet tekemättä pienintäkään naarmua ruumiiseen. Tässäkin menettelee salama välistä hyvinkin oikullisesti. Välistä polttaa se lähinnä ruumista olevat vaatteet, jättäen päällysvaatteet ehyiksi, välistä taas päinvastoin. Aina ei salama polta uhriensa vaatteita, vaan repii ne rikki pieniksi kappaleiksi, jolloin kappaleet ovat usein ikäänkuin veitsellä leikatut.

Ne henkilöt, jotka pyörtyvät salaman iskusta, vakuuttavat, että he eivät ole kuulleet, eivät nähneet, eivätkä tunteet mitään ennen pyörtymistään. Tunto-, näkö- ja kuulohermot ovat tylsistyneet ennenkun valo ja ääni ehtivät niihin vaikuttaa.

Ennenkun jätämme nämä salaman moninaiset vaikutukset, mainittakoon muutamia sanoja eräistä omituisista ilmiöistä, joita salama välistä saa aikaan. Ilmiöt ovat tunnetut nimellä *ke-raunografia* tai salaman piirustukset, jolla nimellä tarkoitetaan niitä kuvia, joita salama joskus piirtää kohtaamiensa henkilöiden

ruumiiseen. Pari esimerkkiä tällaisista tapauksista. Eräs lääkäri Wienistä, Dredinger, matkusti kerran rautatiellä ja tultuaan kotiinsa, huomasi hän rahakukkaronsa olevan poissa. Se oli luultavasti varastettu. Rahakukkaro oli kilpikonnankuoresta ja sen yhdellä kannella oli lääkärin nimimerkki, kaksi teräk-sistä ristiinasetettua D:tä. Joku aika sen jälkeen kutsuttiin hän erään miehen luo, jota salama oli kohdannut muutaman puun juurella. Ensimmäinen mitä lääkäri huomasi sairaan ruumiissa oli lääkärin oma nimimerkki, joka oli ikäänkuin valokuvattu sairaan jalkaan. Sairaana vaatteita tutkittiin ja lääkärin rahakukkaro löytyi hänen taskustansa. Salaman kohtama henkilö oli juuri varas. Salama kohtasi kerran poikaa, joka juuri hävitti linnunpesää. Poika sai rintaansa täydellisen linnun ja pesän kuvan.

Olemme kertoneet salaman vaikutuksista. On vielä mainittava muutama sana varo- ja suojeluskeinoista salaman tuhotöiden välttämiseksi. Yleisesti lienee tunnettu, että salama etupäässä iskee korkeisiin esineisiin: puihin, torneihin, viiritankoihin j. n. e. On siis erittäin vaarallista ukkosensäällä asettua puun alle. Tosin salama voi kohdata avonaisella kentälläkin, vaan vaara ei ole läheskään niin suuri. Vielä johtavat salamaa savupiipuista nouseva savu ja kostea ilma. Useinhan tuleekin salama huoneeseen piipun kautta. Jos mahdollista, ovat pellit suljettavat kun ukkonen käy.

Paras suojeluskeino on tietysti hyvä ukkosenjohtaja. Senkin on Franklin keksinyt. Suojeltavan rakennuksen katolle, tehtaissa savupiippuun, kirkoissa tornin huippuun, kiinnitetään terävään kärkeen päättyvä rautatanko. Kärki on ruostumisen estämiseksi kullattu tai tehty platinasta. Tankoon kiinnitetään huolellisesti rautalangoista punottu köysi, jonka toinen pää yhdistetään maahan, mieluummin pohjaveteen saakka, kaivettuun metallilevyyn tai hiilillä täytettyyn rautalankoppaan. Johto on yhteydessä rakennuksen kanssa.



Kuva 301. Ukkosenjohtaja.

Ukkosenjohtaja vaikuttaa kahdella tavalla. Kun rakennusta lähestyy esim. positivistisesti sähköinen pilvi, nousee maan negatiivinen sähkö ylös rakennuksen yläosiin, virtaa ukkosenjohtajan kärjestä ulos ilmaan ja hävittää siten pilven positiivisen sähköön. Salamaa ei silloin ollenkaan synny. Jos kumminkin pilven sähkömäärä on niin suuri, että kärjestä virtaava sähkö ei ehdi sitä hävittää ja salama lyö maahan, niin seuraava salama johtajaa eikä vahingoita rakennusta. Johto ei saa olla rakennuksesta eristetty siitä syystä, että maan vastainen sähkö pilven lähestyessä nousee rakennuksen yläosiin ja, jos pilven sähkö äkkiä häviää esim. purkautumisella kahden pilven välillä, pyrkii taas takaisin maahan, jolloin, jos johto on rakennuksesta eristetty, se ei pääse johtoa pitkin, vaan voi aikaansaada erityisen salaman rakennuksen sisällä n. s. *takaiskun*. Kokemus on näyttänyt, että ukkosenjohtaja suojelee ympyränmuotoisen alan, jonka säde on kaksi kertaa niin suuri kuin tangon pituus rakennuksen katosta lukien. Usein nähdään ukkosenjohtajan ja muiden terävien esineiden päissä pimeässä loistavia töyhtöjä, kun maan sähkö virtaa niistä ulos ilmaan. Ilmiötä nimitetään Pyhän Elmin tuliksi.

Toinen sähköinen ilmiö maan ilmakehässä on revontulet. Revontulet alkavat tavallisesti tyynesti loistavalla kellertävällä kaarella pohjoistaivaalla. Jonkun ajan kuluttua alkaa kaari käydä levottomaksi, valo kokoutuu paikoittain, paikoittain heikkonee se, valo-aallot vierivät kaaren päästä toiseen, kaaren reunasta kiittää valopylväs taivaanlakea kohti, se vilvää, epäilee, vetäytyy takaisin tai sammuu, antaakseen sijaa toiselle. pylväitten luku lisääntyy, yksi on tuskin ehtinyt taivaanlaelle, kun toinen jo seuraa. On ikäänkuin näkymätön käsi kuljettaisi suurta sivellintä taivaanlakea pitkin ja aina tyytymättömänä työhönsä alottaisi työnsä uudestaan, milloin yhdestä, milloin toisesta paikasta. Usein kyllästyy tuo näkymätön maalari kesken työnsä, heittää pois siveltimensä ja pyyhkäisee sen jäljet taivaan kannelta. Revontulet sammuvat yhtä nopeasti kuin ne olivat alkaneet. Välistä jatkaa hän kumminkin työtänsä, siveltimen jäljet järjestyvät, pitenevät taivaan keskustaa kohti ja muodostavat siihen loistavan kruunun, revontulikruunun. Toisella kerralla taas säteet eivät yhdy taivaan keskellä, vaan näyttävät riippuvan alas taivaasta,

muodostaen siten ikäänkuin mahdottoman suuren verhon, jonka poimut hiljaa aaltoilevat niinkuin tuulen heiluttamina. Värit vaihtelevat, milloin ovat säteet keltaisia, milloin viheriöitä, milloin purppuran punaisia. Aikansa loistettuaan himmenevät värit, säteet katoavat, ainoastaan siellä täällä loistaa vielä yksityisiä pilven kaltaisia pilkkuja, jotka laajenevat ja supistuvat nopeilla värähdyksillä, kunnes nekin sammuvat ja ainoastaan tähdet valaisevat pohjolan pitkää yötä.

Jatkuneet tutkimukset ja etenkin napaseutuihin tehdyt retkikunnat ovat koonneet runsaan varaston tätä ilmiötä koskevia havaintoja. Niiden tulokset ovat lyhyesti seuraavat. Revontulet ilmestyvät maan molemmilla navoilla ja yhtäaikaisesti. Mitä pohjoisnapaan tulee, ovat revontulet runsaimmat napaa ympäröivässä vyöhykkeessä, jonka pohjoisraja on Euroopassa 75:llä ja eteläraja 68:lla, Amerikassa 62:lla ja 55:llä leveysasteella. Päiväntasaajan seudulla ovat revontulet niin harvinaiset, että loistavampia revontulia nähdään ehkä keran 10 vuodessa. Revontulivyöhykkeen eteläpuolella nähdään revontulet pohjoisella taivaalla, vyöhykkeen pohjoispuolella eteläisellä taivaalla ja itse vyöhykkeellä yhtä usein pohjois- ja etelätaivaalla tai ulottuvat ne yli koko taivaan.

Mitä revontulien runsauteen eri vuodenaikoina tulee, niin ovat ne runsaimmat syys- ja kevättalvella. Ne voivat ilmestyä millä vuorokauden ajalla hyvänsä, runsaimmat ovat ne, ainakin Skandinaviassa ja Suomessa, noin kl. 10 ja 11 aikaan illalla. Päivällä emme niitä näe, paitsi napaseuduilla, missä aurinko on koko vuorokauden taivaanrannan alla talvisaikaan. On edelleen huomattu, että revontulet eivät ilmesty yhtä runsaina kaikkina vuosina. Niilläkin on tuo sama 11 vuotinen jakso, jonka mainitsimme magnetisilla ilmiöillä maanpinnalla olevan.

Mittaukset, joita on toimitettu revontulien etäisyyden määrittämistä varten maanpinnasta lukien, antavat hyvinkin eriäviä tuloksia. Korkeus vaihtelee niiden mukaan muutamista sadoista metreistä aina 900 kilometriin. Tulemme luultavasti totuutta lähemmäksi, jos keskimääräiseksi korkeudeksi otaksumme noin 400 km. Joka tapauksessa käy mittauksista selville, että revontulet ylipäänsä ilmestyvät ilmakehän ylempimissä osissa, missä ilma on verrattain ohutta.

	Siv.		Siv.
Astiat, yhtyvät	87	<i>Comte</i> (Kongt)	215
Atermaninen kappale	210	<i>Copernicus</i> (Kopernikus) ..	49
Atmosferi	103	<i>Crookes</i> (Kruks)	439, 451
Atmosferin paine	105	<i>Coulomb</i> (Kulomb)	346
Atomi	17	Coulomb, sähköyksikkö ..	349
„ lämpö	178	<i>Cuneus</i> (Kuneus)	358
<i>August</i>	228	<i>Curie</i> (Kyrii)	460
Auringon säteily	211	<i>Daguerre</i> (Dageer)	332
<i>Avogadro di Quaregna</i> (Kva- renja)	19, 178	<i>Dalton</i> (Daaltn)	191
<i>Balmer</i>	322	<i>Daniell</i>	370
Barometri	105	<i>Da Vinci</i>	286
„ maksimi	222	<i>Davy</i> (Devi)	167, 467
„ minimi	221	<i>Debierne</i> (Döbiern)	460
<i>Bartholinus</i>	276	Deklinationi, kompassin ..	496
<i>Beaufort</i> (Bofoor)	219	<i>Demokritos</i>	17
<i>Becquerel</i> (Bekrel)	459	Detektori, sähköaallon	442
Becquerel säteet	460	Diatermaninen kappale	210
<i>Bell</i>	488	Diatoninen Dur-asteikko ..	147
<i>Benedetti</i>	43	Dielektrisitetikonstanti ..	349
<i>Bernoulli</i> (Bernulli)	110	Difraktioni	139
Biografi	288	Disharmoniset sävelet	146
<i>Birkeland</i>	475	<i>Dollond</i>	329
<i>Bose</i>	361	<i>Doppler</i>	145, 319
<i>Boyle</i> (Beul)	108	<i>Dulong</i> (Dylong)	170, 177
<i>Bradley</i> (Brädli)	239	Dynamokone, dynamo	416
<i>Bragg</i> (Brägg)	461	Dynamoprinsipi	419
<i>Brahe</i>	53	Dyne, voimayksikkö	50
<i>Braun</i>	440	<i>Edison</i>	155, 288, 469
<i>Brewster</i> (Bruuster)	258	Eetteri	207, 259
<i>Bunsen</i>	236, 315, 370	Ekvivalentipaino	384
<i>Byrgi</i>	47	Ekstravirta	422
<i>Cailletet</i> (Kaj'tee)	195	Elastisiteti	23
Carcellamppu	237	Elektrisiteti	342
<i>Cardano</i> (Kardano)	166	Elektrodi	381
<i>Carnot</i> (Karnoo)	167	Elektrodynamika	405
<i>Cartesius</i> (Kartesius)	104	Elektrofori	362
<i>Caselli</i> (Kaselli)	486	Elektrokemia	474
<i>Cawendish</i> (Käv'ndish)	51	Elektrolysi	381
<i>Cawley</i> (Kävlei)	199	Elektrolyti	381
<i>Celsius</i> (Selsius)	160	Elektrolytinen jakautumis- teoria (dissosiationiteoria)	383
<i>Charles</i> (Scharl)	103, 162	Elektromagnetinen valoteo- ria	446
<i>Clausius</i> (Klausius) ..	110, 168	Elektromotorinen voima ..	368
<i>Chladni</i> (Kladni)	147, 153	Elektroni	351
<i>Colding</i> (Kolding)	8	Elektronien massa	453
<i>Colladon</i> (Kolladong) ..	136, 195		

	Siv.		Siv.
Elektroskopi	345	Galvanometri	403
Elektrostatinen yksikkö ..	348	, jousi-,	373
Elementti, galvaninen	368	, käämi-,	403
, kuiva,	371	, neula-,	403
, termo-,	379	, peili-,	404
Elmin tulet	506	Galvanoplastika	476
Elohopean laajeneminen ..	170	Galvanostegia	476
Elävä voima	35	Gassiot (Gassioo)	449
Emanationi	462	Gauss	50, 481
Emissioniteoria, valon	244	Gay-Lussac (Gä-Lyssac) ..	162
<i>Empedokles</i>	17	Geiger	465
Energia, pillevä	7	Geiseri	190
, toimiva	6	Geissler	321, 449
Energian häviämättömyy-		Geisslerin putki	321, 449
den laki	8	Gelatinilevyt	333
Epäsointuisat sävelet	146	Gramme	417
Ergi, työyksikkö	50	Grammofoni	155
Eristäjävakio	349	Gray, le (lö Gree)	333
Eristävä aine	344	Gregory (Gregori)	295
Eritysteoria, valon	244	Grimaldi	246, 249
Erottamiskyky, silmän ..	302	Gueriche (Gerikke) 112, 114,	342
<i>Euler</i>	147	Gusman	102
<i>Fabritius</i>	332	Gyroskopi	33
<i>Fahrenheit</i> (Farenheit) ...	159	Hajoittamiskyky, aineen ..	330
Parad, sähkövarautumisyk-		Hallwach	448
sikkö	353	Harmoniset sävelet	146
<i>Faraday</i> (Färrede) 195, 349,		Harimann	497
395, 408, 445, 450		Haysky (Oskii)	41
<i>Feddersen</i>	429	<i>Hefner-Alteneck</i>	237, 420
<i>Ferdinand II</i>	159	Hefnerkynttilä	237
<i>Fermat</i> (Fermaa)	37	Hehkulamppu	469
<i>Fizeau</i> (Fizoo)	240, 320	Hehkuvalo	469
Fluoresenssi-ilmiö	335	Heijastuminen, aallon	125
Fonografi	155	, lämmön ..	208
Fosforesenssi-ilmiö	335	, valon	241
Potometri	235	, valon, täyd.	275
<i>Foucault</i> (Fukoo) 49, 240, 263		Heilahdusaika, heilurin ..	46
<i>Franklin</i> (Fränklin) ..	350, 500	Heilahduskulma, heilurin ..	46
<i>Fraunhofer</i>	313	Heijastuskulma, aallon	140
Fraunhoferin viivat	314	Heiluri	46
<i>Fresnel</i> (Frenell)	254, 260	, sekunti-,	48
<i>Fulton</i> (Fultn)	200	, sähkö-,	343
Fysiikka	I	, tasaus-,	173
<i>Galilei</i> 11, 43, 47, 77, 104,		Heilurikello	47
127, 158, 238, 289		Heiluva liike	29
<i>Galvani</i>	366	Heittoliike	54
		Heliostati	266

	Siv.		Siv.
<i>Helmholtz, von</i>	9, 147	Imujuoksutin	115
Hermokalvo	298	Induktioni, elektro-,	411
<i>Herschel, J.</i>	314, 332	„ „, magneto-,	411
<i>Herschel, W.</i>	296	„ „, sähkö-,	411
<i>Hertz</i>	435, 436, 439, 452	Induktionikone	423
Hevosvoima	5	Induktionivirta	409
Hila, valo-opillinen	253	Induseeraava virta	409
<i>Hittorf</i>	451	Inertsian laki	2
Hiusputki	99	Influenssi, magnetinen	394
<i>Holtz</i>	363	„ „, sähköinen,	354
<i>Huggins</i> (Höggins)	326	Inklinationi, magnetin	497
<i>Hughes</i> (Juus)	484, 490	Intensiteti, virran	372
<i>Humboldt</i>	217	Interferenssi, aaltojen	124
Huokoisilmiö	100	„ „, valon	248
Huokoisuus	23	Intervalli	146
Huulitorvi	152	Ioni	382
<i>Huygens</i> (Heugens) ..	49, 245	Ionien liike	385
Hydraulinen puristin	83	Isobari	222
Hydrostatinen paradoksi ..	85	Isogoni	496
Höyry, kyllästetty	185	Isoklini	497
„ „, kyllästämätön	186	Isokronismi, heilurin	46
„ „, ylikuumennettu ..	188	Isoleeraava aine	344
Höyrykone	200	Isotermi	217
Höyrylaiva	200	Isotermiäinen kokoonpuristu-	
Höyryn tiivistäminen	184	minen, kaasun,	135
Höyrystyminen	184	Itseinduktio	422
Höyrystymislämpö	192	<i>Jakobi</i>	476
Ihmisiäni	153	Jatkuvaisuus	2
Ikiliikkuja	6	Johdon lämpiäminen	377
Ilma	103	Johdot, lennätin-,	487
„ „, juokseva	197	Johtaja, ensimmäisen luokan	370
Ilmakehä	103	„ „, toisen luokan	370
Ilmakehän kosteus	226	Johtokyky, lämmön	204
„ „, lämpötila	216	<i>Jolly</i> (Jull)	310
„ „, paine	105	<i>Joule</i> (Dshaul)	8, 377
Ilmalanka	442	Joule, työyksikkö	50
Ilmapallo	102	Jähmettyminen	182
Ilmapumppu	112	Jälkikuva	300
Ilmapuntari	105	Jänteveys, kaasun,	164
Ilmatiede	214	Jänteveyskoeffisientti	164
Ilmiö, fysikalinen	1	Jänteys, sähkön,	351
„ „, Peltierin	378	Jään supistuminen,	181
„ „, valosähkö-,	478	Kaarilamppu	468
Imemiskyky, lämmön,	209	„ „, puhuva,	494
Imeytyminen, kaasun,	26	Kaarivalo	468
Imeytymispektri	318	Kaasujen ominaislämpö ..	177
Impedanssi	432		

	Siv.		Siv.
Kaasujen ominaispaine ..	103	Kilogrammometri	4
„ paino	101	Kimmoisuus	23
„ tiivistäminen ..	195	„ raja	23
Kabeli	487	Kinematografi	288
Kahtaistaittuminen, valon	277	Kinetinen teoria, kaasujen,	110
Kaiku	140	Kipinäpurkaus	364
Kaleidoskopi	268	<i>Kircher</i>	159
Kallistumakulma, magnetin	497	<i>Kirchhoff</i>	315
Kaloria	175	Kirjasinlennätin	484
Kalteva pinta	76	Kirjo	254, 308
<i>Kamerling Onnes</i>	197	Kitka	79
Kanavasäteet	453	<i>Kleist, von</i>	358
Kangastus	337	Koersitivivoima	397
Kapasiteti, lämpö-,	175	Kohereri	437
„ , sähkö-,	352	Kohesionipaine	98
Kaste	231	Kohesionivoima	20
„ piste	228	Kokonaisheijastus	145
Kationi	382	Kokooja, sähkön	391
Katodi	381	Kokoonpuristuvaisuus, ai-	
Katodisäteet	451	neen,	21
Kattila, ilmaton	189	Kollodiumimenettely	333
Kaukoputki	291	Kolmiväripaino	309
„ , Galilein,	292	Kompassi	495
„ , Gregorin,	295	Kompassin poikkeama	496
„ , Herschelin ..	295	„ deklinationi ..	496
„ , maa-,	295	Kompensationiheiluri	173
„ , Newtonin, ..	296	Komplementtivärit	313
„ , triederi-,	292	Komponentti	13
„ , tähtitieteellinen	293	Kondensatori, sähkö-,	359
Kemia	2	Kone	68
„ , sähkö-,	474	„ , yksinkertainen	68
Kenttä, magnetinen,	393	Korkeapainekone	201
Kenttämagneti	416	Korva	155
<i>Kepler</i>	53	Kosketussähkö	369
Kerääjälevy	359	Kosteus, ilman	226
Keskeisliike	55	Kosteuden mittaajat	227
Keskipakoisuusvoima	42	Kristallilinssi	299
Keskusasema, telefoni-, ..	492	Kritillinen lämpötila	194
Kestäväisyys, aineen	22	„ paine	194
Kiehuminen	188	Kromatinen poikkeaminen	331
Kiehumispiste	188	Kruunulasi	327
Kielitorvi	152	Kulmapeili	267
Kieppumisliike	29	Kumu	127
Kiertovaaka	347	Kumutin	148
Kiertovirta	421	Kuoleutumisaika, aineen ..	464
Kiihtyväisyys	31	Kuorma	68
Kiihtyvä liike	31	Kuura	231
Kiila	77	Kuva, linssin antama	284
Kiinnevoima	20	„ , negatiivinen,	333
Kilogramma	40	„ , peilin antama,	226

	Siv.		Siv.
Kuva, positivinen,	334	Läike, kiihtyvä,	31
„ , todellinen,	270	„ , muuttuva,	31
„ , vale-,	266	„ , tasainen,	30
Kyllästetty höyry	185	„ , verrannollinen,	29
Kyllästyspaine	186	„ , värähdys-, 29,	120
Kyllästämätön höyry	186	„ , yhdistetty,	36
Kylmäsekotukset	181	Läike-energia	35
Kymmenysvaaka	75	„ , paljous	33
Kääntövaaka	51	Läikeiden suunnikas	36
Laajeneminen, kappaleen ..	160	Likinäköinen silmä	301
Laajenemiskoeffisientti, ..	163	<i>Linde</i>	196
„ , pituuden, 172		<i>Linssi</i>	280
„ , tilavuuden, 172		„ , kovero,	281
Laki, Arkimedeksen,	91	„ , kristalli-,	299
„ , Boylen,	109	„ , kupera,	281
„ , Brewsterin,	258	„ , värättämätön	331
„ , Daltonin,	191	<i>Lippersheim</i>	291
„ , Gay-Lussacin	162	<i>Lippmann</i>	334
„ , energian häviämättö-		Liukeneminen	25
„ myyden	8	Liukenemispaine	389
„ , jatkuvaisuuden, ..	2	Loistavat lämpösäteet	208
„ , Joulen,	377	Longitudinalinen aaltoliike	120
„ , Lenzin,	412	Lumi	230
„ , Kepplerin,	53	<i>Lumiere</i> (Lymiee)	335
„ , Mariotton,	109	Luode	57
„ , Newtonin,	37	Luonnonvoima	3
„ , Ohmin,	373	Luotiviiva	40
„ , Stevinin,	85	Lämmön heijastuminen ..	208
„ , voimain riippumatto-		„ , imeytyminen	209
„ man vaikutuksen 11		„ , johtuminen	203
Langaton sähköttäminen ..	439	„ , johtokyky, sisällinen, 204	
<i>Langley</i> (Langlei)	326	„ , „ , ulkonainen, 204	
Latenttinen energia	7	„ , nopeus, säteilevän, 208	
<i>Laterna magica</i>	287	„ , taittuminen	211
<i>Leclanche</i> (Löklangschée) ..	370	Lämpö	157
<i>Leewenhoek</i> (Lövenhuk) ..	289	„ , atomi-,	178
<i>Lenard</i> (Lönaar)	452	„ , keski-,	217
<i>Lenz</i>	412	„ , molekyyli-,	178
<i>Leidenfrostin</i> ilmiö	191	„ , muutos-,	388
Levy, tasapintainen,	279	„ , ominais-,	175
Leydenin pullo	359	„ , palamis-,	212
Libelli	82	„ , säteily	207
Läike	28	„ , yksikkö	175
„ , aalto-,	120	Lämpömittari	158
„ , eteenpäin kulkeva, ..	29	„ , helium-,	165
„ , heiluva,	29	„ , maksimi- ja mi-	
„ , heitto-,	54	„ nimi-,	218
„ , hidastuva,	31	„ , metalli-,	173
„ , kieppumis-,	29	„ , vetykaasu-,	165
		Lämpöoppi, mekaaninen, ..	168

	Siv.		Siv.
Lämpösähkö	378	Meri-ilmasto	217
„ pari	379	Merituuli	224
„ virta	379	Metallilämpömittari	173
Lämpötila	158	Meteorologia	214
Lämpövarautumiskyky ..	175	Metrikynttilä	238
Lämpöä läpäisevä	210	Mikrometriruuvi	78
„ läpäisemätön	210	Mikrofarad	353
Maa-asteikko	219	Mikrofoni	490
Maan litistyminen	60	Mikroskopi, yhdistetty	289
„ magnetiset navat ..	498	„ , yksinkertainen, ..	288
„ magnetinen tila	499	Milton	215
„ paino	51	Mittajärjestelmä, absolu-	
„ pyöriminen	49	tinen,	50
Maatuuli	224	Moissan (Moasang)	473
Maddox	333	Molekyli	19
Magdeburgin puolipallot ..	114	„ lämpö	178
Magneti	392	„ virta	406
„ , astatinen,	405	„ voima	20
„ , keinotekoinen, ..	392	Molekyylien liike kaasui- ssa	111
„ , luontainen,	392	Monsuni	224
„ , pysyvä,	395	Montgolfier (Mongolfiee) ..	103
„ , sähkö-,	396	Morse	443, 482
„ , tilapäinen,	395	Morsen kone	443, 482
„ , vapasuuntainen, ..	405	Mussenbrock, van (fan Mös- senbruk)	358
Magnetinen influenssi ..	394	Muutoslämpö	388
„ kenttä	393	Muuttaja, virran	421
„ vastus	397	Napa, magnetin	393
Magnetiset navat, maan, ..	498	Natterer	195
„ myrskyt	499	Nernst	471
Magnetismin luonne	406	Nesteen hajoittuminen säh- kövirralla	381
Magnetoimiskäämi	396	„ pinta astian seinän läheisyydessä ..	96
Magnetoinduktio	411	Nesteiden keihumispi- ste ..	192
Maksimi- ja minimilämpö- mittari	218	„ tasapaino	81
Malus (Malyy)	256	New-Comen (Nju-Komen) ..	199
Mannerilmasto	217	Newton (Njuutn) 11, 37, 243, 244, 296, 307, ..	329
Manometri	111	Nicol (Nikol)	279
Marconi (Markoni)	439	Nicolin prisma	279, 445
Mariotte (Mariott)	109	Niépce (Nieps)	333
Massa, kappaleen	50	Normaliliekki	237
Materia	1	Nostopilli	116
Maurolykus	281	Näköhairahdus	305
Mayer (Maier) 8, 167,	201	Näköpurppura	299
Maxwell	110, 446	Ohm	373
Megohmi	375	Ohmi, vastustusyksikkö, ..	374
Mekaninen lämpöoppi	168		
Mendeleeff	322		
Mercator (Merkator)	497		
Meriasteikko	219		

	Siv.		Siv.
Ominaislämpö	175	<i>Pfaff</i>	42
„ „ , kaasujen ..	177	<i>Pictet</i> (Piktee)	195
Ominaispaine	93, 94	Pigmentti	298
„ „ , kaasujen ..	103	Piilasi	327
Ominaisvastustus	374	Piilevä energia	7
Osavoima	13	Pikalennätin	486
Osmotinen paine	388	Pilvet	229
Osramlampu	471	Pimeät lämpösäteet	207
<i>Pacinotti</i>	417	Pinta, kalteva	76
Paine, atmosferin,	105	Pintakiinnevoima	24
„ -keskus,	89	Pitkänäköinen	301
„ „ , kohesioni-,	98	<i>Pixii</i>	416
„ „ , korkeus	84	<i>Plato</i>	77
„ „ , kyllästys-,	186	<i>Plücker</i> (Plykker)	449
„ „ , liukenemis-,	389	Pohjapaine, nesteen	85
„ „ , osmotinen,	388	Poikkeama, kompassin ..	496
„ „ , pohja-, nesteissä ..	85	Poistovoima	20
„ „ , sivullepäin „ ..	89	Polarisationi, valon	256
Paineen leviäminen	83	„ „ kulma	258
Paino, kaasujen	101	„ „ , virta	398
Paino, kappaleen	62	Polariseerattu valo	261
Painopiste	62	Poli, elementin	368
Painovoima	39	„ „ , magnetin	393
Painovoiman kiihtyväisyys	44	<i>Pollak</i>	486
Painoyksikkö	40	Polttopiste, peilin	269
Palaminen	212	„ „ „ linssin	283
Palamislämpö	212	Polttoväli, peilin	269
Palloaberrationi	283	„ „ „ linssin	283
Pallopoikkeaminen	283	<i>Popoff</i>	440
Pantelegrafi	486	<i>Porta, della</i>	286
<i>Papin</i> (Papeng)	198	<i>Poulsen</i>	493
Parabeli	54	Prisma, akromatinen, ...	331
Pasadituuli	223	„ „ , kokonaisheijastava	276
<i>Pascal</i> (Paskall)	83	„ „ „ valo-opillinen ...	280
Peili	265	„ „ „ värittämätön ...	331
„ „ , kovero-,	269	Prismayhdistys, suoraan-	
„ „ , kulma-,	267	hajoittava	327
„ „ , kupera,	271	Puhe	154
„ „ „ pallo-,	268	Puhelin	488
„ „ „ tasainen,	265	Puhetorvi	142
Peilin akseli	269	Puhuva kaarilamppu ...	494
„ „ aukeama	269	Pumppu, ilma-,	112
„ „ keskipiste	269	Pumppu, vesi-,	114
„ „ pää-akseli	269	Puntari	73
<i>Peltier</i> (Peltiee)	378	Putousliike	43
Pendeli	46	Putousputki	45
<i>Perier</i> (Periee)	200	Pythagoralainen säveljakso	147
Perpetuum mobile	6	Pyörrevirta	422
<i>Petit</i> (P'ti)	170, 177	Päällekkäisperuste	124
		Päävirta	409

	Siv.		Siv.
Radioaktiivisuus	460	<i>Saussure</i> (Sossyyr)	227
Radium	460	<i>Scheele</i>	332
Radiumsuolojen lämpö ...	465	<i>Scheiner</i>	320
Radiumsäteet	461	<i>Schmidt</i>	460
Raja, kimmoisuus-,	23	<i>Schultze</i>	332
Rajakulma, nesteen pinnan	97	<i>Secci</i> (Szekki)	49
„ , valon taittumisen	275	Seisova aaltoliike	129
Rajalämpötila	194	Sekoittuminen, aineiden, ..	26
Rajapaine	194	Sekuntiheiluri	48
Rakeet	230	Seljapuu	343
<i>Ramsay</i> (Ramsee)	463	Sentraliliike	55
<i>Ramsden</i>	361	Sentrifugalivoima	42
Rautatiet	200	Sentripetalivoima	55
„ , sähköiset,	479	Seuravirta	422
<i>Réaumur</i> (Reomyyr) ...	159	<i>Siemens, von</i> (Simens, fon)	419, 486
<i>Regnault</i> (Renjool) ..	110, 178	Sifoni	115
<i>Reiss</i>	488	Siirtäjä	483
Repulsionivoima	20	Silmä	298
Resonanssi	127	Silmäterä	299
Resonatori	148	Silmäteränkalvo	299
Resultantti	13	Sireni	137
Revontulet	506	Sivusäde	276
<i>Rey</i> (Rei)	159	Sivuvirta	409
<i>Richer</i>	48	<i>Slaby</i> (Slabi)	440
<i>Righi</i> (Rigi)	437	<i>Snell van Royen</i> (fan Roi-	
<i>Ritchie</i> (Rittshi)	416	jen) (<i>Snellius</i>).....	243
<i>Roberval, de</i> (Roberval, dö)	37	<i>Soddy</i> (Soddi)	463
<i>Robinson</i>	220	Sointikuvio	153
<i>Rowland</i> (Rauländ)	253	Sointu	147
<i>Ruhmkorff</i>	425	Sointuisat sävelet	146
<i>Rumford</i> (Römf'rd)	166	Soittokoneet	149
<i>Rutherford</i> (Röterf'rd	218,	Solenoidi	399
236, 461, 465		Sovittamiskyky	301
Ruumiin lämpö	213	Spektralianalyysi	315
Ruuvi	77	Spektri,	254, 308
„ , mikrometri-,	78	„ , absorbtioni-,	318
„ , päättymätön,	78	„ , imeytymis-,	318
<i>Römer</i>	239	„ , viiva-,	316
<i>Röntgen</i>	454	„ -viivojen luku 322, 323	
Röntgenin säteet	454	„ „ säännöllisyys	322
Sade	229	„ , vyö-,	323
Salama	501	„ , ultrapunainen, ..	324
Samakallistumakäyrä ...	497	„ , ultrasinipunerva, ..	324
Samalämpöisyyskäyrä ...	217	„ , yhtenäinen,	313
Samapaineiskäyrä	222	Spektroskopi	326
Samapoikkeuskäyrä	496	Spesifiikkilämpö	173
Sarveiskalvo	298	„ , paino	93
Sateenkaari	338	<i>Steinheil</i>	482
Sateenmittaaja	229	<i>Stephenson</i> (Stiivensn) ...	200

	Siv.		Siv.
Stereoskopi	303	Sähköiset rakeet	358
<i>Sterneck</i>	42	Sähkön luonne	350
<i>Stevin</i>	83	„ mittaaaja	480
<i>Strömer</i>	160	„ tiheys	353
<i>Sturgeon</i>	395	Sähköttäminen, langaton ..	439
<i>Sturm</i>	136	Säteilykyky, lämmön,	209
Suihkupurkaus	364	Sävelen korkeus	137
Sukulaisuus, kemiallinen, ..	20	„ kovuus	137
Sulaminen	178	„ sointi	147
Sulamislämpö	179	Säveljakso	147
Sulamispiste	179	Sävelet, epäsointuisat,	146
Sumu	229	„ , sointuisat,	146
Superpositioniprinsipi	124	Sääkartta	231
Suunnikas, liikkeiden,	36	<i>Talbot</i>	314
„ , voimien,	13	Taikalyhty	287
Suurennsulasi	288	Taipuminen, aallon,	139
Syklooni	222	„ , valon,	247
<i>Symmer</i>	350	Taite-eksponentti ..	145, 273
Synoptinen kartta	231	Taitekulma, aallon,	144
Säde, aallon leviämisen, ..	139	„ , valon,	274
„ , sivu-,	276	Taittava kulma, prisman, ..	280
„ , varsinainen,	276	Takaisku, salaman,	506
Sähkö	341	Talja	70
„ aallot	430	Tangentsialivoima	55
„ , hankaus-,	342	Tasainen liike	30
„ heiluri	343	Tasapaino, epävakaa,	65
„ induktioni	411	„ , nesteiden,	30
„ influenssi	354	„ , vakaa,	64
„ jäljennös	476	Tasapintainen levy	279
„ kello	411	Telaratas	70
„ kemia	474	Telefoni	488
„ koneet	361	Telegrafi	481
„ , kosketus-,	369	Telegrafoni	493
„ lennätin	481	Teleskopi	291
„ magneti	396	Telkin	77
„ motori	478	Termoelektrinen virta	379
„ , negatiivinen,	343	Termometri	158
„ näytin	345	<i>Tesla</i>	433, 444
„ pari	368	Teslavirta	433
„ , positiivinen,	343	<i>Thales</i>	342
„ turbini	354	<i>Thilorier</i> (Tiloriee)	195
„ uuni	473	<i>Thompson</i> (Toms'n)	166
„ valo	467	<i>Threfall</i>	439
„ varaus	346	Tiivistäminen, höyryn, ..	193
„ varautumiskyky ..	352	„ , kaasun ..	195
„ virta	367	Tislaus	193
„ virran vaikutus mag- netiin	400	<i>Torricelli</i> (Torritselli)	185
„ värähdys	428	Transformatori	421, 423
Sähköiset kellot	358	Transmutationi, aineen, ..	463

	Siv.		Siv.
Transversalinen aaltoliike..	122	Valon kemiallinen vaikutus	332
Triederikaukoputki	292	„ kirkkaus	238
Tulokulma, aallon,	140	„ leviäminen	233
„ „, valon,	274	„ mittaajat	235
Tulosvoima	13	„ nopeus	238
Turbini	90	„ taipuminen	247
„ „, sähkö-,	354	„ taittuminen	242
Turmalini	256	„ voimakkuus	234
Tuulet	219	Valoteoria, elektromagneti-	
Työ	4	nen	446
„ „, sisäinen,	169	Vapauttajamagneti	405
„ yksikkö	4	Varaamislevy	359
„ „ „, absoluuttinen,..	50	Varjo	233
Työkyky	5	Varsinainen säde	276
Töpler	362	Vastakatodi	455
Ukkonen	500	Vastasyklooni	222
Ukkosen jyrinä	502	Vastavaikutus, voiman, ..	10
„ „ johtaja	505	Vastus, magnetinen,	397
Ulkopunainen spektri	324	Vastus, ominais-,	374
Ulkosinipunainen spektri ..	324	Watt (Wott)	200
Undulationiteoria, valon,..	245	Watt, työkyvynyksikkö, ..	50
Uppovaaka	195	Wattitunti	480
Uranisäteet	460	Weber	481
Uudestaan jäätyminen	180	Wehnelt (Wenelt)	426
Vaaka	72	Welsbach, von	467
„ „ herkkä,	75	Venymiskoeffisientti	171
„ „ kierto-,	347	Verrannollinen liike	29
„ „ kymmenys-,	75	Vertapaino	384
„ „ kääntö-,	51	Vesi-aallot	123
„ „ oikea,	75	Vesihöyryn jäntevyys	187
„ „ Roomalainen,	74	Vesijohto	87
„ „ sentesimalli-,	76	Vesipuristin	83
„ „ vesi-,	82	Vesivaaka	82
Wagner	410	Veturi	200
Wagnerin vasara	410	„ „, sähköinen,	479
Vaihtovirta	410	Wimshurst	362
Vaikutuspallo	21	Winkler	361
Valaisuvoima	235	Vipuvarsi	71
Valekuva	266	Virag	486
Wall	500	Virrankatkaisijat	426
Valo, positivinen,	450	Virsikannel	149
Valokuvaus	332	Viviani	104
Valokuvauskone	286	Vogel (Fogel)	326
Valosähköilmiö	448	Voima, adhesioni-,	24
Valon heijastuminen 24I, 264		„ „, elektromotorinen, ..	368
„ „ „, täydellinen, ..	275	„ „, elävä,	35
„ „ interferenssi	248	„ „, kiinne-,	20
„ „ kahtaistaittuminen 277		„ „, koersitivi-,	397
		„ „, kohesioni,	20
		„ „, molekyyli-,	20

	Siv.		Siv.
Voima, paino-,	39	Värähdysluku	121
„ , pintakiinne-,	24	Värähdyssolmu	129
„ , poisto-,	20	Värähdysteoria, valon, ..	245
„ , repulsioni-,	20	Värähtelevä purkaus	429
„ , sentrifugali-,	58	Väräjäminen, äänen,	148
„ , sentripetali-,	55	Yhdistetty liike	36
„ , tangentsiali-,	55	Yhtenäinen spektri	316
„ pari	16	Yhtyvät astiat	87
„ viiva	4	Yksikkö, elektrostatinen,	348
„ „ , magnetinen, 393		„ , jännteuseron,	353
Voimain hajoittaminen ..	11	„ , lämpö-,	175
„ riippumattoman		„ , massa-,	50
vaikutuksen laki ..	11	„ , paino-,	40
„ yhdistäminen ..	12	„ , työn,	4
Voiman paikka	3	„ „ , absolutinen, 50	
„ suunta	4	„ , työkyvyn,	5
„ suuruus	3	„ , vastustus-,	373
„ vastavaikutus ..	10	Yleislennätin	486
Voimakkuus, sähkövirran,	372	Ylikuumentettu höyry ..	188
„ „ , valon,	234	Yliäänet	150
Voimien suunnikas	13	Young (Jöng) .. 247, 260, 311	
Wollaston (Wullest'n)	314	Zeeman	447
Volta	362, 367	Zeemanin ilmiö	447
Voltmetri	385	Zeiss	292
Voltmetri	404	X-säteet	454
Voltti, jännteuseron yksikkö,	353	Äänen etenemisnopeus	
Vuoksi	57	ilmassa 135	
Vyöhykkeet, ilmasto-,	218	„ „ , nesteissä	136
Vyöspektri	323	„ „ , kiinteissä aineissa	140
Väkäpaineekone	201	„ heijastuminen	140
Väkipyörä	68	„ taittuminen	142
Välkevalo, negatiivinen, ..	450	„ väräjäminen	148
Väri	246, 249, 307	Ääni	133
„ , kappaleen,	311	Äänirauta	153
„ „ , komplementti-,	313	Örsted	399, 480
Värien valokuvaus	334		
Värilevy	310		
Värisokeus	311		
Värähdyskupu	129		
Värähdysliike	29		

Näköispainos, Kvs-säätiön Arkisivistyksen digikirjasto

Digitoitu Suomen tiedekustantajien liiton Kopiosto-korvauksista myöntämällä apurahalla.

Alkuperäinen julkaisu:

Fysiikka / kirjoittanut P. A. Heinricius. Sisältää 301 kuvaa tekstissä ja 4 värillistä taulua. [Kansanvalistusseuran luonnontieteellinen kirjasto ; 7] (Helsingissä : Raittiuskansan Kirjapainossa, 1911–1912)

Heinricius, Petter (Pekka) August, 1863–1937

YKL 53

aine; fysiikka; kaasut; oppikirjat; valo

ISBN 978-952-7533-08-6

URN:ISBN:978-952-7533-08-6



Kvs-säätiö (Kansanvalistusseura sr)
Helsinki 2022