JOH. KLEIBER.

Füüsika ôpiraamat

keskkoolidele.

Praktiliste ülesannete ja 732 joonisega.

Autori lubatud tõlge.

Laiendatud väljaande järele tõlkinud
AL. KUUSIK,
Tallinna Linna Poeglaste Gümnaasiumi direktor.

TALLINN,
EESTI A.-S. "MURAVEI".

Tartu
Ülikooli

A-34520

JOH. KLEIBER.

Füüsika ôpiraamat

keskkoolidele.

Praktiliste ülesannete ja 732 joonisega.

Autori lubatud tôlge.

Laiendatud väljaande järele tôlkinud

AL. KUUSIK,

Tallinna Linna Poeglaste Gümnaasiumi direktor.

1A
37309
POLLUMAJAND RIISTADE JA MASINATE INSTITUUT
TARTU ÜLIKOOLI
25/12
534
Tartu Ülikooli
N 402
165 R
11/22

TALLINN,
EESTI A.-S. "MURAVEI".

Käesolev õpiraamat on E. V. Haridusministeeriumi kooli osakonna poolt 19. VII. 1922. Nr. 22487. keskkooli füüsika õpiraamatuna väga soovitavaks ja tarvilikuks peetud.

2
Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu
89420

Gedruckt im Bibliographischen Institut in Leipzig

Tôlkija poolt.

Eesti A.-S. "Muravei" ettepanekul vôtsin käesoleva füüsika ôpiraamatu — **Lehrbuch der Physik,** erweiterte Ausgabe für realistische Schulen, Gymnasien und Realgymnasien, bearbeitet von **Joh. Kleiber,** Oberstudienrat an der städtischen höheren Handelsschule in München, 11. Auflage (31.—34. Tausend) — tôlkimise oma hooleks, soovides sellega Eesti koolile ja ôppiva noorsoole abiks olla füüsika kursuse omamisel.

Ôpiraamat on nii seatud, et kôlbab igasuguste keskkoolide tüüpidele ja vôimaldab ôpetajaile tarbe- ja soovi korral lühendusi teha, kui ka vähema tähtsusega osasid välja jätta. Kirjeldus kannab üldist laadi, on kokkuvôtlik ja nôuab asjasse süvenemist, mis looduse nähtuste uurimisel tingimata tarvilik. Asjata jôukulutamist ära hoides, olen ümberpanekus môned üksikud kôrvaltähtsusega kohad välja jätnud. Kursuse läbivôtmine selle ôpiraamatu abil on arvatud laboratoorne, milles soovitatud katsed niivôrd lihtsad korraldada, et nad kellegile raskusi ei peaks sünnitama. Sarnane füüsika ôpetamine vastab täieliselt töökooli põhimôttele. Sellepärast vôib käesolevat füüsika ôpiraamatut ka algkoolis ôppeabinôuna kasulikult tarvitada.

Tallinnas, 1922.

Sisu

Sissejuhatus. lhk.

§ 1. Kehade üldomadused 1
§ 2. Füüsika ülesanne 3
§ 3. Tähtsamad môôduüksused 4
§ 4. Ruumala (maht) 6
§ 5. Kehade kaal 7
§ 6. Vedeliku kaalud. Manomeeter 12
§ 7. Vedru-kaalud 13
§ 8. Töö 16

Soojus.

§ 9. Paisumine 18
§ 10. Temperatuuri môôtmine . 18
§ 11. Kindel-kehade paisumise môôtmine 22
§ 12. Vedelikkude paisumine .. 25
§ 13. Gaaside paisumine 26
§ 14. Boyle-Mariotte-Gay-Lussaci seadus 28
§ 15. Ôhk-termomeeter 30
§ 16. Soojuse üksus. Erisoojus 31
§ 17. Soojuse allikad 34
§ 18. Sulamis-punkt. Sulamissoojus 36
§ 19. Keemis-punkt 38
§ 20. Auramis-soojus 40
§ 21. Küllastatud ja ülekuumendatud aur 42
§ 22. Gaasi ja auru vahe 42
§ 23. Aurumasin 43
§ 24. Gaasi adiabaatiline kokkurôhumine 48
§ 25. Gaaside vedeldamine 49
§ 26. Soojuse laialilagunemine . 50

Ilmateadus.

§ 27. Temperatuuri jaotus 53
§ 28. Ôhu niiskus 54
§ 29. Ilmakaardid 57

Magnetism. lhk.

§ 30. Magneti tundemärgid 61
§ 31. Molekulaar-magnetid 63
§ 32. Môju-magnetism 64
§ 33. Jôujooned 65
§ 34. Kehade omadused magneti väljas 67
§ 35. Maakera magnetism 68

Hôôrumise elekter.

§ 36. Elektrilise oleku tundemärgid 72
§ 37. Elektri hulga üksus 75
§ 38. Elektri asupaik 76
§ 39. Elektri pinge 77
§ 40. Môju-elekter 80
§ 41. Elektrofoor 82
§ 42. Hôôrumis-elektri masin .. 83
§ 43. Môju-elektri masin (influents-masin) 84
§ 44. Katsed elektrimasinaga .. 85
§ 45. Kondensaator 86
§ 46. Elektri nivoo-pinnad 89
§ 47. Pikne ja piksevarras 93

Galvanism.

§ 48. Volta element 95
§ 49. Galvani elemendid 98
§ 50. Elektri voolu tekkimine .. 99
§ 51. Voolu tegevus magnetnôela peale 100
§ 52. Voolu magnetiline väli ... 102
§ 53. Voolu tugevuse môôtmine 103
§ 54. Elektromagnet 105
§ 55. Elektri-kell 106
§ 56. Telegraaf 107
§ 57. Voolu liikumine magneti väljas 109
§ 58. Voolude enesevaheline tegevus 112

lhk.

§ 59. Elektrolüüs 113
§ 60. Tarvitamine tehnikas 114
§ 61. Keemiline voolu tugevuse mõõtmine 115
§ 62. Polarisatsioon-vool. Akkumulaator 117
§ 63. Elementide keemiline käik 119
§ 64. Reostaadid. Ohm 120
§ 65. Ohm'i seadus. Volt 124
§ 66. Elementide ühendamine . 126
§ 67. Ohm'i seadus juhi osades 127
§ 68. Voolu harunemine 129
§ 69. Joule'i soojus. Watt ... 132
§ 70. Elektri-voolu soojuse tehniline tarvitamine 134
§ 71. Termoelekter 136

Induktsioon.

§ 72. Induktsioon 138
§ 73. Eneseinduktsioon 140
§ 74. Induktor 141
§ 75. Telefon ja mikrofon 143
§ 76. Dünamomasin 144
§ 77. Vahelduva voolu dünamomasin 147
§ 78. Umformer ja töö edasiandmine 148

Mehaanika I osa.

Kindlate kehade mehaanika.

§ 79. Absoluutne mõõdustik .. 150
§ 80. Ühtlane liikumine 150
§ 81. Kiirenev liikumine 152
§ 82. Vaba langemine 154
§ 83. Otse alla ja üles visatud keha liikumine 155
§ 84. Jõud ja kiirendus 156
§ 85. Liikumise energia 158
§ 86. Energia alalhoidmine ... 160
§ 87. Kahe jõu ühendamine .. 162
§ 88. Mitme jõu ühendamine, kui neil rakenduspunkt ühine 166

lhk.

§ 89. Liikumiste ühendamine . 167
§ 90. Viltu viske 167
§ 91. Kaldpind 169
§ 92. Langemine ja viske kaldpinnal 170
§ 93. Kiil 172
§ 94. Jõud ühes tasapinnas .. 172
§ 95. Paralleelsete jõudude ühendamine 174
§ 96. Kang 176
§ 97. Pöör ja rataste ühendus 179
§ 98. Köis, plokk, plokkide süsteemid 181
§ 99. Kruvi 183
§ 100. Raskuspunkt 185
§ 101. Tasakaal ja kindel seis . 188
§ 102. Ühepikkuste õladega kaalud 190
§ 103. Kiirkaalud. Kümnendkaalud 192

Tiirlemine.

§ 104. Nurga-kiirus 193
§ 105. Ühtlane ringjooneline liikumine 193
§ 106. Püsivus tiirlemisel 197
§ 107. Keskliikumine. Planeetide liikumine. Gravitatsiooni leidmine 199
§ 108. Harmooniline võnkuv liikumine 203
§ 109. Pendel 204
§ 110. Püsivuse moment 207
§ 111. Liikumise hulk ja impuls 209
§ 112. Üldised kehade liikumised 212
§ 113. Elastsus ja tugevus 213

Mehaanika II osa.

Vedelikud.

§ 114. Rõhu edasiandmine 217
§ 115. Rõhumine põhja peale .. 219
§ 116. Rõhumine külje peale .. 221
§ 117. Altrõhk 222

lhk.

§ 118. Ujumine 225
§ 119. Erikaalu leidmine 227
§ 120. Molekulaar-jõud vedelikkudes 230
§ 121. Väljavoolamise kiirus .. 232
§ 122. Vesimootorid 235

Mehaanika III osa.

Gaasid.

§ 123. Gaaside omadused 238
§ 124. Atmosfääri õhurõhu mõõtmine 239
§ 125. Gaasi-rõhu mõõtmine .. 242
§ 126. Tõstetoru. Sifoon 242
§ 127. Veepumbad 244
§ 128. Heron'i pudel 245
§ 129. Kraaniga õhupump 246
§ 130. Teised õhupumbad 250
§ 131. Altrõhk õhus 250
§ 132. Gaaside molekulaar-omadused 253
§ 133. Õhuvoolu imemise tegevus 254

Lainte õpetus.

§ 134. Lainte tekkimine 255
§ 135. Põiklained 257
§ 136. Pikilained 259
§ 137. Töö edasikandmine laintega 260
§ 138. Interferents 260
§ 139. Isesugustes võnkumispindades olevate lainte interferents 262
§ 140. Lainte peegeldus (refleksioon) 264
§ 141. Huygensi printsiip 265

Hääl (akustika).

§ 142. Hääle laialilagunemine . 267
§ 143. Heli kõrgus 270
144. Obertoonid, helivärv, konsonants 272

lhk.

§ 145. Heli allikad 273
§ 146. Resonants 277
§ 147. Interferents. Heljumised 278
§ 148. Doppleri printsiip (1848) 279
§ 149. Rääkimise ja kuulmise orgaanid 279

Valgus (optika).

§ 150. Valguse laialilagunemine 282
§ 151. Valguse kiirus 284
§ 152. Valguse tugevuse mõõtmine. Fotomeetria 286
§ 153. Valguse-kiire peegeldus . 289
§ 154. Tasapinnaline peegel ... 290
§ 155. Nõgus-peegel 292
§ 156. Kumer-peegel 296
§ 157. Valguse-kiire murdumine 298
§ 158. Täielik peegeldus 301
§ 159. Paralleelsete tasapindadega piiratud kiht 302
§ 160. Optiline prisma 303
§ 161. Läätsad 305
§ 162. Läätsa kujutised 307
§ 163. Kaks läätsa (läätsapaar) 310
§ 164. Dispersioon (värvide hajumine) 311
§ 165. Akromaatilised prismad ja läätsad. Läätsade vead 316
§ 166. Kehade värv. Valguse moondumised 318
§ 167. Vikerkaar. Vanikud ... 319
§ 168. Projektsioon-aparaat ... 320
§ 169. Päevapildi-aparaat 321
§ 170. Silm 322
§ 171. Vaatenurk. Suurendusklaas 326
§ 172. Mikroskoop 327
§ 173. Pikksilm 328
§ 174. Peegel-teleskoop 331

Valguse-lainte teooria.

§ 175. Valguse olu 333
§ 176. Valguse interferents ... 333

lhk.

§ 177. Diffraktsioon 336
§ 178. Valguse polarisatsioon .. 338
§ 179. Kaksimurdumine 340

Soojuse ja elektri kiirgamise nähtused.

§ 180. Kiirgav soojus 343
§ 181. Elektri kiirgamine. Tühjendamise nähtused 344
§ 182. Elektri lained 348
§ 183. Katood-toru 353

lhk.

Lisa.

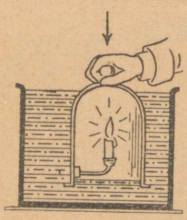
Galilei 355
Kepler 356
Otto v. Guericke 357
Isaac Newton 357
Georg Simon Ohm 358
Michael Faraday 358
Robert Mayer 358
Hermann v. Helmholtz 359
Aja-tabel 360

Sissejuhatus

§ 1. Kehade üldomadused.

1. Aine mõiste. See, millest keha koos seisab, nim. aineks (gips, kivi, puu). Aine põhiomaduseks on ruumitarvitamine. Kus osake ainet juba on, seal teist ainet sel samal ajal olla ei või (aine läbitungimatus).

Seina löödud nael; kus nael, seal ei ole puud. — Kui klaas kummuli vette panna, siis tungib vett temasse õige vähe, sest et klaasis olev õhk ruumi tarvitab (J. 1). (Küünal kustub klaasis varsti. Tarvitamine tuukritöödes.) Kui vett kitsa trehtri läbi pudelisse valada ja trehter pudeli kaelas tihedalt kinni on, siis jääb vesi varsti trehtrisse seisma, sest pudelis olev õhk välja ei pääse, et veele ruumi anda. (J. 2.)



J. 1. Tuukri kell.



J. 2. Vesi ei jookse.

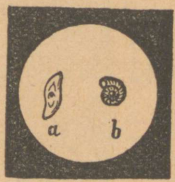
Keha ruumalaks on ruumi osa, mida keha oma alla võtab.

2. Jagatavus. Mõnda kindlat keha on võimalik noa, viili ehk haamri abil osakesteks lahutada, mis tihti õige pisukesed.

Jahu. — Õhus heljuvad tolmu-kübemekesed (päikese tolm). Lubi seisab koos pisielukate kestadest — diatomeed (J. 3a). Meremuda koosseis on mikroskoobiliste teo- ja konnakarpide kihid (J. 3b).

Iseäranis peene jaotuse saab, kui ainet vees lahutada ehk auruks muuta.

Terake fuksiini värvib ämbri täie vett punaseks. Mis on kampferi, nelgilõhn?

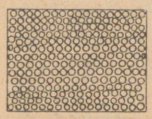


J. 3.
Väikesed osakesed.

3. Moleküül. Oletatakse, et jagatavusel on piir (oletus, hüpotees). Kõige väiksem keha osake, millest aine koos seisab ja millel kõik aine omadused, nim. selle aine moleküüliks. Moleküülid on n. n. aine ehituskivid.

a) Thomsoni arvamise järele on mm ulatusel 1 miljon õhu moleküüle. — b) Et kehade kokkusurutavust seletada, oletatakse, et moleküülid ei püsi paigal, vaid on alati võnkuvas liikumises, nagu kihulaste parv. — d) Paisuks

klassituba maakera suuruseks, oleks õhu moleküülide liikumispiirkond alles nööpnõela pea suurune (J. 4). e) Molekküüle ei või ka kõige parema mikroskoobi abil näha, sest asju, mille suurus vähem kui $^1/_{10\,000}$ mm, Jena prof. Abbe tõenduse järele mikroskoop enam ei selgita.

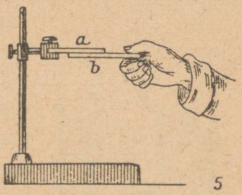


J. 4. Pilt Thomsoni järele.

4. a) Kohäsioon. Et nööri katki tõmmata, on vaja jõudu. Sellepärast arvatakse, et keha molekküülide vahel **kooshoid** ehk ligitõmbe jõud peab olema. Seda jõudu nim. kohäsiooniks.

b) Adhäsioon. Kui märg kruus paberilehe peale panna, siis kleebub paber kruusi külge kinni. Tähendab, ka kahe isesuguse keha molekküülide vahel peab külgehakkavus olema. Jõudu, mis kahe isesuguse keha kokkupuutumisel ilmub, nim. adhäsiooniks.

Katse külgehakkavate platetega (märjakstehtud platte a külge hakkab plate b kinni; J. 5). Tubaka lõhn jääb riietele kauaks ajaks juure. — Kirjutamine, liimimine ja jootmine põhjenevad adhäsiooni nähtusel.

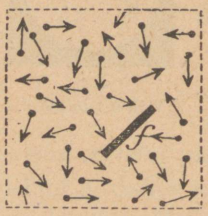


J. 5. Külgehakkamis-platted.

5. Kolm keha olekut. Kehad on molekküülide kogud, mida kohäsiooni jõud koos hoiab. Kohäsiooni jõu tugevuse järele on kehad kas kindlas, vedelas ehk gaas-olekus.

a) **Kindlas** olekus on keha osakeste kooshoid nii suur, et tal oma kuju ja suurus on.

b) **Vedelas** olekus on keha osakesed nõrga kooshoiu tõttu kergesti liikuvad; sellepärast on vedelal kehal küll kindel ruumala, kuid muutlik kuju.



J. 6. Gaas.

Väikesed vedeliku kogud on kooshoiu mõjul kerakujulised (elavhõbeda tilgad). Suuremal hulgal omab vedelik osakeste raskuse tõttu selle nõu kuju, milles ta asub, ja kujutab pealt poolt kaalus tasapinna (vedeliku peegelpind).

d) **Gaaskehadel** mingisugust kooshoidu ei ole; nende osakestel on vastupidine tung, „ekspansioon", laiendada endid terves ruumis, mis neile kättesaadav. Gaasolekus oleval kehal ei ole kindlat kuju, ega kindlat suurust.

Kui gaasikraani toas avada, siis tundub varsti igas nurgas väljavoolava gaasi lõhna. Gaasi molekküülid lendavad igasse külge kui püssist lastud haavlid

(J. 6). Selle juures pôrkavad nad üks teisega ja seintega kokku, ning püüavad alati suuremat ruumi oma alla vôtta. Ainult kinnises nôus vôib gaasi alal hoida.

Gaasi moleküülide pôrkamine nôu seinte vastu sünnitab rôhumist nende peale (gaasirôhumine, ôhurôhumine).

6. Kokkusurutavus. Gaase vôib väga tugevasti kokku suruda, mille tagajärjel nende rôhumine seinte peale suureneb. Seda näitab ôhkpüss (J. 7). (Kartuli-püss, lups-püss.)



J. 7. Ôhkpüss.

Kui temas ôhku tugevasti kokku suruda, siis suureneb ôhurôhumine nii, et korgi p kaugele välja viskab.

§ 2. Füüsika ülesanne.

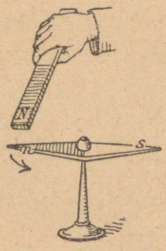
1. Looduse nähtuseks nim. iga muudatust, mis mônes kehas ilmsiks tuleb. Tehakse vahet nähtuste vahel:

a) milles aine muutub. Nende uurimine allub keemiale.

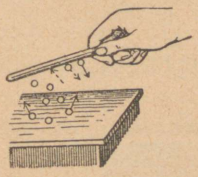
Paberi pôlemine. Raua rostetamine. Aiavilja mädanemine.

b) milles keha aine muutmataks jääb, muutub ainult selle koht vôi olek. Niisuguste nähtustega teeb tegemist füüsika. Praegusel ajal jagatakse füüsikalised nähtused kuute liiki.

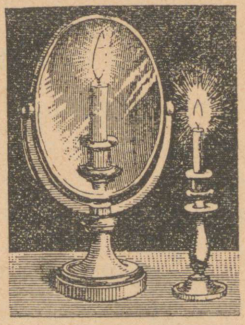
1. **Liikumise** nähtused (pendli vônkumine).
— 2. **Soojuse** nähtused (ôhu kuumendamine



J. 8. Magnet.



J. 9. Paberi tükid hüppavad.



J. 10. Nôgus peegel.

mônes nôus. J. 47). — 3. **Magneti** nähtused (kudumise varda magnetiseerimine ja lähenemine sellega magnet-nôelale; J. 8). — 4. **Elektri** nähtused (hôôru villase riide ehk karvase nahatükiga mônda eboniidist asja: asi hakkab paberi tükikesi ligi tômbama. J. 9). — 5. **Heli** nähtused (puhu klaastoru ääre peale!). — 6. **Optilised** nähtused (vaatle valgust nôgus-peeglis! J. 10).

2. Looduse seaduste leidmine. Palju nähtusi allub mõõtmisele. Mida võib mõõta võnkuva pendli juures? Vastus: pendli pikkust l, võnkuva keha raskust p, ühe võngu väldet t.

a) Looduse uurija püüab selgeks teha, kuidas mõne tingimise muudatus nähtuse peale mõjub.

Seda võib suuremalt jaolt kavakindlalt korraldatud katsete tegemisega kätte saada. Niisugustele katsetele pani aluse Galilei (1564—1642).

b) **Looduse seadus leitakse,** kui nähtuse kahe rea arvude vahel matemaatiline rippuvus on selgeks tehtud.

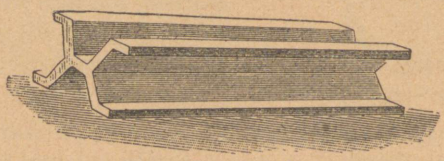
Planeet	Pöördumisaeg	Kaugus päikesest
Merkur	$T_1 =$ 88 päeva	$R_1 =$ 8 milj. penikoormat
Veenus	$T_2 =$ 225 „	$R_2 =$ 14 „ „
Maakera	$T_3 =$ 365 „	$R_3 =$ 20 „ „
Mars	$T_4 =$ 687 „	$R_4 =$ 32 „ „
Jupiter	$T_5 =$ 4380 „	$R_5 =$ 104 „ „

Kepler leidis oma eelkäija, täheteadlase Tycho de Brahe, vaatlustest eelseisva (siin ümmargusteks tehtud) arvude rea planeetide pöördumisaja T ja nende kauguse R kohta päikesest. Kas peaks nende arvude salkade vahel mõni sisemine saladusline rippuvus olema? Vaevarikaste katsumiste abil, mis mitu aastat kestsid, leidis ta viimaks omaks suureks rõõmuks, et R^3/T^2 kõigile planeetidele ühesuguse arvu annab. Sellega oli üks taeva mehaanika hiilgavamaist seadustest leitud.

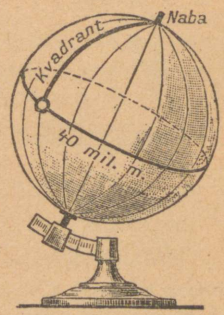
Suurem jagu looduse seadusi on väga lihtsad. Nende leidmiseks peab mõõtmisi tegema, milleks mõõdu-üksusi vaja.

§ 3. Tähtsamad mõõdu-üksused.

1. Pikkuse üksuseks on meeter (m). See on kaugus kahe kriipsu vahel meetri ürgvormi peal, mida Pariisis alal hoitakse (J. 11). Pariisi Akadeemia väljaarvamiste põhjal (1791) peab meeter



J. 11. Meetri algkuju.



J. 12. Maakera kvadrant.

üks 10-miljondik osa veerandist maakera meridiaanist olema, s. o. nabast kunni ekvaatorini (J. 12).

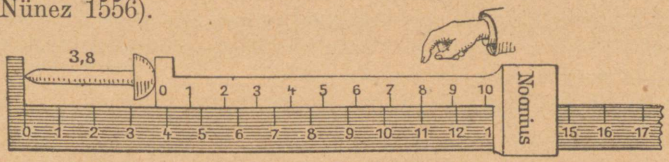
Prantsusmaal võeti meeter 1795 a. tarvitamisele. Pariisis alalhoitava algmeetri järele valmistati rahvusvahelise komisjoni valvel 30 sarnast meetrit ja jagati need liisu läbi teistele riikidele. — Et nad tugevamad oleks, siis tehti neid sulatisest, milles 90% plaatinat ja 10% iridiumi, ja anti neile joonisel olev kuju (x-sarnase läbilõikega).

Meetri jaotused on detsimaal- ehk kümnend- süsteemi järele. 1 meeter = 10 detsimeetrit = 100 sentimeetrit = 1000 millimeetrit.

1 m = 10 dm = 100 cm = 1000 mm

Suuremad mõõdu-üksused on kilomeeter (km) = 1000 m, geograafiline penikoorm = 7420 m; mere-penikoorm (meridiaani kaare minut) = 1852 m.

Noonius on niisugune abimõõduriist, mida peamõõduriista kõrval tarvitatakse ja mis võimaldab kümnendikud osad selle jaotustest mõõta. 9 peamõõdu jaotust on nooniuse peal kümneks osaks jaotatud (Nünez 1556).



J. 13. Noonius. Nooniuse 8 kriips ühtub peamõõdulaua kriipsuga.

Tarvitamine. Mõõdetav asi seatakse mõõdupuu ja nooniuse nullpunktide vahele ja vaadeldakse, missugune nooniuse jaotus kõigest paremini mõõdupuu jaotustega ühtub. Vastav nooniuse kriips annab kümnendikkude arvu mõõdu-üksusest. Näiteks, J. 13 on naela pikkus 3,8 mõõdupuul kujutatud üksust. **Tõendus.** Et iga nooniuse jaotus $^1/_{10}$ peamõõdupuu jaotusest väiksem ja et näites J. 13 kaheksas nooniuse jaotus ühtub, siis tagasi lugedes saame, et nooniuse nullpunkt $^8/_{10}$ peamõõdu jaotusele vastab.

2. Pinna mõõdu-üksuseks on ruutmeeter (m^2), s. o. ruut, mille iga külg 1 m pikk. Pinnamõõtude ülemineku arv on 100, s. o.

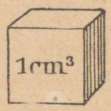
1 m^2 = 100 dm^2	**1 dm^2** = 100 cm^2	**1 cm^2** = 100 mm^2

3. Ruumala mõõdu-üksuseks on kantmeeter (kuup-meeter; m^3), s. o. niisugune kantik, mille kõrgus-laius-pikkus 1 m (kast!). Ruumala mõõtude ülemineku arv on 1000, s. o.

1 m^3 = 1000 dm^3	**1 dm^3 = 1000 cm^3**	**1 cm^3 = 1000 mm^3**

Füüsikas tarvitatakse enamasti cm^3. Vedelikkude ja gaaside ruumala mõõtmiseks tarvitatakse liitrit, mis = 1 dm^3 = 1000 cm^3.

4. Kaaluks nim. rôhumist, mida avaldab keha oma raskusega kaalus paigaloleva pinna peale. Kaalu üksuseks on gramm (g), mis vôrdub 1 cm³ vee kaalule Pariisis, kui vee temperatuur on + 4° Celsiuse järele (siis on vesi kôige tihedam). Tähendab:



1 cm³

1 mm³ vett kaalub 1 mg (milligramm)
1 cm³ „ „ 1 g (gramm)
1 dm³ „ „ 1 kg (kilogramm)
1 m³ „ „ 1 t (tonn)

1 t = 1000 kg; 1 kg = 1000 g; 1 g = 1000 mg.

5. Aja üksuseks on sekund, mis 86400-ndik osa kesk-päikese päevast. Tähendab: 1 päev = 86400 sek.

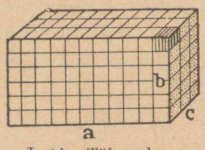
6. Keha **massiks** nim. kehas olevat aine hulka. Mis Pariisis 1 g kaalub, selle mass ongi 1 gramm (mida märgitakse 1 gr).

Kaalu ja massi vahel peab vahet tegema, sest et 1 gr massi mitte igal pool 1 g ei kaalu. Kui keha, mis maapinnal 1 g kaalub, maapinnast eemaldada, siis väheneb maakera tômbejôud, nagu vaatlused näitavad, ja keha kaalub vähem, kuna tema mass muutmataks jääb.

Seadusliseks massi-grammiks on 1000-ndik osa Pariisis alalhoitavast algkilogrammi massist.

§ 4. Ruumala (maht).

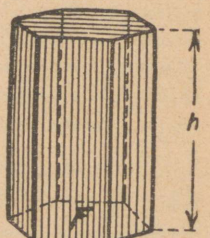
1. Korrapäraliste kehade ruumala võib lihtsamail juhustel kergesti väljaarvata; näiteks:



J. 14. Täisnurkne rööptahuk.

täisnurkse rööptahuka ruumala, mille servade pikkus a, b, c, vôrdub $a \cdot b \cdot c$ (J. 14). Prisma ruumala, kui aluspind P ja kôrgus h, on $V = P \cdot h$ (J. 15); kera ruumala (raadius r)

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3.$$



J. 15. Prisma.



J. 16. Môôduklaas.

2. Vedelikkude ruumala arvatakse môôduklaasi abil, mille maht cm³ (kantsentimeetritesse) jaotatud ja millesse vedelik valatakse (J. 16).

Môôduklaasi jaotused märgitakse sissevalatud veehulga kaalumise abil: 1 g vee ruumala, kui vee temperatuur 4° C, on üks kant-sentimeeter (cm³).

3. Kindla keha ruumala leitakse, kui keha môôduklaasis olevasse vette pannakse (J. 16).

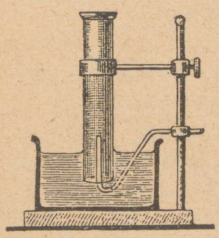
Tôuseb veepind 30 cm³ pealt 42 cm³ peale, siis on vettepandud keha ruumala 12 cm³.

Ruumala võib ka niisuguse klaas-nôuga mõõta (J. 17), millel külje peal vee väljavoolamiseks toru on. Enne tarvitamist valatakse nôu vett täis; keha vettepanemisel vastab väljavoolava vee hulk keha ruumalale.



J. 17. Ülevoolu-klaas.

4. Gaasihulga ruumala arvamiseks hariliku rõhu all tarvitatakse veega täidetud klaassilindrit, mis asetatakse kummuli veega täidetud vanni (pneumaatiline vann); mõõdetav gaasihulk juhitakse põlvtoru abil silindrisse (J. 18).



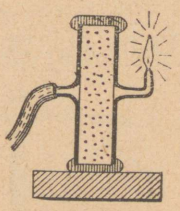
J. 18. Pneumaatiline vann.

5. Ruumala täpsetel mõõtmistel vaja kehade urbsust arvesse võtta. Urvadeks nim. kehades olevaid augukesi, mis suuremalt jaolt õhuga täidetud.

Katse. Liivaga täidetud 1 liitri suurusesse kruusi (nôusse) mahub urbsuse tõttu ümmarguselt veel 400 cm³ vett.

Mõnede kehade urbsus on niivõrd suur, et seda palja silmaga näha võib (nagu leib, käsn, merevaht), teiste kehade urbsust on võimalik selgeks teha ainult kunstliste abinõudega.

Katsed: a) Pettenkofer näitas ehituskivide urbsust, läbi juhtides neist valgustusgaasi (J. 19). b) Elavhõbeda vihma katse õhupumba abil näitab puu urbsust; d) kehade urbsuse tarvitamine filtreerimisel.



J. 19. Pettenkoferi katse.

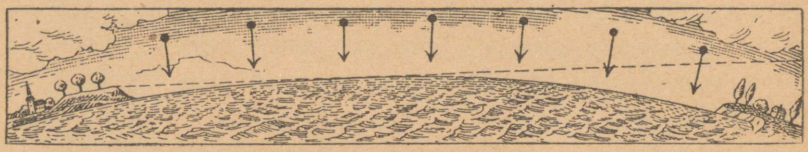
§ 5. Kehade kaal.

1. Kaalu põhjus. Käest lahtilastud keha langeb maha; sellest järeldame, et maakera keha ligi tõmbab. Seda tõmmet nim. raskusjõuks (tungiks); raskusjõu mõõduks on kaal.

Newton nägi oma isa aias kukkuvat õuna ja silmapilk tärkas temas mõte, et tõmbejõud maakera ja õuna vahel on vastastikkune; sellest sai alguse tema üldine tõmbejõu seadus.

a) **Raskusjõu sihi** määrab lood (ehk tinalood), mis koos seisab vabalt rippuvast niidist, mille otsas mõni raskus (J. 20).

Kõik loed on sihitud maakera keskpunkti poole, tähendab, maakera isesugustes paigus ei ole nad üks teisele paralleelsed (J. 21). (31 m kaugusel lähevad loodjooned 1″ võrra lahku.)



J. 21. Raskuse mõju.

b) Kui lood vette panna ja niidi külge täisnurkne kolmnurk seada (J. 20), siis on veepind igas sihis loega ristjoones.



J. 20. Lood.

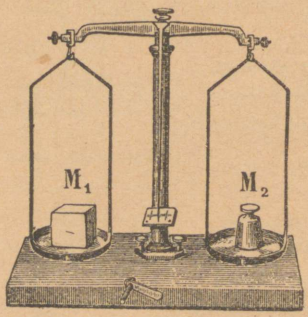
Loe sihti nim. loodis-ehk **vertikaal**-sihiks, veepinna sihti — kaalus-ehk **horisontaal**-sihiks.

Kas joon kaalus, katsutakse **vesiloega** (J. 22). Vesiloeks nim. vähe kumerat klaastoru, mis veega (piiritusega) täidetud ja eneses õhuvullikest sisaldab. Sattub vullike klaastoru keskkohal olevale märgile, siis on tema aluspind horisontaalne.



J. 22. Vesilood.

2. Kaalu leidmiseks tarvitatakse harilikult ühepikkuste õladega kaalusid (J. 23). Nende ehitus seisab koos keskelt toetatud kangist, mille otsadele üheraskused taldrekud kinnitatud. Kangi külge kinnitatakse näiteora, mille ots mõõdulauda mööda liigub. Kaalumiseks tarvitatakse kogu vihte, mille koosseis harilikult järgmine:



J. 23. Ühepikkuste õladega kaalud.

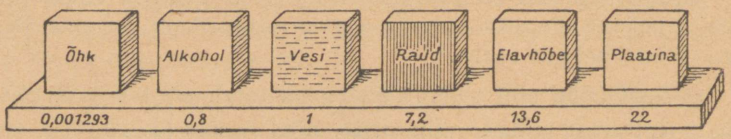
1	2	2	5

10	20	20	50

100	200	200	500

grammi. Neist võib igasuguse täisarvulise keha gramm-kaalu kokku seada, näit. 93 g = (50 + 20 + 20 + 2 + 1) g.

3. Aine **erikaaluks** nim. 1 cm³ aine kaal grammides (g; J. 24).



J. 24.

Erikaalude tabel:

Plaatina	21 5	Alumiinium	2,7	Alkohol	0,72
Kuld	19,3	Marmor	2,8	Eeter	0,73
Elavhôbe	13,6	Klaas	2,5—3,5	Süsihapugaas	0,00196
Tina	11,4	Elevandiluu	2	Ôhk	0,001293
Hôbe	10,5	Väävelhape	1,8	Valgustusgaas	0,0005
Vask	8,9	Vesi	1,0	Vesinik	0,000090
Tsink	7,1	Jää	0,9	(0° ja 760 mm rôhumisel)	
Raud	7,9—7,2	Petroleum	0,80		

a) **Suhteline kaal.** Kui 1 cm^3 aine kaalu 1 cm^3 vee kaaluga vôrrelda, siis näeme, et erikaal (ôigem, suhteline kaal) näitab ka seda, mitu korda keha veest raskem on, kui nende ruumalad vôrdsed.

b) **Tihedus** näitab, mitu gr massi on ühes cm^3. Tiheduse ja erikaalu arvuline suurus on üks ja sama arv.

Vase erikaal on 8,9, see tähendab, et 1 cm^3 vaske kaalub 8,9 g; vase tihedus on 8,9, see tähendab, et 1 cm^3 on 8,9 gr massi.

d) Eksituste ärahoidmiseks märgitakse kaalu gramm tähe g, ja massi gramm gr-ga. Näiteks: raua erikaal $s = 7{,}2$ g/cm^3, raua tihedus $d = 7{,}2$ gr/cm^3.

e) **Valem.** Keha erikaalu leiame, kui keha kaalu (absoluutse kaalu) jagame ruumalale (cm^3 arv), millest saame valemi:

$$\text{Erikaal } s = \frac{G}{V}.$$

Näiteks kaaluda môni kindel keha ja leida selle ruumala môôduklaasi abil; saadud andmete põhjal leida kindla keha erikaal. Vedeliku erikaalu leidmiseks tarvitatakse kindla ruumalaga (mahuga) klaasi. Kaalutakse klaasi täidetult veega, siis antud vedelikuga, saadud arvudest arvatakse klaasi kaal maha ja viimast arvu eelmisega jagades leitakse otsitav erikaal.

Ôhu erikaalu arvamiseks tarvitame elektri pirni. Esiteks kaalume tühja pirni, siis murrame otsa ära, mille läbi ôhk pirni täidab; siis kaalume pirni ôhuga, saadud kaaluvahe näitab ôhu raskust pirni ruumalas. Täites pirni veega ja seda kaaludes (pirni raskus maha arvata) saame kätte pirni ruumala suuruse. Saadud andmete põhjal leiame ôhu erikaalu.

4. Tarvitamine. Erikaalu tarvitatakse:

a) keha **ruumala** leidmiseks valemi järele $V = G : s$.

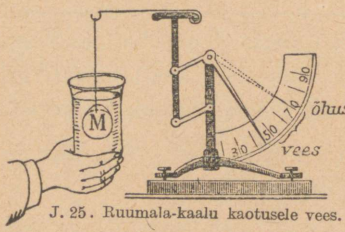
Näit., vasktraat kaalub 5,9 g, vase erikaal $s = 8{,}9$, tähendab, traadi ruumala $V = 5{,}9 : 8{,}9 = 0{,}663$ cm³.

b) Keha **kaalu** leidmiseks: $G = V \cdot s$.

Naide. Kui palju kaalub marmor-plate, mille pikkus 1 m, laius 60 cm, paksus 2 cm?

Vastus. $V = 100 \cdot 60 \cdot 2 = 12000$ cm³; $s = 2{,}8$; tähendab, $g = V \cdot s = 33600$ g.

5. Kehade kaal vees. Kui 1 cm³ mônda ainet niidi otsas vette lasta, siis näeme, et aine 1 g vähem kaalub, kui ôhus (J. 25). Selle kohta öeldakse, et vesi tôrjub keha alt üles jôuga 1 g.

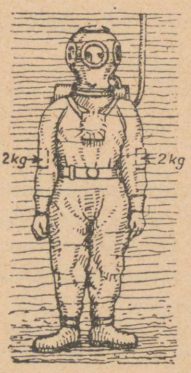


J. 25. Ruumala-kaalu kaotusele vees.

a) Kehad, nagu raud, marmor, tsink, mille erikaal veest suurem, vajuvad põhja; teised kehad, mille erikaal veest vähem, nagu vaha, puu — ujuvad.

b) Et vees iga kant-sentimeetri keha ruumalale üks gramm kaalukaotust vastab, siis on võimalik kehade ruumala kaalukaotuse järele vees välja arvata (J. 25).

6. Veesamba kaal. 1 cm³ vett kaalub 1 g. Veesammas, mis 10 m kôrge ja mille läbimôôt 1 cm², kaalub $10 \cdot 100$ gr $= 1$ kg. Tehnikas nim. 1 kg rôhumist ühe ruut-sentimeetri peale üheks atmosfääriks (at).



J. 26. Tuuker 20 m sügavusel.

Tähendab:

$$1 \text{ at} = 1 \text{ kg/cm}^2.$$

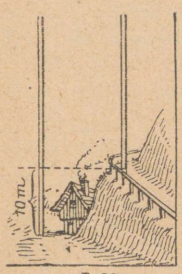
Tuuker, kes 20 m meresügavuses töötab, kannab 2 at veerôhumist (J. 26). Katse J. 27 näitab, et rôhumine vees igasse külge ühtlaselt edasi andub. Tähendab, tuukril tuleb ka küljepealt samasugusele veerôhumisele vastu panna.


J. 27. Pritsimise nôu.

7. Ôhusamba kaal. Normaaltingimistes kaalub 1 cm³ atmosfääri ôhku umbes 1,3 mg. 10 m kôrgune ôhusammas, mille läbimôôt 1 cm², kaalub $1{,}3 \cdot 1000 = 1{,}3$ g.

Sellest järgneb, et atmosfääri ôhk rôhub oma raskusega iga ruut-cm pinna peale. Seda rôhumist nim. ôhurôhuks, mis ka igas sihis avaldub. Kohas, mis 500 m merepinnast kôrgemal, on ôhu-

sammas 500 m lühem, mispärast ka ôhurôhumine selles kohas väiksem on, kui merepinnal (J. 28).



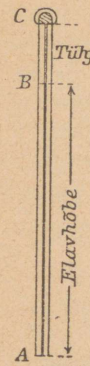
J. 28.

a) **Ôhurôhumise olemasolemist** näitab järgmine katse:

veega täidetud silinder kaetakse paberi lehega ja keeratakse kummuli (J. 29). Vesi välja ei voola. Järeldame, et ôhurôhumine alt suurem on, kui veesamba kaal.

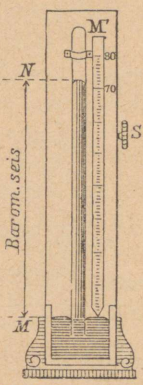

J. 29. Ôhurôhu mõju.

b) **Ôhurôhumist mõõdetakse** kinnise otsaga klaastoru abil (J. 30). Toru, mille pikkus umbes 1 m täidetakse elavhôbedaga ja lahtist otsa näpuga kinni hoides, keeratakse ümber ja pistetakse lahtine ots elavhôbedaga täidetud laiemasse nôusse; elavhôbeda sammas langeb vähe alamale, jäädes seisma 70—76 cm kôrgusel nôus olevast elavhôbeda pinnast (Torricelli katse 1643). Normaal-ôhurôhumine merepinnal ühe ruut-cm peale vôrdub 76 cm kôrguse elavhôbeda sambale, mis 13,6 g · 76 = 1033 g = ümmarguselt 1 kg kaalub.



J. 30. Mõõtmine.

Seda ôhurôhumist nim. 1 atmosfääriks ja märgitakse atm. Tehnikas tarvitatakse rôhumist, mis täpselt 1 kg vôrdub ja mida at märgitakse. 1 at = 735,5 mm elavhôbeda samba rôhumisele 1 cm² peale. Ôhuga tasakaalustud elavhôbeda samba kôrgust nim. baromeetri seisuks. Torricelli katses tarvitatud ehitust nim. baromeetriks. Klaastorus elavhôbeda sambal tekkinud tühja ruumi nim. Torricelli tühjuseks (J. 31).



J. 31. Baromeeter.

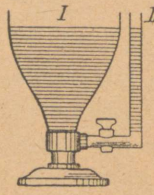
Ülesanded.

1. Kui palju kaalub:
   a) raudkang ruudulise läbilôikega;
   b) marmor-plate;
   d) puu-palk, mille läbilôige täisnurkne nelinurk;
   e) ôhk toas? (mõõdud ja erikaal vaja juure lisada).
2. Leida järgmiste kehade ruumala:
   a) rauatükk, mis 3,6 g kaalub (s = 7,2);
   b) 40 g raske hôbelusikas;
   d) 500 g raske kullatükk.

3. 24 m vasktraati kaalub 30 g. Kui suur on traadi läbimõõt ($s = 8{,}7$) ($V \cdot {}^1/_7$ mm).
4. Mitu atmosfääri rõhumist on ookeani põhjas 8000 m sügavusel?
5. Mis tähendab: Montblanc'i otsas baromeeter näitab keskmiselt 480 mm?

§ 6. Vedeliku kaalud. Manomeeter.

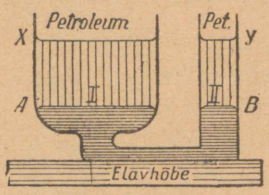
1. Ühendatud anumad. Ühendatud anumateks nim. kahte nõud, mis alt teine teisega ühendatud. Katsed näitavad, et niisugustes anumates iga rahulikuks jäänud vedeliku pind ühekõrgusel seisab, s. o. et vedeliku pind I ja II anumas on ühes ja samas horisontaalses tasapinnas, olgu nende suurus ja ehitus missugune tahes (J. 32).



J. 32. Ühendatud anumad.

2. Tarvitamine kaaludeks. Vedelikku võib ühendatud anumates kaaludena tarvitada; vedeliku pinnad I ja II nõus on kui kaalude taldrekud.

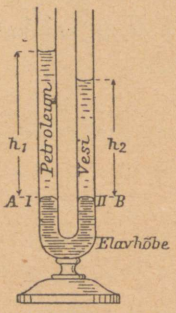
1. Katse. Nõus (J. 33) on, näiteks, elavhõbe. Valatakse ühele poole petroleumi, siis langeb selles elavhõbeda pind; valatakse ka teisele poole petroleumi, kunni I ja II nõus oleva vedeliku pinnad ühte tasapinda tõusevad, siis näeme, et mõlemas nõus petroleumi sammaste kõrgused ühesuurused on. Sellest järgneb:



J. 33. Põhiseadus.

Sarnased vedeliku kaalud seisavad **tasakaalus,** kui rõhumine mõlemas nõus 1 cm² vedeliku pinna peale (aga mitte kogurõhumine) ühesuurune on.

2. Katse. Kui eelmises katses ühe petroleumisamba asemele veesamba võtame, siis on selle kõrgus väiksem, sest et vee erikaal petroleumi omast suurem on (vahekorras 1:0,8 = 10,8; J. 34). Üldse maksab väide:

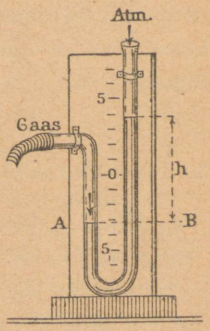


J. 34. Kaks vedelikku.

Ühendatud anumates seisavad kaks isesugust vedelikku tasakaalus, kui kõrgused nende erikaaludele vastuproportsionaalsed on:

$$h_1 : h_2 = s_2 : s_1$$

Põhjus: $h_1 \cdot s_1$ on vedeliku rõhumine ruut-cm peale ühes nõus; $h_2 \cdot s_2$ — teises. Et rõhumine mõlemas nõus ühesugune, saame $h_1 \cdot s_1 = h_2 \cdot s_2$, ehk $h_1 : h_2 = s_2 : s_1$. — Tarvitatakse seda vedelikkude erikaalu leidmiseks.



J. 35. Manomeeter.

3. Tarvitamine gaasirõhu mõõtmiseks. Selleks on lahtine manomeeter (J. 35). See on *U*-sarnaselt painutatud mõlemast otsast lahtine klaastoru, mille kõverpõlve harilikult clavhõbe või vesi täidab. Üks toru ots ühendatakse gaasitoruga ja gaasirõhumine hoiab manomeetris oleva vedeliku isekõrgusel.

Gaasirõhumise väljaarvamiseks võtame kaalus joone *A B*, mis alumisest vedeliku pinnast läbi läheb. Allpool *A B* olev vedeliku osa mõjub kui kaal. Ühelt poolt mõjub selle kaalu peale otsitav gaasirõhumine *p*, teiselt poolt *h* kõrgune vedeliku samba kaal ja atmosfääri rõhumine. Otsitav gaasirõhumine *p* võrdub:

$$p = \text{õhurõhumine} + h \text{ kõrgune samba rõhumine}$$

1 cm² peale 1 cm² peale.

Märkus: on manomeetris vesi, siis peab kõrgust *h* enne 13,6 jagama.



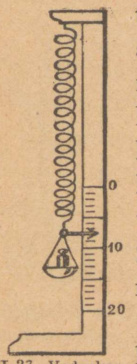
J. 36. Kopsude katsuja.

Ülesanded.

1. Keegi puhub kopsude katsujas (J. 36) veesamba 136 cm kõrgusele. Suur on kopsudes õhurõhumine *p*, kui baromeeter 720 mm näitab? (Vastus: 820 mm.)
2. Kui kõrge veesammas täidab ühendatud anumates 20 cm kõrge petroleumi samba aset? (V. 16 cm.)

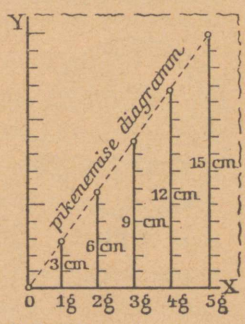
§ 7. Vedrukaalud.

1. Kaalumiseks tarvitatakse ka vedrukaalusid (J. 37), mille tegevus põhjeneb spiraal-vedrude elastsusel. Elastsuse all mõistetakse niisugust omadust, mis selles seisab, et keha vabanedes kuju muutvast jõust ikka endise kuju omab. Vedrukaalude mõõdulaua määramiseks kinnitatakse vedru külge järgi mööda vihid 1 g, 2 g, 3 g ... ja märgitakse laual näitajale vastavad numbrid.



J. 37. Vedrukaalud.

2. Venivuse seadus. Vedru külge 1, 2, 3 ... g kinnitades, märkame, et vedru iga grammi raskusega ühepalju venib (Hooke'i seadus). Tähendab, **venivus on proportsionaalne raskusele.** Venivuse ja raskuse vahekorda võib dia-



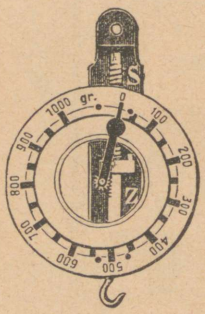
J. 38. Pikenemise diagramm.

grammina kujutada (J. 38). Kaalus joonel märgitakse raskused ja igale raskusele vastaval loodjoonel vastav venivus.

3. Vedrukaalude kasutamine on piiratud. Venitatakse vedru liig välja, siis ei tõmbu ta vabaks saades täpselt nullpunktini tagasi.

Keha nim. **täiesti elastseks** senni, kunni ta vormimuutustest vabanedes oma endisesse olekusse tagasi tõmbub; vastasel korral ei ole elastsus täielik.

Vedrukaalude elastsuspiir on 40 g, tähendab: kui vedru peale mõj uv raskus on vähem kui 40 g, siis tõmbub vabaks saanud vedru endisesse olekusse tagasi, on aga raskus suurem, siis venib vedru välja. (Kaalude mõõdulauda tuleb õiendada.)



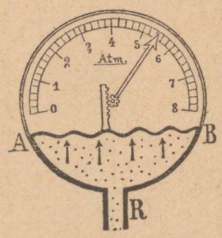
J. 39. Jõumõõtja.

4. Mõõdulauaga varustatud vedrukaalusid (dünamomeeter = jõumõõtja) tarvitatakse mitte ainult kaalumiseks (köögikaalud), vaid ka igasuguste tõmbe- ja tõukejõudude (rõhumiste) mõõtmiseks.

Hobuse tõmbejõud (J. 44). Tarvitamine turnisaalides jõu mõõtmiseks. Suuremate jõudude mõõtmiseks tarvitatakse jõumõõtjat sõõrilise skaalaga (J. 39). Neis on vedru *S* kinnitatud hammaskangiga *Z*, mis hammasratta abil näitajat liigutab.

5. Vee, gaasi ehk auru rõhu mõõtmiseks tarvitatakse vedruva pinnaga **manomeetrit** (J. 40).

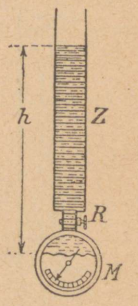
Nende ehitus seisab koos metall-karbist *A B R*, milles üks osa elastiliselt lainetava plekk-vaheseinaga *A B* eraldatud. Juhitakse karpi toru *R* mööda auru, ehk puhutakse sinna õhku, siis rõhuvad need nimetatud vaheseina peale, mille liikumised hammaskangi ja hammasratta abil näitajat liigutavad; näitaja ots liigub skaalat mööda, mille arvud atmosfääre näitavad.



J. 40. Vedrumanomeeter.

Atmosfääri arvude ülestähendamiseks skaalale võib tarvitada elavhõbeda samba rõhumist (J. 41).

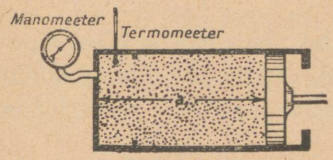
Toru *R* külge kinnitatakse silinder *Z*. Täites seda elavhõbedaga kunni 73,5 cm kõrguseni, teame, et siis rõhumine iga cm² peale on 1 kg ehk 1 at. Mõõdulaua näitamisi võib ka elavhõbeda rõhumise mm märkida.



J. 41. Mõõdulaua märkimine.

6. Mariotte'i seadus. Manomeetrit toru külge kinnitades ja selles kannu (punni) edasi tõugates (näit. õhk-püss) märkame, et piiratud gaasi rõhumine kasvab (J. 42).

Katsed annavad järgmise tabeli:



J. 42. Kompressor.

Ruumala	$V_1 = 80$	$V_2 = 40$	$V_3 = 20$
Rõhumine	$P_1 = 1^{at}$	$P_2 = 2^{at}$	$P_3 = 4^{at}$

Side saadud arvude ridade vahel paistab selgesti välja:

Gaasihulga ruumala kasvatis rõhumisega $V \cdot p$ on kindel arv. Selle seaduse leidis esiteks Boyle, siis Mariotte (1670a.).

a) Selle seaduse teisendid:

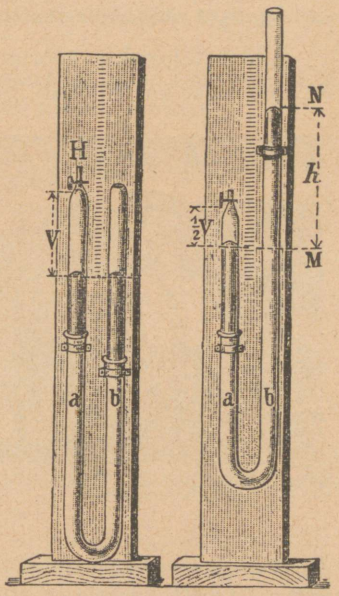
1. Saab gaas ½, ⅓ . . ., $^1/_n$-ni oma endisest ruumalast kokku surutud, siis tõuseb temas rõhumine kahe, kolme, . . . n-kordseks.

2. Suurendatakse gaasi ruumala 2, 3 . . . n korda, siis on temas rõhumine ½, ⅓ . . ., $^1/_n$ endisest rõhumisest.

b) Gaashulga kahe isesuguse oleku kohta on maksev võrdus $V_1 \cdot p_1 = V_2 \cdot p_2$. Sellest järgneb:

$$\boxed{V_1 : V_2 = p_2 : p_1},$$

mis tähendab, et gaashulga ruumalad on vastuproportsionaalsed vastavatele rõhumistele.



J. 43. Mariotte'i seaduse järelkatsumine.

d) Seadus on ainult siis maksev, kui kokkurõhumisel (kompressioon) ehk paisumisel (ekspansioon) gaasi temperatuur ei muutu.

e) Seaduse tõendamiseks tarvitatakse manomeetrit (J. 43), mis koos seisab pika kummitoruga ühendatud kahest klaastorust, millest üks kraaniga varustatud. Sissevalatud elavhõbe seisab mõlemas harus ühekõrgusel. Kraani kinni keerates eraldame torus õhuhulga V, mille rõhumine võrdub baromeetri rõhumisele. Lahtist toru kõrgemale tõstes, surume kinnises torus õhu kokku, ja rõhumine selles võrdub elavhõbeda samba MN rõhumisele + välis-õhurõhk. On, näiteks, MN võrdne baromeetri kõrgusele, siis seisab gaas 2 at rõhumise all ja tema ruumala on kõigest ½ V. Et seadust ka hõrendatud gaaside kohta tõendada, lastakse lahtine toru allapoole.

§ 8. Töö.

1. Hôôrumine. Et keha mittesiledat pinda mööda edasi liigutada, vaja jôudu R, ja katsed näitavad, et selle jôu suurus ainult murruline osa keha rôhumisest aluspinna peale on. Seda jôudu nim. hôôrumiseks.

Et 800 kg rasket vankrit (J. 44) liikuma panna, tarvitab hobune kôigest 32 kg, s. o. iga 100 kg peale kôigest 4 kg tômbejôudu (4%), 1 kg raskuse peale 0,04 kg. 0,04 nim. hôôrumise koeffitsiendiks.

Üldiselt leitakse hôôrumist R valemi abil $R = \mu \cdot D$, milles μ on hôôrumise koeffitsient. See on seda väiksem, mida siledam pind.



J. 44. Töö = jôud × tee.

Puu libisemisel puud mööda on μ ümmarguselt 0,25 ehk 25%. Metalli veeremisel metalli mööda on μ umbes 0,01 ehk 1%.

2. Töö môiste. Tômbas hobune vankrit tüki maad edasi, siis öeldakse, et ta tegi tööd. Töö on, tähendab, jôu rakendus mônesugusel tee ulatusel.

a) **Töö üksuseks** on töö, mida tarvis teha, et 1 kg ühe m kôrgusele tôsta. Seda üksust nim. **meeterkilogrammiks** (1 mkg).

b) Et töö tee pikkusega ja jôu suurusega kasvab, siis on töö valem:

$$\text{Töö} = \text{jôud} \times \text{tee}.$$

Ülesanne: suure töö teeb hobune (J. 44), kui ta vankri 600 m kaugusele veab? Vastus: töö = jôud × tee = 32 (kg) · 600 (m) = 19200 (mkg).

d) Töö suurust ühes sekundis nim. **võimsuseks ehk effektiks.** Võimsust 75 mkg sekundis nim. hobujõuks (PS ehk HP).

1 Hobu-jõud = 75 mkg/sek.

Ülesanded:

1. Mitu hobust 50 kg tõmbejõuga on vaja, et uulitsaraudtee vagunit liikuma panna, kui vaguni enese raskus 4 t, vagunis 20 isikut istuvad, igaüks 75 kg raske ja hõõrumine 2%? Kui palju peab tööd tegema, et vagunit 1 km kaugusele viia?
2. Päevatööline tõstab labidaga 1 m^3 mulda vankrile, mis 1,3 m kõrge. Kui suur on töö (mulla erikaal = 2)? (Vastus: A = 2600 mkg.)
3. Kaevanduses vaja igas 3 minutis 900 l vett 150 m kõrgusele tõsta. Mitu PS peab olema masinal, mis selle töö ära teeks? (Vastus: 10 PS.)
4. Palju tarvitab hobune rohkem jõudu, kui mees (kaal 75 kg) vankrile istub? (μ = 0,05.)
5. Vankril (1300 kg raske), mida kaks hobust veavad, on 12 vaati à 120 kg. Suure jõuga tõmbab iga hobune, kui hõõrumine 2% rõhumisest on? (Vastus: 27,4 kg.)
6. Vagunis, mille raskus 1000 kg, istuvad 26 isikut, igaüks 75 kg raske. Kas jõuab hobune, kelle tõmbejõud 46 kg, seda vagunit edasi tõmmata. (μ = 0,015.) (V: ja.)
7. 1 m^3 suurust marmortükki (s = 2,8) tahetakse rullide abil ära viia. Mitu 50 kg tõmbejõuga hobust vaja ette rakendada, kui hõõrumine 3% on? (V. 2 hobust.)
8. Laua peal on 2 kg raskune rauatükk, mille külge 40 cm pikkune kumminöör kinnitatud. Rauatükk hakkab liikuma alles siis, kui kumminöör 48 cm pikaks venitatud. Kõrvalkatsega on selgeks tehtud, et 200 g venitavad kumminööri 5 cm võrra pikemaks. Üles leida μ? (V. 0,16.)

Soojus

§ 9. Paisumine.

1. Vaatlus õpetab: peaaegu kõik kehad soojenedes paisuvad ja jahenedes tõmbuvad kokku.

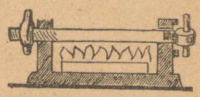
a) **Kindlad kehad** paisuvad väga vähe.

Katse kera ja rõngaga (Renaldini 1660). Vasest kera läheb hariliku temperatuuri juures rõngast vaevalt läbi; kui kera kuumendada, siis ei mahu ta enam rõngast läbi (J. 45).



J. 45. Kera ja rõngas.

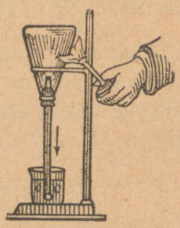
Katse teraskangiga ja malmist poldiga näitab seda suurt jõudu, mida jahenev tuline keha kokkutõmmates avaldab (J. 46). Teraskang, millel ühest otsast polt läbi on pistetud, seatakse kahe raudposti vahele ja tõmmatakse kruviga pingule. Kuumendatud kang paisub pikemaks ja kruvi võib veel edasi keerata. Jahenedes tõmbub kang nii suure jõuga kokku, et malmist polt katkeb.



J. 46. Kang ja polt.

b) **Vedelikud** paisuvad rohkem, kui kindlad kehad.

Vee soojendamine keeduklaasis, mille kael peene toruga varustatud (J. 62). Sooja vette pistetud termomeetris tõuseb elavhõbe kiirelt.



J. 47. Õhu paisumine.

d) **Gaasid** paisuvad kõige rohkem.

Katse peenikese toruga varustatud keeduklaasiga, mille lahtine ots vette pistetud (J. 47).

Klaasi soojendamisel tuleb õhk vullikeste näol välja. Jahendamisel tõuseb vesi toru mööda klaasi (Galilei termoskoop).

2. Seletus. Oletatakse, et soojenemisel keha moleküülid ikka rohkem ja rohkem üks teist eemale tõrjuvad.

Moleküülide eemaltõrjumise põhjuseks arvatakse mehaanilises soojuse teoorias (aluse pani Clausius 1850), et moleküülid kõrgema temperatuuri juures elavamalt võnguvad.

§ 10. Temperatuuri mõõtmine.

1. Temperatuuriks nim. keha soojuslist olekut. Tundmise järele võime meie mitmesuguste soojuslise oleku astmete vahel vahet teha (tuline, kuum, soe, leige, jahe, külm).

Meie tunded on aga petlikud. Leige vesi nõus *B* (J. 48) tundub meile soe ehk külm olevat selle järele, kas katsuv käsi enne seda külmemas ehk soojemas vees oli.

Täpsete temperatuuride mõõtmiseks tarvitatakse termomeetrit, mille ehitus põhjeneb kehade paisumisel soojuse mõjul. Kõigest rohkem tarvitamist leiab elavhõbeda termomeeter.



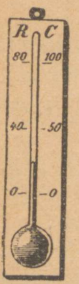
J. 48. Katse kolme veenõuga.

2. Elavhõbeda termomeeter seisab koos peenikesest (kapillaar) torust, mille sisemine läbimõõt igas kohas ühesugune peab olema. Toru alumine ots lõpeb väikese ümmarguse või pikerguse nõuga. Nõu ja osa torust on täidetud õhuta (hästi väljakeedetud) elavhõbedaga.

Et elavhõbe takistamata paisuks, aetakse õhk välja ja toru sulatatakse kinni.

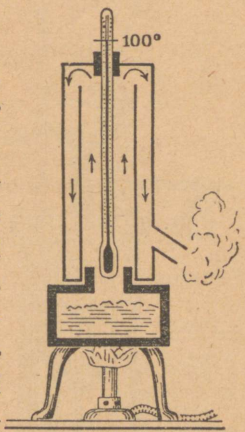
a) Termomeetri toru juure kinnitatakse skaala. Skaala märkimiseks tarvitatakse **jää sulamis-ja vee keemispunkte** (kindlad punktid; J. 49).

Esimene näitab elavhõbeda seisakut sulavas jääs. Teise punkti märkimiseks seatakse termomeeter keeva vee aurusse (J. 50).



J. 49. Termomeeter.

b) On olemas kolm termomeetri skaalat (J. 51): a) **Celsiuse** järele märgitakse jää sulamispunkti nulliga ja keemispunkti 100°. Teaduses tarvitatakse ainult seda skaalat; b) **Réaumur** märgib sulamispunkti 0° ja keemispunkti 80°; d) **Fahrenheit'i** järele märgitakse sulamispunkti + 32° ja keemispunkti + 212°. (Pruugitakse maades, kus ingliskeel tarvitusel.)

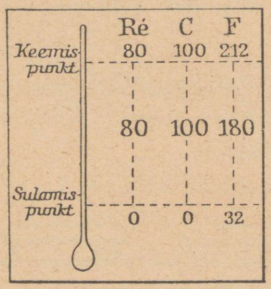


J. 50. Keemispunkti leidmine.

Sulamis- ja keemispunktide vahe jagab Celsius 100°, Réaumur 80° ja Fahrenheit 180°. Kraadide vahekord neil termomeetritel on järgmine:

$$4^0\ R = 5^0\ C = 9^0\ F$$

Ümberarvamise valemid on:



J. 51. Kolm mõõdulauda.

$$x^0\,\mathrm{C} = \frac{x}{5}\cdot 4^0\,\mathrm{R} = \left[\frac{x}{5}\cdot 9^0 + 32^0\right]\mathrm{F}$$

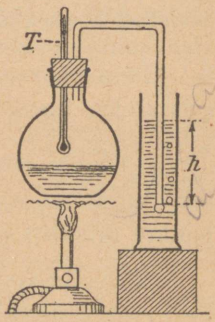
$$y^0\,\mathrm{R} = \frac{y}{4}\cdot 5^0\,\mathrm{C} = \left[\frac{y}{4}\cdot 9^0 + 32^0\right]\mathrm{F}$$

$$z^0\,\mathrm{F} = \frac{z-32}{9}\cdot 4^0\,\mathrm{R} = \frac{z-32}{9}\cdot 5^0\,\mathrm{C}$$

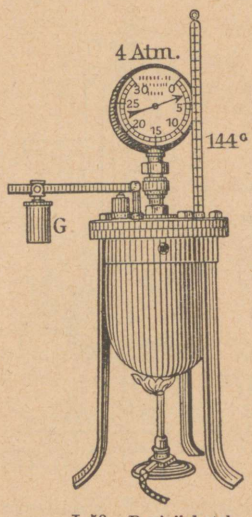
Kraadide jaotust kantakse ka allapoole jää sulamispunkti, mis — (miinusega) märgitakse.

3. Vee külmumis-ja keemispunktid ei ole päris kindlad. Seda näitavad järgmised katsed.

1. Katse. Lisatakse jääle soola juure, langeb segu temperatuur alla 0° C (soola hulga järele kunni — 20° C; külmetis-segud). Merevesi ei külmu 0° juures. — 2. Katse: vee keemispunkt tõuseb üle 100° C, kui soola juure lisada. — 3. Katse (J. 52): kui auru juhttoru, näit., 20 cm sügavusele vee alla pista, siis peab väljaminev aur veel veetulba MN raskusest jagu saama. Selle juures vee keemispunkt tõuseb. Et veepinda veel õhk rõhub, siis järeldame, et vee keemispunkt oleneb õhurõhust. Keemispunkt 100° C vastab normaalsele õhurõhule merepinnal (760 mm). Montblanc'i otsas keeb vesi 84° juures. Kõrguste mõõtmine termomeetri abil.



J. 52.



J. 53. Papin'i katel.

Kinnises nõus (**Papin'i katel**; J. 53) võib vett kuumendada kaugelt üle 100° C.

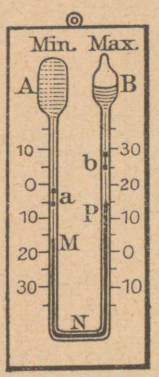
Põhjus. Nõus tekkiv aur avaldab tõusvat rõhumist vee peale, nii et see alles kõrgema temperatuuri all keema hakkab. (Tarvitamine toitude kiiremaks läbikeetmiseks, paberi-massi valmistamiseks riide hilpudest.)

4. Kasutamine. a) Elavhõbeda termomeetrit võib tarvitada ainult — 20° kunni + 220°, sest et elavhõbe juba — 39° ära külmub ja + 357° C keema hakkab, ning nende punktide läheduses korrapäratult paisub.

b) Piiritus-termomeetrites on veeta värvitud piiritus, mis 5 korda elavhõbedast enam paisub. Neid võib tarvitada + 50° kunni — 70° C.

d) Petroleum-eeter-termomeetrid mõõdavad + 50° — 200° C.

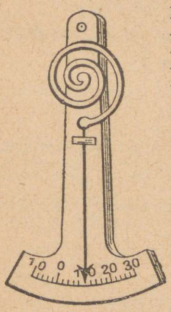
Põhja-Siberis on talvel — 45° C külma. Seal peab piiritustermomeetrit tarvitama. — Uuemal ajal valmistatakse elavhõbeda-termomeetrid, mis hapnikuga täidetud. Neid võib kunni 500° C tarvitada, sest et hapniku rõhumine ei lase elavhõbedat keema hakata.



J. 54. Siks-termomeeter.

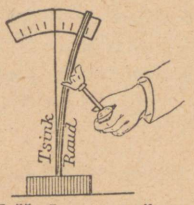
5. Maksimum-ja miinimum-termomeetriteks nim. niisuguseid, mis teatud aja vältusel olnud kõigest kõrgemat ehk madalamat temperatuuri näitavad.

Laialt tarvitatakse Siks-termomeetrit (J. 54), mis mõlemaid andmeid ühendab. See on U-sarnane piiritus-termomeeter *AM*, mille kõverpõlves elavhõbeda niit *MP* asub; elavhõbeda otste ligi on kaks teraspulgakest *a* ja *b*. Soojuse kasvamisel tõukab elavhõbe teraspulgakest *b*, kahanemisel — pulgakest *a* edasi; tähendab, *b* näitab kõigest kõrgemat, *a* kõigest madalamat temperatuuri. Piirituse aur nõus *B* tõrjub elavhõbeda niidi *MP* ikka tagasi.



J. 56. Metall-termomeeter.

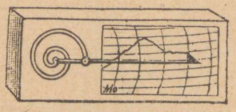
Arsti termomeetris on kapillaar-toru pealpool alumist termomeetri keha väga peenikeseks tehtud. Paisudes tungib elavhõbe sellest kitsusest läbi, kokkutõmbel aga katkeb sel kohal niit ja elavhõbe jääb torus seisma.



J. 55. Isesugune pikenemine.

6. Metall-termomeetrite ehitus põhjeneb suuremalt jaolt metallide paisumis-omadustel (J. 55).

Nad seisavad koos kahest isesugusest metallist, mis üks teise külge kinnitatult kangi kujutavad (näiteks, raud ja tsink). Soojendamisel paisub üks metall (tsink) rohkem kui teine (raud), mille tagajärjel kang kumeraks tõmbub. Rohkem paisuv metall on väljaspool.

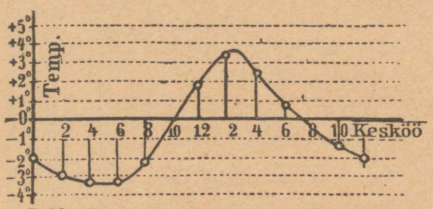

J. 57. Termometrograaf, tarvitusel ilmajaamades.

Harilikult tarvitatakse vedrusarnaselt kokkukeeratud kangi, millel üks ots alusele kinnitatud ja teine liikuva näitaja peale mõjub (J. 56).

Metall-termomeetrit kasutatakse **termograafis** (J. 57), millega ilmauurivad vaatlustornid varustatud ja mis temperatuuri käiku terve nädala kohta üles märgivad. Termograafi näiteots on varustatud (isekirjutava) sulega, mis

kella mehanismi abil liikuma pandud paberist silindri peale jooni tõmbab. Paber on kraadide ja tundide võrguga kaetud. (Ära seletada diagramm J. 58.)

7. Maakera temperatuur. Juba 6 m sügavusel on maakera temperatuur aasta läbi üks ja sama (umbes keskmine aasta temperatuur).



J. 58. Temperatuuri käik jaanuarikuu päeval.

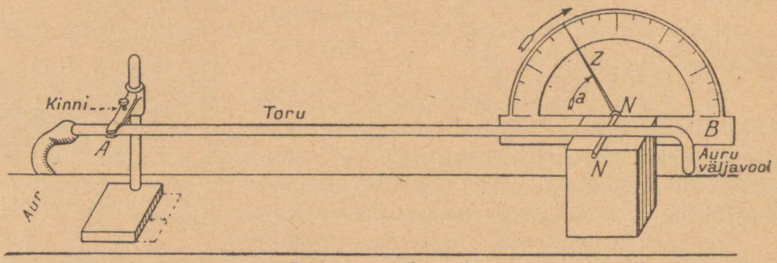
Sügavamale maakera sisse tungides tõuseb temperatuur 1° C võrra umbes iga 33 m peale. Maakera pinnast kõrgemale tõustes langeb õhu temperatuur 1° C võrra umbes iga 200 m peale. (Kunni 4000 m kõrguseni.)

Ülesanded:

1. Kui pikk on piiritus-termomeetri üks Celsiuse kraad, kui termomeeter 15 cm³ piiritust sisaldab ja termomeetri toru läbimõõt 1 mm² on, ning 1 cm³ piiritust 1° soojendamisel 1 mm³ võrra paisub? (V. 1,5 cm.)
2. Temperatuuri kraadide teisendamised Celsiuse, Réaumuri ja Fahrenheiti järele.
3. 1 cm³ elavhõbedat paisub iga Celsiuse kraadi soojendamisel $^1/_5$ mm³ võrra; kui palju paisub ta 1° R, 1° F järele? (V. $^1/_4$, $^1/_9$ mm³.)
4. Raud sulab 1200° C kuumuses. Kui sügaval h maakera sees on sarnane temperatuur? (Maakera raadius 6370 km.) (V. $h = 1200 \cdot 33$ m $= 39{,}6$ km.)
5. Kui tööline kestvalt ainult 37° C temperatuuri välja kannatada võib, kui sügavalt on siis võimalik mäekaevandusi kasutada?

§ 11. Kindelkehade paisumise mõõtmine.

1. Kangi pikenemist võib mõõta, kui kangi ühe otsa alusele kinnitame ja teise õmblusnõela (*NN*) peale paneme (J. 59), mis



J. 59. Toru pikenemine.

näitajaga ühendatud. Kangi soojendamisel hakkab näitaja pööruma. Kangi asemel võetakse harilikult 1 m pikkune toru, millest auru läbi juhitakse.

a) Alguses tuleb mehaaniliselt selgitada, kui palju toru peab edasi liikuma, et näitaja terve ringi, s. o. 360° teeks. Olgu selleks, näiteks, vaja 9 mm; siis vastab $\sphericalangle$ 1° pikenemine $\frac{9 \text{ mm}}{360} = 0{,}025$ mm.

b) Pöörab katse ajal näitaja $\sphericalangle$ 60°, siis on pikenemine $d = 60 \cdot 0{,}025$ mm $= 1{,}5$ mm.

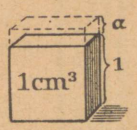
d) Tõusis toru temperatuur katse ajal 23°C pealt kunni 98°C — ni, tähendab, $98^0 - 23^0 = 75^0$, siis saame 1° C soojendamisel väikese pikenemise $\beta = \frac{1{,}5 \text{ mm}}{75}$ $= 0{,}02$ mm.

2. Pikenemise (joonpaisumise) **koeffitsiendiks** nim. arvu, mis näitab, millise osa keha 1° C soojendamisel 0° juures olevast pikkusest juure võtab. Pikenemine loetakse harilikult korrapäraseks. Sel põhjal on pikenemise kohta kaks seadust:

a) on kangi pikkus 0° juures l_0, siis paisub ta 1° soojendamisel $\beta \cdot l_0$, t^0 soojendamisel aga **pikenemine** $= \beta \cdot l_0 \cdot t$.

b) t^0 juures on kangi pikkus $l_t = l_0 + \beta \cdot l_0 \cdot t$, ehk

$$\boxed{l_t = l_0 \cdot (1 + \beta t)}$$



J. 60.

Pikenemise koeffitsiendid β:			
Klaas ja plaatina	0,000 009	Vask	0,000 017
Raud ja betoon	0,000 012	Messing	0,000 019
Tsink	0,000 029		

3. Ruumala paisumise koeffitsiendiks α nim. arvu, mis näitab, millise osa keha 0° juures olevast ruumalast 1° C soojendamisel juure võtab.

a) Et korrapäraline keha kolmes sihis — pikkus, laius, kõrgus — paisub, siis arvatakse ligikaudu, et $\alpha = 3\beta$. (J. 60.)

Tõendus. Kant-ruum, mille ruumala 1^3 omab 1° soojenemisel ruumala $(1 + \beta)^3 = 1 + 3\beta + 3\beta^2 + \beta^3$. Et β väga väike, siis on β^2 ja β^3 liiga väiksed ja neid võib arvesse võtmata jätta, nii et ruumala juurepaisumise suurus võrdub 3β.

b) On keha ruumala 0° juures V_0, siis kasvab tema ruumala t^0 võrra soojendamisel $\alpha \cdot V_0 \cdot t$ võrra.

d) Keha ruumala t^0 juures on siis $V_t = V_0 + \alpha \cdot V_0 \cdot t$, ehk

$$\boxed{V_t = V_0 (1 + \alpha t)}.$$

4. Aine erikaal oleneb aine temperatuurist. Erikaalu t^0 juures saame siis, kui erikaalu 0^0 (mis tabelites harilikult antakse) juures n. n. paisumis-binoomiga $1 + \alpha t$ jagame:

$$\boxed{S_t = S_0 : (1 + \alpha t)}.$$

Tõendus: erikaalu valemis $S_0 = \frac{G}{V_0}$ muutub temperatuuriga ainult nimetaja: $s = \frac{G}{V_t} = \frac{G}{V_0 (1 + \alpha t)} = S_0 : (1 + \alpha t)$.

5. Kasulikud tarvitamised igapäevases elus.



J. 61. Taandud pendel.

a) Ainete pikenemist peab silmas pidama raudsildade ehitamisel, raudtee-rööbaste panemisel.

b) Mitmekesist tarvitamist leiab ka suur kokkutõmbe jõud, mida tulised kehad jahenedes avaldavad. Suurtükkide, tuletornide alusehituste, vankrirataste võrud ja vitsad tõmmatakse peale tulises olekus. Langevate müüride vahele kinnitatakse tuliseks aetud raudkangid.

d) Mitmesuguste kehade paisumine on isesuurune, millega seletatav laki pudenemine puu pinnalt, glasuuri lõhkemine ahjudel. — Raua ja betooni paisumise koeffitsiendid on ühesugused, mispärast raud-betooni ehitused kindlad. Taandud-ehk kompensatsioon pendel (J. 61) seisab koos raudlattidest *E*, mis allapoole võivad paisuda ja tsinklattidest *Z*, mis ülespoole paisuvad. On raudlattide pikkus umbes 3 korda tsinklattide pikkusest suurem, siis taandavad raua ja tsingi paisumised üks teist nii, et pendli pikkus igasugusel temperatuuril muutmataks jääb. Kui $^1/_7$ klaasi ruumala täita elavhõbedaga, siis on ülejäänud ruumalal iga temperatuuri juures üks ja sama suurus (paisumata ruumala); põhjuseks on asjaolu, et elavhõbeda paisumise koeffitsient on ümmarguselt 7 korda suurem, kui klaasil.

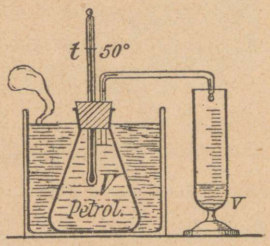
Ülesanded.

1. Katsel J. 45 on messingist kera läbimõõt 0^0 C juures 5 cm suur; kui suur on ta 800^0 juures? (V. 5,076 cm.)
2. Katsel J. 46 on teraslati pikkus 0^0 juures täpselt 20 cm. Kui pikk on ta 900^0 juures ja mitu ringi võib mutter teha, kui kruvi käigu pikkus 1 mm? (V. 20,216 cm, $2^1/_6$ keeru.)
3. Palju pikeneb 1 km pikkune raudteerööbas, kui temperatuur — 8^0 pealt + 27^0 C peale tõuseb? (V. umbes 42 cm.)
4. Raudkang on 0^0 C juures punktipealt 100 cm pikk; missuguse temperatuuri juures on ta 1 mm võrra pikem? (V. $t = 83{,}3^0$.)
5. Raud-ja tsinklatid on metall-termomeetris 0^0 juures 30 cm pikad; missuguse temperatuuri juures on nende vahe 0,1 mm? (V. + 20^0 ja — 20^0 C.)
6. Klaasnõu ruumala (maht) on 0^0 C juures 1,723 l suur; kui palju on ta 18^0 juures suurem? (Õõnsad kehad paisuvad niisama, nagu täidetud.) (V. 0,84 cm^3.)

§ 12. Vedelikkude paisumine.

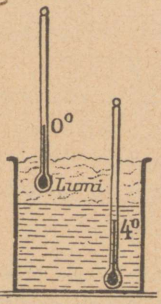
1. Vedelikkude ruumala paisumise koeffitsiendi α leiame ülevoolamise metoodi abil (J. 62).

Katse. a) Väike keeduklaas täidetakse petroleumiga ja kaetakse korgiga, milest termomeeter ja peenike käänatud klaastoru läbi juhitud. Keeduklaas pannakse jäässe, ja termomeeter surutakse niivõrd sügavale, et vedelik toru täidaks. b) Pärast seda pannakse keeduklaas kuumavee vanni ja juhitakse ülevoolav petroleum môôduklaasi (mensuuri); d) arvamine: 1 cm³ paisumise ülesleidmiseks 1° C soojendamisel vaja ülevoolanud petroleumi hulka v jagada, esiteks, temperatuuri kraadide tôusu arvuga ja teiseks, keeduklaasi ruumalaga V, nii et $\alpha = \frac{v}{V \cdot t}$. Et selle juures ka nôu paisub, siis on ülevoolava vedeliku hu k vähem, kui peaks olema, ja saadud arv α on klaasnôu paisumise koeffitsiendi vôrra väiksem.



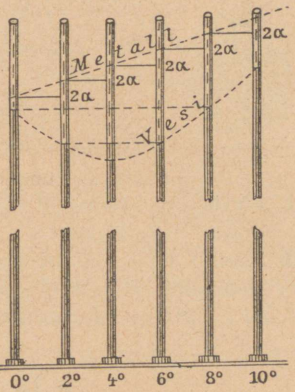
J. 62.

Vedelikkude paisumis-koeffitsiendid α:					
Elavhôbe . .	0,000 182	Väävelhape .	0,000 550	Vesi	0,001 180
Glütseriin . .	0,000 550	Petroleum . .	0,001 000	Eeter	0,001 600



J. 63. Vee kôige suurem tihedus.

2. Vee paisumine ei ole korrapärane. Soojendades vett 0° kunni 4° C, tômbub ta kokku; alles peale 4° soojendamist paisub vesi (alguses pikkamisi, lôpuks 8 korda rohkem kui elavhôbe). See on **vee iseäralsus.** Tähendab, "4° C juures on vee tihedus kôige suurem".



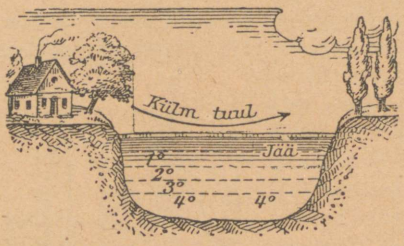
J. 64. Vee korratu paisumine.

Seda näitab ka järgmine katse (J. 63). Vee peale asetatakse kiht jääd ehk lund. Mône aja pärast näitab alumine vee kiht 4° C, pealmine aga 0° C. Tähendab, 4° C vesi on raskem, kui 0°.

Diagrammis J. 64 kujutavad kôrgused ühte ja sama vee-sammast mitmesuguses temperatuuris. Sellest on näha, et veel 8° juures sama ruumala on, mis 0°. Vôrdluseks on kujutatud ka elavhôbeda samba paisumine, mille suurus iga kraadiga α; vastav diagramm on sirgjoon.

3. Seletus, miks järv pinnalt kinnikülmetama hakkab (J. 65).

Puhub järvel, näiteks, 8° C külm tuul, siis jaheneb pealmine vee kiht, saab raskemaks ja langeb põhja, kuna tema asemele soojem vesi kerkib. Sedaviisi tekivad vees voolud, mis nii kaua kestavad, kunni kõik järvevesi 4° temperatuuri omab. Jahenevad pealmised kihid 3°-ni, siis on vesi kergem ja jääb peale. Sedaviisi tekivad kihid. Nõnda algab järve külmetamine pinnalt. (Tähtis kaladele.)



J. 65. Järve külmumine pinnalt.

4. Teine iseäralsus on veel ärakülmumisel. Suuremal hulgal kehadest väheneb ruumala, kui nad kindlaks muutuvad. Ärakülmunud vesi aga paisub; 10 l vett annavad ümmarguselt 11 l jääd. Sellejärele on jää erikaal väiksem, kui veel ($s = 0{,}92$ g/cm³) ja ta ujub vee peal.

Katse: katseklaas, mida vesi 10 cm kõrguselt täidab, pannakse külmetis-segusse; ärakülmades seisab jää 11 cm kõrgusel.

Paisumine sünnib suure jõuga.

Täidetakse paksu seintega raudpomm veega, kruvitakse hästi kinni ja pannakse külmetavasse segusse; pomm lõhkeb (J. 66).


J. 66.

Talvel ärakülmav vesi lõhub kaljud, pudestab põllumaad.

5. Baromeetri seisu taandamine 0°-le sünnib valemi järele

$$l_o = \frac{l_t}{1 + \alpha t} = \text{umbes}\left(l_t - \frac{t}{7}\right).$$

Ülesanded:

1. Elavhõbeda erikaal 0° C juures on $s_0 = 13{,}596$. Kui suur on ta 200° C juures? (V. 13,118.)
2. Miks ei kõlba vesi termomeetri vedelikuks?
3. Hommikul oli + 2° C sooja ja baromeeter näitas 720 mm; pärast lõunat oli + 30° C ja baromeetri kõrgus 722 mm. Millal oli õhurõhumine suurem?

§ 13. Gaaside paisumine.

1. Kõikide gaaside paisumise koeffitsient on $\alpha = 0{,}00367 = {}^1/_{273}$, s. o. 1° C soojendamisel paisub iga gaasi hulk $^1/_{273}$ sellest ruumalast, mis temal 0° juures on.

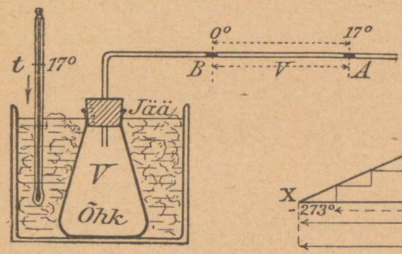
Tõenduseks tarvitatakse keeduklaasi, mis varustatud horisontaalseks painutatud toruga, milles on tilk elavhõbedat klaasis oleva õhu korgitamiseks (J. 67). Klaas pannakse toa t° temperatuurist 0° jäässe. Toru AB on senti-

meetritesse jagatud. Katsel näeme, et iga kraadi jahenemisel tilk W ikka ühepalju pahemale poole liigub. Kui tilk õhu jahenemisel t^0 võrra v cm³ tagasi liigub, siis on

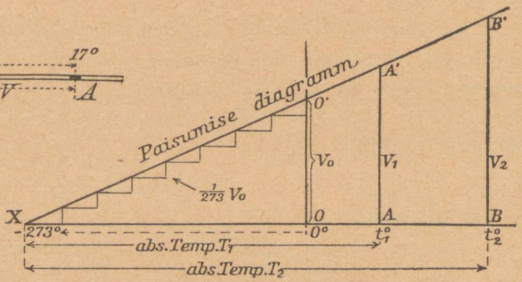
$$\alpha = \frac{v}{t \cdot V} = \boxed{\frac{1}{273}},$$

milles V keeduklaasi ruumalale võrdub.

2. Diagramm. Kanname horisontaal-joonele temperatuurid 0^0, 1^0, 2^0 . . . ja seame iga lõpupunkti loodjoone (ordinaadi), mille kõrgus selle temperatuuri juures olevale gaasi ruumalale vastab. Ruumala kasvab iga kraadi tõusmisel kindla suuruse võrra, nimelt $^1/_{273} V_0$. (Võrdlus trepi astmetega.) Tähendab, paisumise diagramm on sirgjoon.



J. 67. Õhu paisumine.



J. 68. Gaasi paisumine.

3. Absoluutne null. Gaasihulka jahendades, tõmbub see kokku iga kraadiga kindla suuruse $^1/_{273} V_0$ võrra. Sellest järgneks: kui gaasihulka — 273° C-ni jahendada, siis tema ruumala null peaks olema, mis aga võimata. Van der Waals'i järele oletatakse, et — 273° juures gaasi moleküülide kaugus üks teisest peaaegu null on, s. o. et moleküülid paigal püsivad. Sellest järeldatakse, et temperatuur — 273° C kõige madalam temperatuur on, mis üldse olemas. Seda skaala punkti nim. absoluutseks nulliks ja temperatuuri, mida sellest punktist arvatakse, — absoluutseks temperatuuriks.

Absoluutse temperatuuri saame, kui Celsiuse kraadidele 273° juure lisame. Näiteks, 7° C = 280° abs. temperatuuri.

4. Gay-Lussac'i seadus. Diagrammi J. 68 vaatlemisel leiame kolmnurkade xAA' ja xBB' sarnasuse põhjal, et gaasi ruumalad on proportsionaalses vahekorras vastavate absoluut-temperatuuridega:

$$\boxed{V_1 : V_2 = T_1 : T_2}$$

(Selle juures peab gaasirõhk muutmataks jääma.) Lühidalt on

seadus järgmine: "gaasihulga ruumala muutub proportsionaalselt absoluut-temperatuurile".

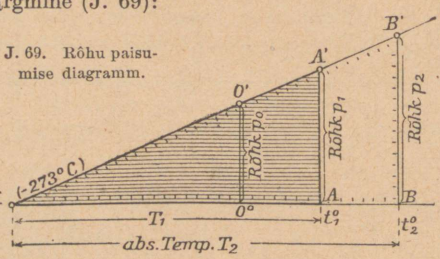
Näide: 7° C juures on õhupalli ruumala 560 m³; kui suureks kasvab ruumala, kui temperatuur 27° peale tõuseb? (V. 600 m³.)

5. Õhu rõhumine nõu seinte vastu kasvab, kui teda kinnises nõus kuumendada. (Ettevaatust!) Katse näitab, et ka gaasi rõhumine kasvab proportsionaalselt abs. temperatuurile, kui gaasi ruumala muutmataks jääb:

$$P_1 : P_2 = T_1 : T_2 .$$

Tõendus kummitoruga manomeetri (§ 15) või Papin'i katla (J. 53) abil.

Katame Papini katla 0° jääga ja korgitame ta õhukindlalt kinni. Manomeeter näitab normaalset õhurõhumist 1 at. Siis kuumendame piiratud õhku astmete kaupa, iga aste 273° C järele suur. Manomeeter tõuseb iga astmega 1 at võrra. Seda võib jälle diagrammi abil üles tähendada. Diagramm on järgmine (J. 69):



J. 69. Rõhu paisumise diagramm.

$t =$	0° C	273° C	546° C	819° C
$P =$	1 at	2 at	3 at	4 at

Tähendab, sirgjoon, mis abs. nullist (—273° C) läbi läheb. —273° C juures on iga gaasihulga rõhumine seinte vastu null. (Molekuülid on paigal.) Diagramm joonisel 69 seletab, et 1° C soojendamisel kasvab gaasi rõhumine $\alpha = {}^1/_{273}$ võrra sellest rõhumisest, mis on gaasil 0° C juures.

§ 14. Boyle-Mariotte Gay-Lussac'i seadus.

1. Gay-Lussac'i seadus $V_1 : V_2 = T_1 : T_2$ on maksev ainult senni, kunni gaasi rõhumine p muutmata; Boyle-Mariotte'i seadus $V_1 : V_2 = p_2 : p_1$ aga senni, kunni temperatuur muutmata.

Muutuvad gaasikogu temperatuur ja rõhumine ühel ajal, siis on võimalik gaasi lõpulikku ruumala välja arvata, kui mõlemaid eespool nimetatud seadusi üks teise järel tarvitada.

a) Võtame näite. Õhupalli ruumala suurus 27° C ja 720 rõhumisel on 600 m³. Kui suur on selle ruumala 7° C ja 560 mm baromeetri rõhumisel?

720 mm rõhumisel, 300° abs. temp. — ruumala = 600 m³
560 „ „ 280° „ „ „ = V (?).

$$V = 600 \cdot \frac{280}{300} \cdot \frac{720}{560} \text{ m}^3 = 720 \text{ m}^3.$$

b) **Üldiselt** saame, kui p_1, T_1, V_1 tähendavad gaasi rõhumist, abs. temperatuuri ja ruumala esimeses, ja p_2, T_2, V_2 — teises olekus et

$$V_2 = V_1 \cdot \frac{p_1}{p_2} \cdot \frac{T_2}{T_1}.$$

2. Oleku võrrand. Harilikult kirjutatakse Boyle-Mariotte-Gay-Lussac'i seadust (et parem meeles pidada) järgmiselt

$$\frac{V_1 \cdot p_1}{T_1} = \frac{V_2 \cdot p_2}{T_2}.$$

Pahem pool oleneb ainult gaasi esimesest, parem pool—teisest olekust. Tähendab, kõigile gaasi olekutele on $V \cdot p/T$ kindel suurus, mida lühidalt gaasi jäädavaks arvuks (R) nimetatakse. Sellepärast nim. eelpool antud võrrandit **gaasi oleku võrrandiks.**

Tähendab, igasugustel gaasihulga muutustel jääb suurus: **ruumala korrutatud rõhumisega ja jagatud absoluut-temperatuuriga** kindlaks arvuks. $\boxed{V \cdot p/T = R}$. On gaasi oleku võrrandis 5 suurust teada, siis leiame ka kuuenda suuruse.

3. Normaalne ruumala. Gaasi kaal. Gaasihulga normaalseks ruumalaks V_0 nim. tema ruumala normaal-tingimistes, s. o. 0° C ja 760 mm rõhumisel. Punkt 1.b järele on otsitav normaalne ruumala

$$\boxed{V_0 = V \cdot \frac{p}{760} \cdot \frac{273}{T}}$$

Gaasihulga kaalu arvamisel peab alati selle normaalse ruumala välja arvama, sest et tabelites antud gaasi erikaal S_0 ainult neis tingimistes maksev on. Selle järele on:

$$\boxed{\text{gaasi kaal } G = V_0 \cdot S_0} \text{ ehk } \boxed{G = V \cdot \frac{p}{760} \cdot \frac{273}{T} \cdot S_0}.$$

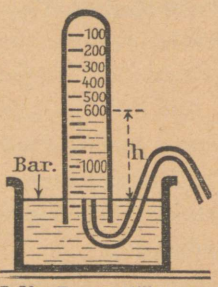
Atmosfääri õhu erikaal $S_0 = 0{,}001293$ g/cm³; vesiniku $S_0 = 0{,}000090$ g/cm³. Teiste gaaside erikaalud on suhtelised (relatiivsed), kus juures üksuseks füüsikas õhku, keemias vesinikku arvatakse.

Gaaside erikaal ja tihedus (0° C ja 760 mm rõhul)

Vesi = 1		õhk = 1	vesinik = 1
Atmosfääri õhk	0,001293 g/cm³	1	14,45
Süsihapugaas	0,001975 „	1,52	22
Vesinik	0,000090 „	0,0696	1
Hapnik	0,001429 „	1,103	16
Valgustusgaas, umbes	0,000569 „	0,44	6,4
Vee aur 100° juures	0,0006059 „	umbes 5/8	6,8

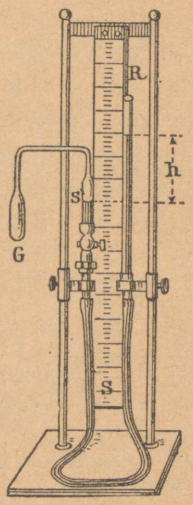
Ülesanded.

1. Leida normaalne ruumala, kui on antud: a) 11 l ôhku 720 mm rôhul ja 27,3° C (V. 9,474 l); b) 600 cm³ hapnikku 27° C (J. 70), kui baromeetri rôhumine 725 mm ja vee kôrgus h = 68 mm on. (Vastus: 517 cm³.)



J. 70. Pneumaatiline vann.

2. Kui palju kaalub: a) 11 l ôhku 27,3° C ja 720 mm rôhul? b) 120 l ôhku 17° C ja 713 mm rôhul? d) 8 l vesinikku 27° C ja 720 mm rôhul? [V. a) 12,256 kg; b) 137,032 g; d) 0,621 g.]
3. Missuguse temperatuuri juures kaalub 1 l ôhku 720 mm rôhul 1 g? (V. 61,4°.)
4. Missugusel rôhumisel kaalub 1 liiter 0° ôhku täpselt 1 g? (V. 588 mm.)
5. 20 g vesinikku on 3-liitrelises pommis. Kui suurt rôhumist avaldab gaas seinte peale, kui see pomm keeva vette pannakse? (V. 101,48 at.)
6. Mitu g ôhku on 12-liitrilises pudelis täna vähem, kui eile 10° C juures ôhurôhk 701 mm oli, täna aga 27° C juures 720 mm on. (V. 0,429 g.)
7. Toa pikkus on 4 m, laius 3 m, kôrgus 2,8 m. Kui palju kaalub toas olev ôhk 17° C ja 720 mm rôhul? Kui suur on ôhu erikaal 27° C ja 720 mm rôhul?



J. 71. Ôhk-termomeeter.

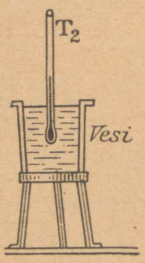
§ 15. Ôhk-termomeeter.

Ôhk-termomeeter (J. 71) seisab koos nôust G, mis sisaldab kuiva ôhku ja on ühendatud manomeetriga, mis kummitoruga varustatud ja elavhôbedaga täidetud. Tarvitamisel tôstetakse manomeetri lahtine haru R nii kôrgele, et elavhôbeda pind teises harus temasse sissesulatatud orani s tôuseks. Siis on gaasi rôhumine nôus $BGp = h +$ baromeetri kôrgus. Muutmata gaasihulga temperatuuride asemel môôdetakse rôhumist p_1, kui nôu G otsitavas temperatuuris T_1 ja rôhumist p_2, kui nôu sulavas jääs on ($T_2 = 273°$ abs. temp.). Et gaasi ruumala nôus G muutmataks jääb, siis on rôhumiste vahekord $p_1 : p_2$ proportsionaalne abs. temperatuuridele $T_1 : T_2$. Ôhk-termomeetrit tarvitatakse ülikôrgete ja ülimadalate temperatuuride môôtmiseks.

Soojuse hulk

§ 16. Soojuse üksus. Erisoojus.

1. Endine arvamine soojusest. Enne arvati, et soojus on väga peenike kaaluta aine, mis tuleleegist välja läheb ja kehasse tungib. (Vôrdlus käsnaga, mis vett sisse imeb.) Sedaviisi tuldi arvamisele, et iga keha soojust sisaldab.



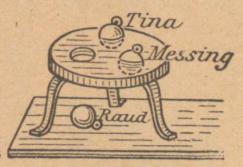
J. 72.

Tôuseb keha temperatuur, siis otsustame, et soojust kehasse juure tuli.

2. Soojuse hulga üksuseks loetakse seda soojuse hulka, mis 1 kg vee soojendamiseks 1° C vôrra tarvis läheb, ehk mille ta 1° C vôrra jahenemisel ära annab. Seda üksust nim. **suureks kalooriks** (1 Kal). Suurt kaloori nim. ka kilogrammkalooriks. Tuhandik osa suurest kaloorist nim. väikseks ehk grammkalooriks (1 kal.); viimane tôstab 1 g vee temperatuuri 1° C vôrra.

Näide. Soojendatakse 250 gr vett 15°C kunni 45°C, tähendab, 45° — 15° = 30° vôrra, siis tarvitab vesi 250 · 30 = 7500 kal. soojust (J. 72).

3. Üheraskuste kehade kuumendamine. Isesugusest ainest üheraskused kehad tarvitavad isepalju soojust, et nende temperatuur ühevôrra tôuseks. Seda näitab:



J. 73.

a) katse vahast kettaga. Rauast, messingist ja tinast 100 g kerakesed soojendatakse veevannis ühesuguse temperatuurini ja seatakse siis vahast kettale. Rauast kerake sulab kôige kiiremalt vahast läbi; ta on endasse kôige rohkem soojust vôtnud (J. 73).

b) Katse segamisega: soojendatakse veevannis (näiteks, kunni 60° C) niidi otsas rippuvaid 200 gr raua- ja 200 gr vasetükki; siis pannakse môlemad eraldi klaasi, milles 100 gr toatemperatuurilist (näit. 16° C) vett. Raua môjul tôuseb temperatuur umbes 7,9° C, vase môjul aga 6,7° C vôrra.

4. Aine **erisoojuseks** *c* nim. soojuse hulka, mis 1 gr (vôi 1 kgr) vastavat ainet 1° C vôrra soojendab.

Erisoojuste tabel

Plaatina, tina, kuld	0,03 kal/gr	Elavhôbe	0,033 kal/gr
Messing, tsink, vask	0,09 „	Ôhk	0,24 „
Raud, nikkel	0,11 „	Jää	0,50 „
Klaas, väävel	0,20 „	Vesi	1,00 „

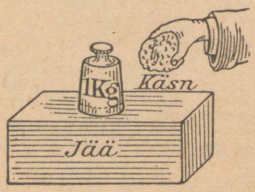
Vee erisoojus on 1. Kõigi teiste kehade erisoojus, peale vesiniku, on vähem.

5. Soojuse hulga suurus Q, mille keha G gr raske ära annab, kui temperatuuri T^0 pealt t^0-ni, s. o. $T^0 - t^0$ võrra langeb, on

$$\boxed{Q = G \cdot (T - t) \cdot c \text{ (kal.)}},$$

sest et iga gr ühe kraadi langemisel c kal. kaotab, mis aine erisoojusele võrdub.

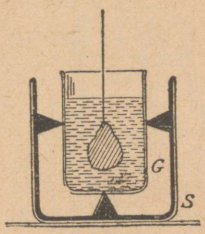
Selle valemi abil võib soojuse hulga suurust välja arvata.



J. 74. Sulamis-metood.

Näide. Rauast 1 kg viht, mis 80° C soe, pannakse jäätüki peale (J. 74). Kui palju soojust andub jääle? Vastus: $Q = 1000 \cdot (80 - 0) \cdot 0{,}11 =$ **8800 (kal).** Kui selle juures saadud vee hulk 110 gr kaalub (koguda vett käsnaga), siis tarvitas jää 1 gr sulamiseks 8800 : 110 = 80 (kal) soojust. (Jää sulamissoojus.)

6. Segamis-ülesanded. Kui soe ja külm keha kokku puutuvad, siis andub soojus soojemast kehast külmemasse senni, kunni mõlemate kehade temperatuurid ühtuvad. Selle juures maksab seadus, mille Richmann (1750) esimesena üles seadis: **Kui palju üks keha soojust kaotab, nii palju teine võidab.** Selle seaduse põhjal võib, näiteks, kehade erisoojust või temperatuuri välja arvata, milleks aine erisoojust peab teadma.



J. 75. Kalorimeeter.

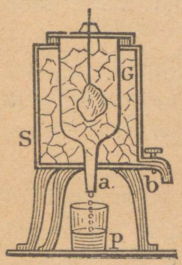
Näide. 250 gr rauatükk kuumendatakse 50° C soojaks, siis pannakse ta 100 gr vette, mille temperatuur 19° C on, segatakse hästi ja leitakse lõpulik temperatuur 26° C. Leida raua erisoojus X? Vastus: $250 \ (50 - 26)\ X = 100 \ (26 - 19)$; $X = 0{,}11$ kal./gr.

7. Kalorimeeter. Segamis-katsetes kaob osa soojust nõu soojendamiseks. Täpsetel mõõtmistel peab seda arvesse võtma. Selleks tarvitatakse kalorimeetrit (J. 75), mis koos seisab metall-nõust G, milles segatakse, ja läikivast poleeritud kaitse-nõust S; mõlemad nõud kokku ei puutu. (Korgist vahepulgad.)

Kalorimeetri vesiarv. On kalorimeetri nõu G raskus 100 g ja tehtud vasest ($c' = 0{,}09$), siis tarvitab ta enese soojendamiseks ühe kraadi võrra $100 \cdot 0{,}09 = 9$ (kal.) soojust; nõus oleks ikka nagu 9 g vett rohkem kui on. Seda arvu nim. kalorimeetri vesiarvuks ja ta võrdub kalorimeetri kaalule korrutatud erisoojusega.

8. Keha erisoojust saab ka jää abil, nagu J. 74, teada, kus juures toetatakse lause peale: 1 g jääd tarvitab ärasulades 80 väikest kaloori soojust.

Jää-kalorimeeter (J. 76) seisab koos nõust, mis varustatud toruga a, mille kaudu jääst sulanud vesi välja voolab. Vaheruum nõude G ja S vahel on ka jääga täidetud, et jää temperatuuri nõus G 0° C hoida. Kaalub keha, mille erisoojus c, G grammi ja langeb tema temperatuur t^0 võrra (kunni nullini), kus juures W g jääd veeks sulab, siis on



J. 76. Jää-kalorimeeter.

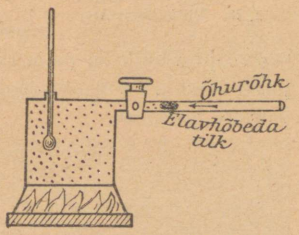
keha soojuse kaotus $Q_1 = c \cdot G \cdot t$ kal.

jääle antud soojus $Q_2 = 80 \cdot W$ kal.

Richmanni seaduse järele $Q_1 = Q_2$, mille järele

$$c = \frac{80 \cdot W}{G \cdot t}.$$

9. Gaasidel on kahesugune erisoojus. 1 gr gaasi temperatuuri tõstmiseks 1° C võrra on katsete järele umbes 41 % vähem soojust tarvis, kui gaasi ruumala paisumist takistatakse (J. 77). Peab vahet tegema kindla ruumalaga gaasi erisoojuse c_v ja kindla rõhumisega erisoojuse c_p vahel.



J. 77. Paisumiseta soojendamine.

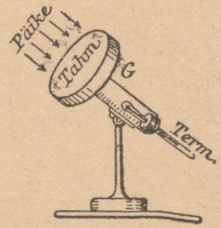
Erisoojus	c_v kindel ruumala	c_p kindel rõhumine	$k = c_p/c_v$
Atm. õhk .	0,17	0,24	1,41
Vesinik . . .	2,41	3,40	1,41
Vee aur . .	0,37	0,48	1,30

Ülesanded.

1. 125 g klaasist mass jaheneb 900° kunni toa temperatuurini 16° C. Mitu kal. kaotab see keha? (V. 22,1 kal.)
2. Missugune on segu temperatuur, kui segatakse 35 g vett 80° C 58 g veega 12° C? (V. 37,6° C.)
3. 20 g raske kuumendatud klaastükk pandi 100 g 15° C vette. Lõpulik segamis-temperatuur oli 25°. Missugune oli klaasi temperatuur? (V. 275° C.)
4. 8 m pikkuse, 5 m laiuse ja 4 m kõrguse ruumi temperatuur tõusis päeva jooksul — 3° kunni + 27°. Kui palju omas õhk soojust, kui baromeetri kõrgus 720 mm oli? (V. 1427 kal.)
5. Bunseni (gaasi) lambi leegis kaua aega kuumendatud 13 g vasetükk pannakse 100 g 16° C vette. Lõpulik temperatuur on 26°. Kui suur oli sel juhusel leegi temperatuur? (V. 881°.)
6. 1 cm³ rauatüki temperatuur tõusis 1° võrra. Mitu kal. oli selleks vaja?

§ 17. Soojuse allikad.

1. Päike on kõige suurem loodusline soojuse allik. 1 cm² saab temalt ümmarguselt 4 kal. minutis.



J. 78. Pürheliomeeter.

Tõendatakse seda pürheliomeetri (J. 78) abil, mis koos seisab veega täidetud ja eestpoolt tahmaga kaetud karbist ja mida nii seatakse, et päikese kiired otse ta peale langevad.

Päike on tuline vedel kera, mille läbimõõt umbes 1,5 miljoni km ja kaugus maakerast 150 milj. km (J. 79).

Päike saadab vahetpidamata ilmaruumi soojuse laineid, millest maakera ühe 2300 miljondiku saab. See soojuse hulk on palju suurem, kui maakeral kunstliselt saavutatud soojused kokku. Päikese soojus sulataks maakera pinnal aasta jooksul 33 m paksuse jääkorra.


J. 79. Tõusev paike.

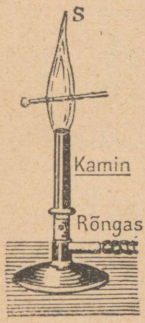
2. Põlemine. Päikese soojusega ei saa toitu keeta; selleks on tarvis väikese pinna peale suuremat soojust koondada, mida ainete (puu, kivi, süsi, valgustus-gaas, piiritus) põletamisega saadakse. Maakera kivisöe lademed lõpevad otsa umbes 800—1000 aasta pärast. Aseainena tarvitatakse elektri soojust.

Põlemis-soojuseks nim. soojuse hulka, mida annab 1 kg põlevat materjaali.

Põlemis-soojuste tabel		
Kivisüsi 4—8000 Kal/kg	Petroleum 12000 Kal/kg	Piiritus 7000 Kal/kg
Vesinik 34000 „	Valgustus-gaas 10000 „	Puu 3600 „

Katse. Soojendades piirituse lambiga 1 l vett 7° C vôrra, leiame kaaludes, et 1 g piiritust ära on pôlenud.

Süütamine. Pôlemahakkamise eel käib süütamine, tähendab: vaja väikest pôletismaterjaali osa n. n. süütamise temperatuurini kuumendada. On see sündinud, siis vabaneb pôletisaine väikese osa ärapôlemisel järsku nii palju soojust, et teised osad iseenesest süütamistemperatuuri omavad.

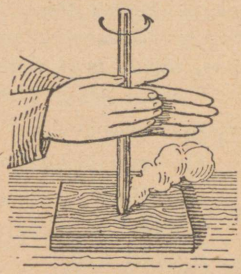


J. 80. Bunseni lamp.

Pôlemine sünnitab suuremalt jaolt leeke.

Leegid on pôlevad gaaskehad. Pôlemise all môistetakse keemilist pôletisaine ühendust ôhu hapnikuga.

Kôigest suurem kuumus on leegi välimises osas; gaasi leegi sisemine ruum on näiteks külm.

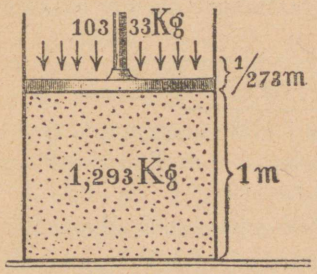

J. 81. Metsrahvaste tule saavutamise viis.

a) Kui peergu pôigiti leegis hoida, siis pôletab leek peergu kahest kohast (J. 80). — Tiku pead vôib kiirelt leegi keskpaika pista, ilma et ta pôlema hakkaks.

b) Leegi kustutamine tähendab selle jahendamist alla poole süütamistemperatuuri; leegi lämmatamine aga hapniku ligipeasemise takistamist.

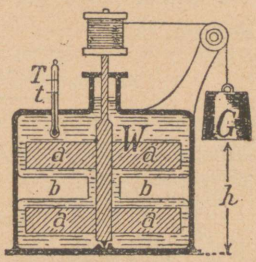
3. Soojust vôib ka hôôrumise teel saada. Metall-raha hôôrumine laua vastu kuumendab raha.

Vankri telgede tuliseks minemine. Metsrahvad saavutavad tuld puutükkide hôôrumisega (J. 81). Tule süütamine tuliraua (kivi ja terase) abil. — Tiku süütamine. Rumfordi järele kuumenevad suurtükid nende kaanalide treimisel sedavôrd, et vesi neis keema hakkab.



J. 82. R. Mayeri katse.

Et hôôrumisel tööd tehakse, siis tuli arst Robert Mayer'il (1842) môte välja arvata, kui palju peab tööd tegema, et soojuse üksust saada. Uuemad katsed näitavad, et



J. 83. Joule'i katse.

1 kaloor = 427 mkg

Seda vahekorda nim. töö äkvivalendiks ehk ka soojuse mehaaniliseks äkvivalendiks.

a) Inglane **Joule** (Dshaull) oli esimene, kes selle äkvivalendi katselisel teel välja arvas (1843). Ta langetas raskust G, mis kalorimeetris vastava ehitusega ratast keerutas, mille tõttu vesi soojenes (J. 83). (Tehtud töö $G \cdot h$ ja saadud soojuse hulk $Q = V(T - t)$ olid mõõdetavad.)

b) **Robert Mayer** leidis äkvivalendi sügava arvutamise järele. Tema toetas oma arvutust mõttele: ruumala paisumisel tarvitab gaas rohkem soojust, sest et peab õhurõhu vastu tööd tegema.

Arvutamine. I. 1 m³ (J. 82) sisaldab 1,293 kg õhku ja tarvitab 1° C võrra soojenemiseks

kui ruumala muutmataks jääb $Q_1 = \delta \cdot c_v = 1{,}293 \cdot 0{,}1684$ *Kal.*

kui rõhumine „ „ $Q_2 = \delta \cdot c_p = 1{,}293 \cdot 0{,}2375$ „

Tähendab, teisel juhusel rohkem, kui esimesel $Q_2 - Q_1 = \delta\,(c_p - c_v) = 0{,}0886$ *Kal.*

II. Teisel juhusel rohkem saadud soojuse tarvis on tehtud tööd, et õhurõhumisele $P = 10333$ kg ulatusel $\alpha = {}^1/_{273}$ m vastu panna. Tähendab, tehtud töö võrdub $P \cdot \alpha = 10333 \cdot {}^1/_{273} = 37{,}85$ (mkg).

Sedaviisi vastab 1 kaloor $= 37{,}85 : 0{,}0886 = \sim 427$ (mkg) tööle.

d) Ka soojust võib tööks muuta, mida aurumasin näitab, mille abil soojus tööks muudetakse. Töö moondumise lauset soojuseks, kus juures 1 Kal. = 427 mkg, nim. **mehaanilise soojuse teooria esimeseks põhilauseks.** (Võrdle § 23, 6 II põhilausega.)

4. Uuemad vaated soojuse kohta. Kõike seda, mis tööks võib muuta, ehk millel võimalus on tööd teha, nim. füüsikas energiaks; tähendab, soojus on energia. Et keha igas kõige vähemas osakeses soe on, siis

soojus = moleküülide energiale.

Gaaside kineetilise teooria järele arvatakse, et ka vedelikkude ja kindelkehade moleküülid elavas võnkuvas liikumises on, ja et need liikumised ongi soojustunde põhjuseks, mida kehakatsuv käsi tunneb.

Keha saab tuliseks: moleküülide liikumine läheb elavamaks. Kui selle juures teatud piirist üle minnakse, muudab keha oma olekut: sulab, muutub auruks (ehk gaasiks; § 18).

§ 18. Sulamis-punkt. Sulamis-soojus.

1. Sulamis-punktiks nim. temperatuuri, milles keha sulama hakkab, s. o. kindlast olekust vedelaks muutub.

2. Sulamiseks tarvitab keha soojust, mida sulamiskatses jäätükil nägime (J. 74).

3. Sulamissoojuseks nim. soojuse hulka, mis vaja, et 1 kgr (või 1 gr) ainet kindlast olekust vedelaks muuta ühes ja samas sulamis-temperatuuris.

Enne nimetati seda soojust varjatud soojuseks, sest et juure antud soojus sulava keha temperatuuri ei tõstnud. Sisuliselt muutub see soojus tööks, mida vaja teha moleküülide kooshoiu-jõu vähendamiseks.

Sulamis-punktide ja sulamis-soojuste tabel

Plaatina	1750°	27 kal/gr	Inglis tina	230°	13,3	kal/gr
Malm	1200°	33 „ „	Vaha	62°	42,3	„ „
Tsink	420°	28 „ „	Jää	0°	80	„ „
Tina	327°	6 „ „	Elavhõbe	—40°	2,80	„ „

Jää sulamis-soojust saab kergesti kätte, kui tükk jääd soojas vees ära sulatada ja vee jahenemine ära mõõta.

Näiteks. Segatakse 90 g vett 50° C } lõpulik temperatuur 40° C.
7,5 g jääd 0° C }

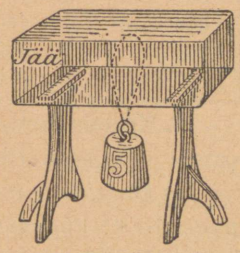
Arvutamine: jää võitis soojust $Q = (7{,}5\,x + 7{,}5 \cdot 40)$ Kal.; vesi kaotas $Q_2 = 90 \cdot (50 - 40)$ Kal. $Q_1 = Q_2$, millest $x = 80$ (kal/g).

4. Vedela keha kindlaks **angumine** sünnib selles samas temperatuuris, milles keha sulab. Angumis-punkt = sulamis-punktile. Angumisel vabaneb sulamis-soojus.

Ülejahendamine. Keedetud (õhuta) vett võib jahendada alla 0° ilma et ta jääks külmuks, kui teda igasuguste põrutuste eest kaitsta.

Näiteks. 100 g vett on ülejahendatud — 10° C. Et vee temperatuuri 0° tõsta, vaja 100 · 10 kal. soojust. Sellepärast tekib kõigest 1000:80 = 12,5 gr jääd, ja ülejäänud osa (100 — 12,5) gr = 87,5 gr jääb vedelaks.

5. Sulamis-punkti muudatused. a) Sulamis-punkt tõuseb rõhu kasvamisel kõrgemale neil kehadel, mis sulades paisuvad. — Jää vähendab sulades oma ruumala (11 l jääd annavad 10 l vett). Tähendab, jää sulamis-punkt alaneb rõhu kasvamisel, selle juures paindub ta iga vormi järele ja külmub rõhu kahanemisel uuesti. Viimast nähtust nim. **regelatsiooniks.**



J. 84. Regelatsioon.

Jääliugustikkude liikumise seletus. Metallraha ase jää peal. J. 84 seletus: kunni traat raskuse mõjul jäätüki läbi lõikab, külmuvad pealmised osad jälle kinni.

b) **Sulatised** sulavad kergem, kui üksikud ained, millest sulatis koos seisab. Tina sulab 326°, inglistina 230°, aga sulatis (2 Sn, 1 Pb) sulab juba 180°.

Wood'i (Vuudi) sulatise (4 Bi, 2 Pb, 1 Sn, 1 Cd) sulamis-punkt on 70°. — (Tarvitamine aurumasinate kaitsekorkideks.)

d) **Soolade lahunemisega** langeb vee temperatuur proportsionaalselt lahunevale soola hulgale.

Soola lahunemine tähendab selle moleküülide purunemist ja eraldumist, milleks vaja tööd teha; see töö võetakse soojuse näol lahutavalt ainelt, mis selle juures jaheneb.

Katse. Keedusoola, salmiaku, salpeetrit vette pannes langeb viimase temperatuur.

Külmetis-segud on jää või lume segud sooladega (näit. jäätise valmistamiseks). 3 osa jääd + 1 osa keedusoola annavad kunni —18° (külma); 10 osa lund + 7 osa kloorkaltsiumi — kunni —50° C (elavhõbe külmub ära).

Ülesanded.

1. Mitu kraadi sooja on 250 g 20° veel, kui temasse 10 g jääd pandi? (V. 16° C.)
2. Jäätükile, mille temperatuur 0°, pannakse 90° C kuum 3 kg raske tinast keha. Kui palju sulab vett? Mitu cm langeb keha jäässe? (V. 101 g; 112 cm.)
3. 25 g lund —15° C pannakse 500 g vette temperatuuriga +20° C; kui suur on segu temperatuur? (V. 14,9° C.)
4. Kui palju on tarvis soojust, et 1 cm^3 plaatinat, rauda, tsinki, tina, elavhõbedat, jääd ära sulatada?

§ 19. Keemis-punkt.

1. Keemis-punkt on kõrgem temperatuur, mis vedelikul olla võib. **Normaalseks keemis-punktiks** nim. keemispunkti normaalsel õhurõhul, s. o. 760 mm.

Normaalsed keemis-punktid					
Tina	915°	Glütseriin	290°	Piiritus	78°
Väävel	445°	Küllastud keedu-		Eeter	35°
Elavhõbe	357°	soola lahu . . .	108°	Väävlishape . .	—10°
Linaõli	316°	Vesi	100°	Söehape	—78°

2. Keemis-punkt oleneb rõhumisest, mille all vedelik on. Kõige parem võib seda näidata Papini katla abil.

a) On rõhumine suurem, kui 760 mm, siis tõuseb vee keemis-punkt 100° C kõrgemale; on olemas järgmine tabel (1 at = 735,5 mm):

Rõhumine p	1 at	2 at	3 at	4 at	5 at	6 at	7 at	8 at
Keemis-punkt . . .	99°	120°	133°	143°	151°	158°	164°	170°

b) Langeb rôhumine 760 mm alamale, siis on ka vee keemistemperatuur 100° C madalamal.

Tôendus. Toru *R* kauda võib Papini katlast (J. 85) õhku ja auru välja imeda; siis manomeeter näitab rôhumist, mis 1 at vähem.

Vedrumanomeetri *M* asemel tarvitatakse tundelikumat aurubaromeetrit *AB*, mis 1 m pikkusest elavhôbedasse pistetud torust koos seisab (J. 85).

On olemas järgmine tabel:

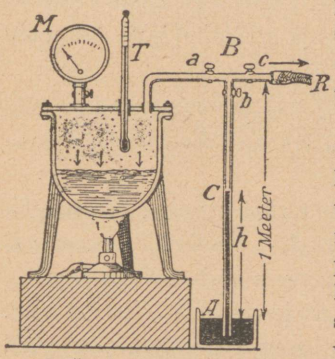
Rôhumine	4,6	9,2	17,4	31	55	92	149	233	355	525	760 mm
Keemis-temp.	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100° C

3. Lahtistes nôudes asetab õhurõhk Papini katlas tekkivat aururôhumist, mispärast keemise tingimiseks on nôue, et

aurupõnevus = õhurõhule

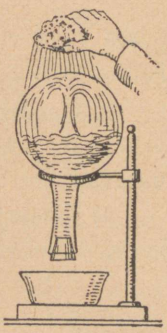
4. Keemine madalal rôhumisel.

a) **Mägedes** on õhurõhumine väiksem, kui merepinnal: vesi keeb vähem kui 100° temperatuuris; keemis-punkti 1° C alanemisele vastab baromeetri langemine umbes 25 mm võrra. Selle järele võib termomeetrit ka kôrguse môôtjaks tarvitada.



J. 85. Aurubaromeeter.

b) **Vesi ja eeter** keevad hôrendatud õhuga ruumis kaunis kergesti. Iseäranis tähelpanemiseväärt on järgmine katse (J. 86): kui veega pooleni täidetud keeduklaas kinni korkida, kui vesi keeb, siis on temas õhu asemel vee aur. Külma veega kondenseerime auru, mille tõttu selle rôhumine väheneb, ja kuum vesi hakkab tõugete näol keema. (Ettevaatust: peab tarvitama ainult paksuseintega nõusid!)


J. 86.
Vee keemine.

5. Keemis-punkti muutused: a) soolade segud tõstavad keemispunkti proportsionaalselt segatud soola hulgale.

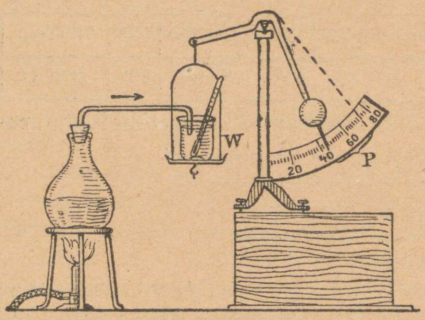
b) **Keemis-punkti tõusmine.** Õhuta (keedetud) vett saab tihti selle keemis-punktist kõrgemale soojendada, ilma et ta keema hakkaks. Põrutamisega (ehk õhu juurevooluga) hakkab ta aga plahvatades keema, kus juures osa auruks muutub. (Aurukatlate lõhkemise põhjus.)

Õli ja seebi lahud näitavad seda nähtust veel suuremal määral, kui vesi, ja keevad sellepärast plahvatusega.

§ 20. Auramis-soojus.

1. Auramis-soojuseks nim. soojuse hulka, mis 1 gr vedeliku ära-auramiseks keemise temperatuuris tarvis. Vee auramis-soojus on 539 kal/gr.

Katse (J. 87). Klaasi *W*, milles 100 g 13° C vett, juhitakse aur, kunni vee temperatuur 98° C tôuseb. Raskeneb selle juures vesi 16 g, siis on kondenseerunud auruhulk 16 g. Arvutus: vesi omas $100 \cdot (98 - 13) = 8500$ (kal.) soojust, mille andsid 16 g auru. Sellest leiame, et 1 g auru kondenseerudes (veeks muutes) 8500 : 16 = 531 (kal.) soojust annab. (Resultaadi vähenemine tuleb kalorimeetri nôu arvesse panna.)

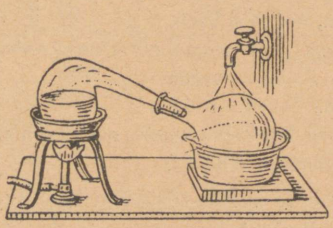


J. 87. Auramis-soojus.

Auramiseks äratarvitatud (nähtavasti ärakadunud) soojus moondub **tööks**, mis avaldub tugevas ruumala suurenemises (1 l vett annab 1700 l auru) ja moleküülide kooshoiu kaotamises.

2. Kondensatsiooniks nim. nähtust, kui jahendatud aur jälle vedelikuks muutub. (Hingamine vastu külma aknaruutu; ruutu katavad vee tilgad.)

a) Kondensatsioon ilmub selles samas temperatuuris, kus vedelik keeb, — kui vahepeal ôhurôhk ei muutunud. — b) Kondenseerumisel vabaneb auramis-soojus. Sel pôhjal on aurul suur soojendamise vôime ja tema pôletamise haavad on väga kardetavad.


J. 88. Destillatsioon.

Tarvitamised: a) destilleerimisel kuumendatakse vedelikku kolbes ja tekkiv aur juhitakse jahendatavasse ruumi, millesse puhas kondenseeritud vedelik kogub, kuna soolad ja muud segud kolbesse jäävad (J. 88). — Kahe isesuguse keemis-punktiga vedelikkude segu vôib lahutada, kui seda kunni madalama keemis-punktini kuumendada.

b) Auruküttes saab katlas tekkiv aur torustiku kaudu soojendatavatest ruumidest läbi juhitud, millesse ta oma auramis-soojuse ära annab ja vee näol katlasse tagasi tuleb.

3. Keemine ilma nähtava soojuse juuretulekuta. Keeb môni vedelik (näiteks hôrendatud ôhuga ruumis) ilma et näha oleks soojuse

juuretulekut, siis peab arvama, et keemiseks tarvisminev soojus ümbrusest võetakse, mis selle juures tihti tuntavalt jaheneb (külma tekitamine).



J. 89. Külmetus.

Katse. Võetakse kaks parajasti üks teise mahtuvat katseklaasi, täidetakse neist väline osalt veega, sisemine aga paari cm³ väävel-eetriga ja pumbatakse siis õhupumba abil viimasest õhk välja; varsti külmuvad mõlemad klaasid ühte (J. 89).

Sel põhjal on ehitatud jäämasinad (J. 90). Pumba abil tühjendatakse õhust katel, mis osalt ammoniakiga täidetud ja aetakse sedaviisi vedelik ilma lisasoojuseta keema. Katel ja aur jahenevad selle juures väga. Külm auruvool juhitakse torustiku kaudu väga madala külmumis-temperatuuriga vedelikust (näit. soolvesi) läbi, mis tihti kunni — 20° jaheneb. Plekkvormides vedelikku pandud harilik vesi külmub lühikese ajaga kindlateks tükkideks.

4. Vedeliku auramine sünnib igasuguses temperatuuris, ka allpool keemispunkti. Tekkiv aur tõuseb õhku ja teeb selle niiskeks.



J. 90. Jää-masin.

Nähtust kujutatakse nii, et elavalt liikuvad moleküülid kisuvad endid vedelikust lahti ja lendavad õhku.

Ka selleks auramiseks tarvitab vedelik soojust, mida ta oma ümbrusest võtab (jahenemine). Sarnasele auramisele aitab kaasa tõmbetuul, mis tekkiva auru ära viib ja uue auru tekkimist võimaldab.


J. 91. Auramise jahendus.

Märja tahvli kuivamine. — Pesu kiirem kuivamine tuule käes. — Märja sõrme peale puhumine (J. 91). — Külm vesi urbsetes (savi) nõudes.

Ülesanded.

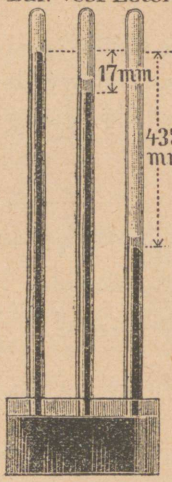
1. Kui palju on soojust vaja, et 50 g — 8° C lund 100° C auruks muuta? (V. 36150 kal.)
2. 1 kg veeauru juhitakse 12 kg 15° C vette. Kui kõrgele tõuseb vee temperatuur? (V. 63° C.)
3. 5 m³ vett on normaal-rõhul kunni 110° C ülekuumendatud. Mitu kg muutuvad põrutamisel kohe auruks ja kui suur on auru m³ arv? [V. $G = (5000 \cdot 10 : 539)$ kg = 93 kg (umbes), mis $(93 \cdot 1750)\ l = 162{,}75$ m³ auru annab.]

§ 21. Küllastatud ja ülekuumendatud aur.

1. Küllastatud aur. Kui mônda ruumi auru enam ei mahu, siis räägitakse, et antud ruum on auruga küllastatud, ehk et ruumis olev aur on küllastatud.

Baromeetri tühjusesse lastakse nii kaua vett (J. 92), kunni elavhôbeda peale vee kiht tekib, mis tundemärgiks on, et ruum veeauruga küllastatud. 20^0 juures on baromeetri langemine umbes $p = 17$ mm, rippumata vee hulgast, mis kihi näol tekib. Tähendab, küllastatud veeauru rôhumine 20^0 C juures on 17 mm.

Kôrgemas temperatuuris mahub ruumi rohkem auru. Vôrdlus soola lahuga.



J. 92. Auru-baromeeter. (20^0 C)

Katse. Pannakse 100 g 20^0 vette 64 g salpeetrit, siis lahuneb sellest 31 g, kuna 33 g lahunemataks jääb; selle lahu kohta öeldakse, et ta on küllastatud. Tahetakse, et ka need 33 g salpeetrit ära lahuneks, siis vaja segu kunni 40^0 soojendada. Jatkatakse soojendamist, siis muutub lahu küllastamataks, ja 100^0 juures, näit., vôib 100 g vees 247 g salpeetrit ära lahutada. Jahendamisega on lahu 40^0 juures jälle küllastatud ja veel suuremal jahendusel eraldub lahust osa salpeetrit kindla kehana.

2. Ülekuumendatud aur. On ruumis vähem auru, kui temasse mahub, siis nim. seda auru (vôi ruumi) küllastamata- ehk ülekuumendatud auruks. Ülekuumendatuks nim. seda auru sellepärast, et ta madalamas temperatuuris ruumi küllastada vôib. Juba nimetus näitab, kuidas ülekuumendatud auru suuremal hulgal saada: küllastatud aur eraldatakse vedelikust ja kuumendatakse teda soovi järele.

3. Küllastatud auru rôhumist isesugustes temperatuurides vôib môôta auru-baromeetriga (J. 92) ehk Papini katlaga (J. 53), mis alati vedeliku peal küllastatud auru sisaldab.

§ 22. Gaasi ja auru vahe.

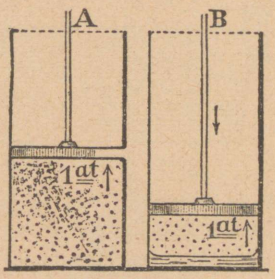
1. Küllastamata auru omadused on täiesti sarnased hariliku gaasi omadustega, s. o. selle kohta maksab Boyle-Mariotte-Gay-Lussac'i seadus $V_1 \cdot p_1/T_1 = V_2 \cdot p_2/T_2$ (ja seda parem, mida kaugemal aur küllastus-punktist).

2. Küllastatud auru iseäralsused. a) Kuumendamisel. Papini katlas kuumendatud küllastatud auru rõhumine tõuseb temperatuuriga väga kiirelt, mida järgmine tabel näitab.

t^0 juures	100°	120°	133°	143°	151°	158°	170°	200°
rõhumine p =	1 at	2 at	3 at	4 at	5 at	6 at	8 at	16 at

b) Ruumala vähendamisel ei muutu küllastatud auru rõhumine mitte. Vähendades silindris *A* (J. 93) küllastatud auru ruumala poole peale, peab pealmine pool kondenseeruma, sest et alumine pool auru rohkem ei mahuta. Rõhumine jääb endiseks. Küllastatud aur ei allu ei Gay-Lussac'i ei Boyle-Mariotte'i seadusele.

Kõrge rõhumise tõttu, mis temal väikesel kuumendamisel üle 100° C, tarvitatakse teda aurumasinates kui liikuma panevat jõudu.



J. 93.

3. Auruhulga kaal leitakse samati, kui gaasihulga kaal, valemi järele:

$$G = V \cdot \frac{p}{760} \cdot \frac{273}{T} \cdot \delta \cdot 0{,}001\,293 \text{ (grammi).}$$

δ tähendab valemis **auru tihedust,** s. o. auru, mis näitab, mitu korda 1 cm³ auru raskem on võrreldes 1 cm³ õhuga, ühesuguses temperatuuris ja rõhumisel. Veeauru jaoks on $\delta = 5/8$.

Tähendab, veeaur on õhust kergem. Pilved heljuvad 1—2 km kõrgusel.

Ülesanded.

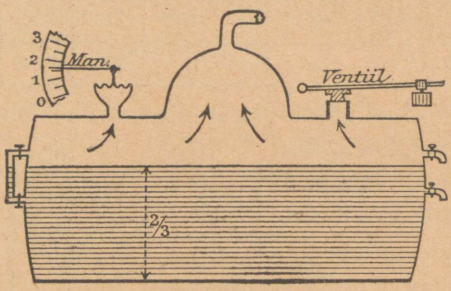
1. Aurukatlas on 7,6 m³ küllastatud auru temperatuuriga 143° C. Palju see aur kaalub? (V. Tabeli järele on küllastatud auru rõhumine 143° C juures $p = 4$ at $= 4.735{,}5$ mm; valem annab $G = 15{,}6$ kg.)
2. 143° C juures muutus kõik katlas olev vesi auruks. Kui suurt rõhumist avaldab veeaur, kui teda edasi kunni 200° C kuumendada? (V. § 13,5 järele on $p_1 : p_2 = T_1 : T_2$, milles $p_1 = 4$ atm, $T_1 = 416°$, $T_2 = 473°$; asetades saame p_2.)

§ 23. Aurumasin.

1. Auru tekitamiseks tarvitatakse aurukatelt, mis suurt Papini katelt kujutab ja alati veega kunni $^2/_3$ kõrguselt (n. n. tulejooneni) täidetud peab olema.

TRÜ Raamatukogu

a) **Leektorudega katlas** on vee ruum paralleelsete torudega täidetud, millest läbi lastakse küttegaas, et paremini selle soojust (Stephensoni andmete järele) kasutada. — b) **Veetorudega katlas** ümbritseb tuli katelt ja tulest läbi juhitud on paksud veetorud, mis ülemise katlaga ühenduses.

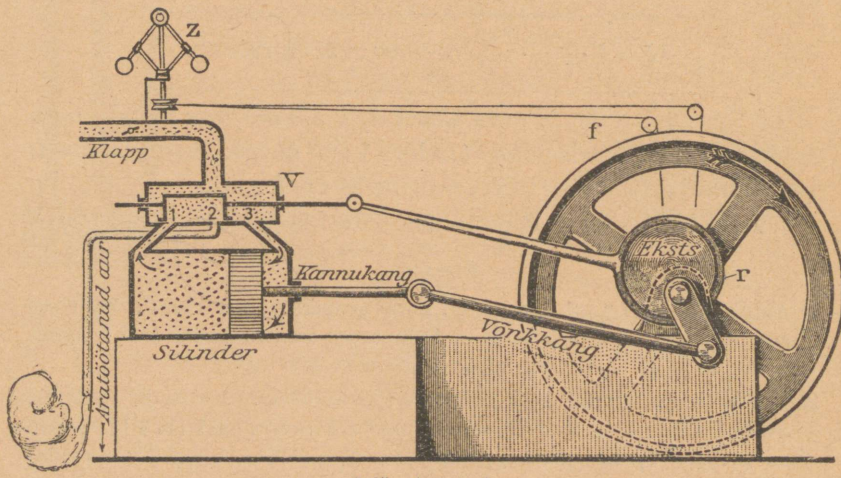


J. 94. Auru katel ja selle varustus.

Vee seisukorra järelvalveks on: 1. veeklaas, mis ühendatud anumate seaduse põhjal töötab; 2. auru-ja veekraanid.

Auru rõhumise järelvalveks on: 1. manomeeter, mis auru rõhumist atmosfäärides näitab; 2. kaitseventiil, mis nii pea avaneb, kui auru rõhumine üle lubatava piiri tõuseb (harilikult on see ühepoolne kang, mis edasi-tagasi nihkuva vihiga varustatud; raudtee-vedurites on kang vedrukaaluga kinnitatud) (J. 94).

2. Aurumasina sisuliseks osaks on silinder, milles tihedalt liikuvat kannu kord ühelt kord teiselt poolt sissejuhitava auruga tõugatakse (J. 95)

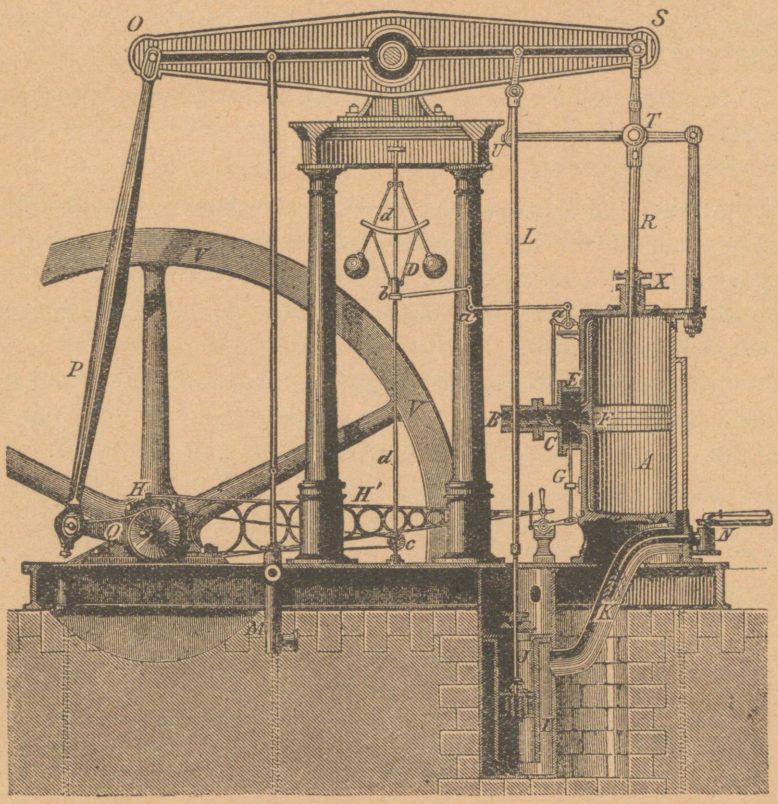


J. 95. Aurumasin.

a) Kannu liikumise korraldamiseks juhitakse aur n. n. aurukarpi, milles auru väljaminekuks kolm avaust 1, 2, 3 on; 1 ja 3 ühendatakse silindriga, kuna 2 jahendajaga või vaba õhuga. Aurukarbis liigub aurujaotaja, mille liikumine nii on korraldatud, et ta ikka kahte avaust kas 1,2 ehk 2,3 katab, kuna kolmas vabaks jääb.

b) Aurujaotaja juhtimine sünnib kas käsitsi või isetegevalt masina enese poolt, n. n. ekstsentriku abil.

Ekstsentrikuks nim., nagu joonisel näha, terasketast, mis hooratta telje külge on kinnitatud mitte oma keskpunktiga; ketta ümber liigub rõngas *r*, mis kangi abil aurujaotajaga ühenduses.



J. 96. Watt'i madala rõhumisega aurumasin.
A = aurusilinder, *B* = aurujuurevool, *C* = tõkkeklapp, *D* = kesktõuke regulaator (*b* rõngas, *a* kangi pöördepunkt), *E* = aurukarp, *F* = kann, *G* = aurujaotaja juht, *HH'* = ekstsentrik, *I*, *J* = pump, *K* = äratõõtanud auru väljavool, *L* = pumbakang, *M* = pump, *O P* = võnkkang, *Q* = vänt, *R* = kannukang, *V* = hooratas.

d) Kannu liikumised antakse edasi kannu-kangi, võnk-kangi ja vända abil hoogsale hoorattale, mis omakord side-abinõudega neid liikumisi edasi annab.

Hooratta püsivuse tõttu on tema ülesandeks aidata masinale üle saada iseäranis n. n. selle surnud punktidest. Nendeks punktideks nim. masina seisu, kui kannukang, võnk-kang ja vänt ühel sirgjoonel asuvad. (Jsegi tugev auru-

rôhumine ei suuda kannu, mis parajasti oma liikumise sihti muutma peab, paigast ära tôugata.)

d) Hakkab masin liiga kiiresti tiirlema, siis vaja auru juurevoolu takistada, milleks on **tôkkeklapp** ***D***.

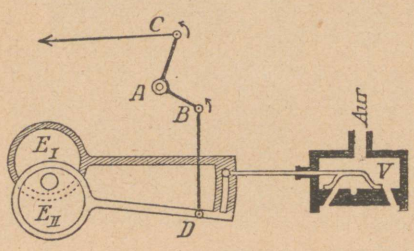
See klapp on ühentatud kesktôukejôu regulaatori z rôngaga; regulaator tiirleb ühenduses hoorattaga. Hakkab masin kiiremini käima, siis tôusevad regulaatori kerakesed kôrgemale ja tômbavad tôkkeklapi kinni.

3. Aurumasinate liigid. Väljalastav aur nim. äratöötanud auruks. Selle järele, kuidas äratöötanud auru juhitakse, jagatakse masinad kolme liiki.

a) **Madalrôhumisega** (ehk altrôhuga) masinates, mis 1—3 at aururôhumisel töötavad, juhitakse äratöötanud aur kondensaatorisse (jahendajasse), milles ta külma vee sissepritsimise läbi veeks muutub (veeldub), mispärast auru tagasirôhumine kannu peale peaaegu nullini langeb (J. 96).

b) **Kôrgerôhumisega** (ehk pealtrôhuga) masinates, milles 10—12 at rôhumist tarvitatakse, juhitakse aur vabasse ôhku. Et ôhku juhitud aurule ôhurôhk vastu töötab, siis töötab aur 1 at kaotusega.

Tarvitatakse vedurites (Stephenson 1814), sest et külma vee kaasas kandmine raskusi teeb. Hooratta asemel on veduril suurte tugevate rataste paar. Kardetavatest surnud punktidest ülesaamiseks on veduril kaks auru silindrit, mille vändad üks teisele risti seatud, nii et ühe tugevama liikumise faas (ajajärk) teise surnud punktiga kohtab.



J. 97. Pide.

Stephensoni pidemega *C* (J. 97) tômmates seatakse aurujaotajat kiirelt nônda, et vedur tagurpidi liigub. (Ekstsentriku E_1 asemele astub vastupidi töötav ekstsentrik E_2.)

d) Ühendatud- n. n. **compound**-masinates juhitakse äratöötanud aur kôrgerôhuga silindrist madalrôhuga silindrisse, mille läbimôôt suurem ja kus see aur uuesti kannu tôukab.

4. Töö-vôimsuse arvutamine. Näide. Kôrgerôhuga masinas on 12 at. Täisaur rôhub kogu $l = 80$ cm pikkuse silindri ulatusel, mille môjuv läbilôige $F = 300$ cm^2. Sellepärast

a) aururôhumine kannu peale $= (12 - 1) \cdot 300$ kg $= 3300$ kg

b) edasi-tagasi liikumise tee $= 2 \cdot 80$ cm $= 1{,}6$ m,

tähendab, hooratta ühekordsel pööramisel vôrdub töö: **jôud korrutatud teega** = 3300 (kg) · 1,6 (m) = 5280 (mkg). Teeb hooratas minutis n = 120 ringi, siis on töö ühes sekundis ehk masina vôimsus

$$N = \frac{5280 \cdot n}{60 \cdot 75} \text{ PS} = \mathbf{140{,}8\ PS.}$$

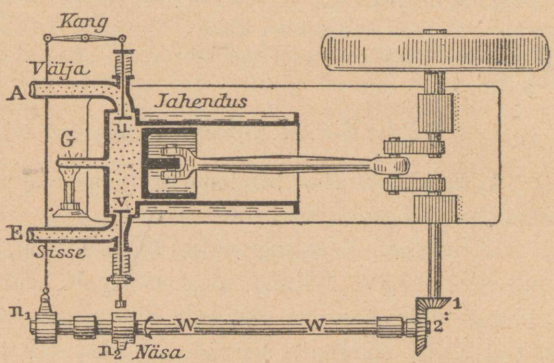
5. Kôik ehitatavad **modern-masinad on n. n. kokkuhoidlikud ehk ekspansioonmasinad,** see tähendab: aurujaotaja käik on neis nii reguleeritud, et ta täit auru kannu peale ainult $^1/_3$ ehk $^1/_4$ tervest kannukäigust juhib, siis aga auru ligipääsemist kannule takistab. Selle juures tarvitatakse kôigest $^1/_3$ ehk $^1/_4$ auruhulka; ülejäänud teel môjub aur ekspansiooni omaduse (tung ikka laieneda) põhjal.

6. Kaotus. Aurumasin vajab tunnis iga hobujôu peale 1 kg kivisütt kütte-väärtusega 5500 Kal. Robert Mayer'i järele vastaks sellele töö suurus 5500 · 427 mkg = 2348500 mkg tunnis; sekundis oleks vôimsus $N = 2348500 : (60 \cdot 60 \cdot 75)$ PS = umbes 9,1 PS. Tôeline vôimsus on aga kôigest 1 PS, mis ümmarguselt 11% teoreetilisest vôimsusest.

Kasutatav vôimsus = 11% arvutatud vôimsusest.

Teine mehaanilise soojuse teooria põhilause näitab, et mingisuguses aurumasinas ei ole vôimalik soojust täielikult tööks ümber muuta.

Langeb töötamisel auruhulga soojuse temperatuur T_1 temperatuuri T_2 peale, siis on saadud tööhulk iga kaloori kohta kôigest $427 \cdot \frac{T_1 - T_2}{T_1}$ mkg (mitte 427 mkg).



J. 98. Gaasi mootor.

Puudujääk andub kasutamata soojuse näol külmadele kehadele.

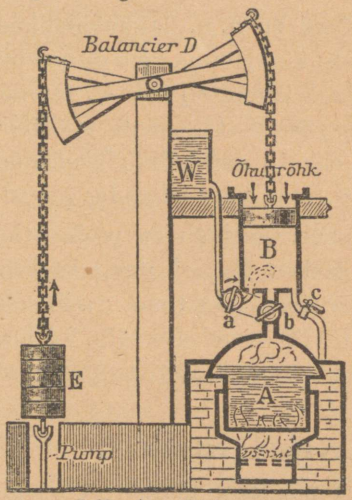
7. Gaasi mootor (Otto ja Langen, 1865) aurukatelt ei tarvita. Silindris olevat kannu tôukavad gaasisegu plahvatused.

a) Kannu liikumisega (J. 98) paremale poole, tungib gaasi ja ôhu segu E kaudu silindrisse (1 periood).

b) Liikumisega pahemale poole rõhub kann gaasi tihedasti hõõgtorukesse *G*, mida väljaspoolt kuumendatakse (2 periood).

d) Kokkurõhutud gaas plahvatab ja tõukab kannu jälle paremale poole (3 periood = tööperiood).

e) Hooratta püsivuse tõttu liigub kann jälle pahemale poole ja tõrjub ärapõlenud gaasi toru *A* lahtise ventiili *u* kaudu välja (4 periood).



J. 99. Atmosfääri masin.

Edasi töötab masin iseenesest, mispärast teda neljataktiliseks mootoriks kutsutakse. — Tähtis on, et ventiilid *u* ja *v* õigel ajal lahti käivad; seda teostatakse kahe teljel *W* oleva näsa abil, mis taktis kord ühe kord teise ventiili lahti tõukavad.

8. Ajaloost.

Esimese, ainult ühtepidi töötava aurumasina (J. 99) ehitas 1690 prof. Denis Papin. (Auruga ülestõstetud kannu alla pritsiti igakord külma vett, mille tõttu aur kondenseerus ja õhurõhk tõrjus kannu uuesti oma kohale tagasi.) Need mõtted võttis 1705 Newcomen uuesti üles ja ehitas esimese atmosfäärilise aurumasina (nagu joonisel) aurukatlaga ja liikuva kannuga. James Watt (1736—1819) oli esimene, kes mõlematpidi töötava aurumasina leidis. Stephenson kasutas aurumasina veduri (lokomotiivi) ehk isesõitja ehitamiseks (1828). Ameeriklane Fulton leidis 1807 a. aurulaeva.

§ 24. Gaasi adiabaatiline kokkurõhumine.

1. Kokkurõhutud (tihendatud) gaas soojeneb. Tõendus pneumaatilise tulesüütajaga.

a) **Seletus.** Kokkurõhumisel tehakse tööd, mis soojuseks moondub (427 mkg = 1 Kal.): gaas soojeneb. Sünnib kokkurõhumine soojuskindlas nõus, siis nim. seda adiabaatiliseks rõhumiseks. Tihendatud gaasi rõhumine kasvab sel põhjusel mitte ainult ruumala vähendamise, vaid ka veel soojenduse tõttu; kokkuvõttes on rõhumine suurem kui Boyle-Mariotte'i seaduse järele.

b) **Poisson 'i seadus.** Gaaside rõhumise ja temperatuuri tõusmise kohta leidis Poisson seaduse:

$$p_1 : p_2 = v_2^{\,k} : v_1^{\,k}, \qquad \underbrace{T_1 : T_2}_{\text{abs. temp.}} = \underbrace{v_2^{\,k-1} : v_1^{\,k-1}}_{\text{suruvusaste}}$$

s. o. gaasi rõhumine kasvab suruvuse (v_1/v_2) k astmes, absoluutne temperatuur $(k—1)$ astmes. Arv k tähendab § 16 nimetatud gaasi erisoojuste c_p/c_v vahekorda, mis ümmarguselt 1,41.

Näide: pneumaatilisel tulesüütajal on $v_2/v_1 = 10$; $T_1 = 273^0$, tähendab, $T_2 = 702^0$ abs. temp. = 429 C.

2. Lastakse gaas paisuda, siis langeb tema temperatuur ja langemine on tihti väga suur. Kui 10 korda 429° C gaasi ruumala suurendada, langeb gaasi temperatuur nullini.

a) **Katse.** Õhku kiiresti tühjakspumbatud retsipienti (õhupumba kuplisse) lastes, näeme, et õhuga kaasa kistud veeaur suure jahenduse tõttu kondenseerub. — b) Pilvede tekkimine. Tõuseb niiske õhuvool üles, siis paisub ta adiabaatselt, jaheneb ja kondenseerib kaasakistud veeauru.

§ 25. Gaaside vedeldamine.

1. Kriitiline temperatuur. Enne katsuti gaase suure rõhumisega kokku suruda ja nõnda vedelaks muuta.

Nii lasid endid vedeldada: väävelkahelishapend 3 at, kloor 4 at-ga.

Õhku ei saadud vedelaks muuta isegi 3000 at tarvitamisel. Viimati leidis **Andrews** seaduse: iga gaasi võib rõhumisega ainult siis vedelaks muuta, kui ta alla teatud temperatuuri jahendatud.

Seda temperatuuri nim. **kriitiliseks temperatuuriks,** vastavat rõhumist — gaasi kriitiliseks rõhumiseks.

Näiteks, süsihapugaas (CO_2) on üle 32° C täieliselt permanent, s. o. teda on võimata kui suure tahes rõhumisega vedelaks muuta. Alla 32° aga võib teda vedelaks muuta seda väiksema rõhuga, mida madalamale tema temperatuur 32°-ist langeb; näiteks, 32° — 73 at, 13° — 49 at, 0° — 35 at-ga.

Gaas	Kriitiline temperatuur	Kriitiline rõhumine	Keemispunkt
Hapnik	—118°	50,8 at	—183°
Lämmastik	—146°	35 „	—195°
Õhk	—140°	39 „	—190°
Vesinik	—242°	20 „	—252°
Vee aur	+365°	196 „	+100°

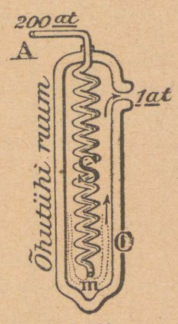
Kriitiline temperatuur lahutab vedeldatavat gaasi (auru) mittevedeldatavast (gaasist), sellepärast on keha olekute skaala järgmine:

kriit. temp. keem. temp. sulam. temp.

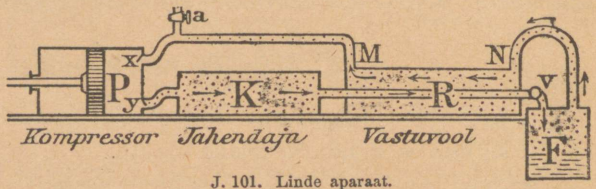
gaas | aur | vedelik | kindel keha

2. Gaaside vedeldamine nõuab tingimata madalat temperatuuri, mida saadakse suuremalt jaolt vedela õhu kiirel aurutamisel (—225° C), ehk lastakse tugevasti kokkurõhutud gaasi järsku suuresti paisuda.

Hampson (1895) juhtis kolme õhukese vasest spiraal-torukese *S* kaudu kunni 200 at kokkurõhutud õhku klaasist Dewari nõu *C* põhja, millel kahekordsed seinad ja mille laius 20 cm, kõrgus 1 m, olid (J. 100). Avausest *m* välja tulles paisus õhk, kus juures ta jahenes ja edasi tungides ka toru *S* jahendas. Sedaviisi jahenes õhk torus *S* ikka rohkem ja rohkem, kunni umbes $^1/_4$ tunni pärast jahendus kriitilisest temperatuurist nõnda alla langes, et *m*-st vedel õhk välja voolas.



J. 100.
Õhu vedeldamine.



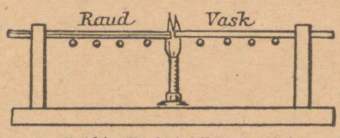
J. 101. Linde aparaat.

Linde leidus (1895). Kompressori (suruja pump) abil imetakse õhk kraani a (J. 101) läbi silindrisse ja surutakse kokkurõhutud õhk jahendajasse *K* ja torusse *R*. Siis läheb õhk ventiilist *V* läbi, kus juures rõhumine 25 at-st 5 at peale langeb ja õhk märksalt jaheneb. Kompressor imeb jahendatud õhku läbi nõu *MN*, mis torus *R* olevat õhku ikka rohkem ja rohkem jahendab, kunni ventiilist *V* viimati vedel õhk voolama hakkab.

§ 26. Soojuse laialilagunemine.

1. Soojuse juhtivus. Soojuse laialilagunemine sünnib kolmel viisil: juhtivuse, voolude ja kiirte abil.

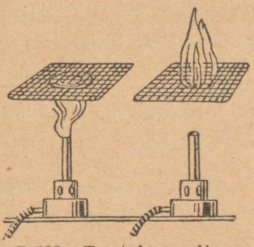
Soojuse juhtivus on soojuse edasianduvus ühelt moleküülide kihilt teisele. Kõik kehad ei juhi soojust ühesuguse kiirusega. Vask juhib parem kui raud, mida katse J. 102 näitab. Mõlema kangi külge on ühesugused vahast kerakesed (sulamispunkt 63°) kinnitatud. Vaselt langevad kerakesed ennem, kui raualt.



J. 102. Vask juhib paremini.

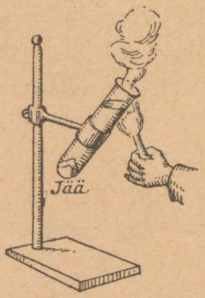
a) **Metallid** (pliitraud, metallist katel) **on paremad soojuse juhid.**

Peene traatvõrgu suure juhtivuse tõttu ei pääse tuleleek võrgust läbi (J. 103). **Seletus:** leegi kuumus juhitakse traadiga nii ruttu kõrvale, et teinepool võrku oleva gaasi temperatuur süütamis-temperatuurist madalam on. Sel põhjal on ehitatud Davy kaitselamp, mida kaevandustes plahvatuste ärahoidmiseks tarvitatakse.



J. 103. Traatvõrgu mõju.

b) **Keskmised juhid** on savi, ahjupotid ja klaas. Kõigest pahemateks juhtideks (ehk eraldajateks) on paigalolevad õhukihid ja kehad, mille vaheruumides õhku leidub (saepuru, õled, kuivad puulehed, tuhk, karvad, vill, suled, lumi, turvas).



J. 104. Vesi kui halb soojuse juht.

Lumekord kaitseb talivilja külmetamise eest. Külmetusmajadel on kahekordsed seinad, mille vahe pudeva materjaaliga täidetud, näit. õlgedega ehk turbaga; tulekindlates rahakappides — puu tuhaga, jne. — Taliaknad!

Inimese keha temperatuur on 37° C, väline temperatuur aga madalam: jahenemise eest kaitsevad keha riided, kasuk, jne., kõige rohkem aga õhukihid, mis riiete vahel. (Kaks õhukest riiet ülestikku soojendavad rohkem, kui üks paks riie.) Loomade vill ja sulg on talvel tihedamad, kui suvel.

d) **Vesi on väga halb soojuse juht. Katse** (J. 104):

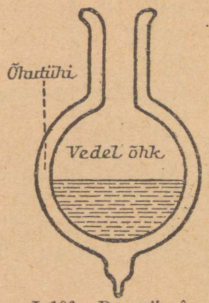
Veega täidetud katseklaasi põhja pannakse mõnesuguse raskuse abil tükk jääd. Pealtpoolt kuumendatud vesi hakkab varsti keema, kuna jää ei sula.

Niisama on ka **vee aur vilets soojuse juht,** mida n. n. Leidenfrosti katse (J. 105) näitab:



J. 105. Leidenfrosti katse.

Tilk vett tulivalgel pinnal veereb edasi-tagasi, aga ära ei aura. Seletus: esimesel kokkupuutumisel tekib tilga ümber auru kiht, mis tilka heljuvas olekus hoiab, ja soojuse ligipääsemist takistab.



J. 106. Dewar'i nõu.

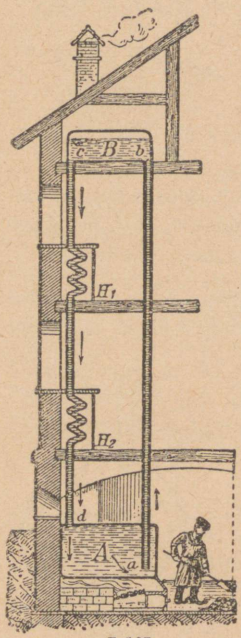
e) **Tühi ruum sugugi soojust ei juhi.** (Tarvitamine n. n. termofoor-nõudes, milles toitu päevade viisi soojalt või külmalt saab alal hoida.)

Kahekordsete seintega Dewari klaasnõudes (J. 106), mis vedela õhu hoidmiseks tarvitatakse, on seinte vahel tühi ruum.

2. Soojuse laialilagunemine voolude abil. Voolud tekivad vedelikkudes ja gaasides, kui neid altpoolt soojendada.

Põhjus. Soojendatud osakesed kergenevad ja kerkivad üles. Nad kannavad enese soojuse tihti kaugematesse külmadesse kohtadesse. Mere-ja õhuvoolud on looduse tugevamad jõud, mille abil ta suured soojuse kogud ühest kohast (näit. ekvaatorilt) teise juhib.

a) **Golfstrom,** mille soojad veehulgad Inglismaa rannast mööda voolavad, selle kliimat pehmendades (J. 108), saab oma soojuse ekvatoriaal-Ameerikast.



J. 107.

b) **Soojaveeküte** (J. 107) tarvitab kunstliselt tekitatud vee voolu.

Maja keldris kuumendatakse vett, mida pööningule suuremasse tõrde juhitakse. Ülevalt voolab vesi torustikku mööda katlasse tagasi, andes oma soojuse n. n. radiaatorite (soojendajate) kaudu õhule, mis ruume soojendab.

d) **Õhu voole** näitavad tuulerattad, leek ja tuulelipp.

Tuleleegi hoidmine ahju suu ees, all ja üleval lahtise ukse juures! Äraseletada ahju õhutõmbust!

3. Soojuse laialilagunemine kiirte abil. Päike kiirgab meile soojust läbi ilmaruumi. Ilmaruum on aga õhuta, mispärast sel juhusel võimata rääkida juhtivusest ja vooludest; see on uus edasiandmise viis — **kiirgamine.** Oletatakse, et ilmaruum on täidetud ülipeene kaaluta ainega, n. n. maailma eetriga, mis ka kõigis urvades asub. Selle eetri võnkumistel kandub edasi soojus ja valgus.

a) **Iga soe keha,** nagu päike, kiirgab soojust ka siis, kui ta ei hõõgu.

Tuline ahi kiirgab soojust. (Tõendus: kui ahju ja ihu vahel plekk-lehte hoida, siis soojust ei tunne). — Maakera kiirgab soojust ööd kui päevad. (Tõendus: kõrgem päeva temperatuur ei ole mitte päikese loojaminemisel, vaid päeval kella 2 ajal.) — Inimese keha kiirgab ka soojust (käe hoidmine kauemat aega näo ligidal!)

b) Läbipaistvad kehad, nagu õhk, klaas, jää, ei lase üksi valgust, **vaid ka soojust läbi** (= diaterm).

Päike soojendab õhku väga vähe. Õhusõitja leiab ka palaval suvel kõrged ülemised õhukihid jääkülmad olevat. Pime maakera pind võtab enesesse päikese soojust ja soojendab sellega õhku.

d) **Pimedad kehad** hoiavad kinni nende peale langevaid soojuse kiiri (absorbeerivad), selle juures ise soojenedes.

Paistab päike läbi akna rauatüki ehk musta paberi peale, siis on need soojemad, kui õhk ja akna klaas. Kui lume peale päikese kätte panna ühesuurused, kuid isevärvi kalevitükid, siis vajuvad tumedamad lumme sügavamale.

Ilmateadus (meteoroloogia)

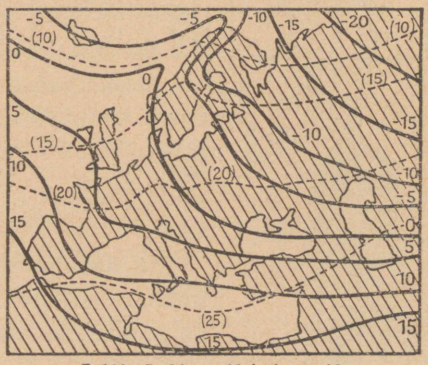
§ 27. Temperatuuri jaotus.

1. Maakera soojusline tasakaal. Maakera kiirgab soojust maailmaruumi alalõpmata, mis läbi ta ise jaheneb, kuid päikese kiirgamine tasub selle kaotuse. See kiirgamine aga ripub päikese olekust (päev, öö; suvi, tali); sellepärast näitab koha temperatuurikäik perioodilisi kõikumisi.

J. 58 näitab, et päeva kõrgem temperatuur kell 2 päeval on (kiirte kaotus = saadud kiirtele). Kõrgem ja madalam aasta-temperatuur on varsti peale päikese kõrgemat ja madalamat seisu (21 juunil ja 21 dets.).

Vahe päevase kõrgema ja madalama temperatuuri vahel nim. **amplituudiks,** mis maisamaa südames suur, mereäärsetes kohtades aga väike.

Põhjus: kindelmaa kuumeneb päeva jooksul kergesti ja kiirgab öösel saadud soojuse kiiresti jälle välja. (Soojad päevad, külmad ööd.) Meri aga selle vastu, oma suure erisoojuse tõttu, soojeneb päeval vähe ja kiirgab, kui vilets soojuse juht, ööseti soojust ka pikkamisi. — Temperatuuri kõikumised ei ulata sügavale maapõue. Juba 6 m sügavusel valitseb alaline kohale vastav keskmine aasta-temperatuur.



J. 108. Isohimeenid ja isoteerid.

2. Aasta keskmiseks temperatuuriks nim. keskmist arvu kõikidest temperatuuridest aasta jooksul. See temperatuur on püsiv. Jooned,

mis kaardil ühendavad kohti ühesuguse keskmise temperatuuriga, nim. isotermideks (J. 108).

Jaanuari ja juuli kuude kesk-temperatuuridest saadakse talve ja suve isotermid (isohimeenid ja isoteerid). Kaartide abil, millele nimetatud jooned kantud, võib otsustada koha temperatuuri üle, talvel ja suvel.

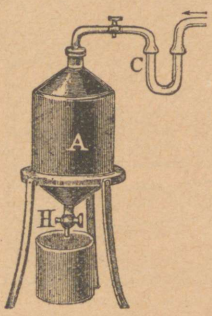
Kliima selgitamine kohas, kus isohimeen — 15° ja isoteer + 20° lõikuvad. Et see koht sügaval mannermaal asub, siis on seal peale selle veel vähe sademeid ja päevase temperatuurikäigul suur amplituud.

§ 28. Õhu niiskus.

1. Tekkimine. Päikese mõjul auruvad suured veehulgad meredest ja järvedest aasta-aastalt õhusse. Nii kui käsn ainult kindla hulga vett oma küllastamiseks sisse võtab, sarnaselt mahub ka 1 m³ õhku iga temperatuuri juures ainult kindel hulk veeauru. Sel juhusel on õhk veeauruga küllastatud.

Kõrgema temperatuuri juures on küllastuseks tarvisminev auruhulk suurem, kuid kindlat seadust selleks ei ole veel leitud.

Küllastus-hulgad *A*							
t =	*A* =	*t* =	*A* =	*t* =	*A* =	*t* =	*A* =
—10°	2,36 g	8°	8,22 g	18°	15,29 g	28°	27,08 g
0°	4,82 „	10°	9,35 „	20°	17,22 „	30°	30,20 „
2°	5,52 „	12°	10,61 „	22°	19,32 „		
4°	6,32 „	14°	11,99 „	24°	21,67 „		
6°	7,22 „	16°	13,56 „	26°	24,26 „		



J. 109. Aspiraator.

Papini katlas on kindlasti aur iga temperatuuri juures küllastatud, mispärast § 19 antud tabel küllastatud auru rõhumist vastava temperatuuri juures näitab. 10° C on see rõhumine 9,2 mm. Nii palju näitab baromeeter rohkem, kui õhk niiskusega küllastatud.

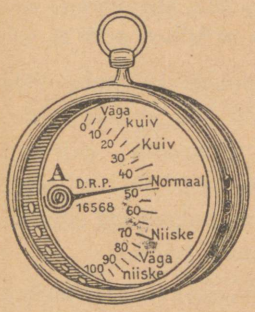
2. Absoluutseks niiskuseks nim. 1 m³ tõelikult olevat auruhulka, mida aspiraatori abil kerge on grammides ära mõõta (J. 109).

Katse. Aspiraatori *A* (veenõu kraaniga *H*) abil lastakse täpselt 1 m³ õhku kloorkaltsiumiga täidetud torust *C* läbi voolata. Kloorkaltsium võtab õhu niiskuse enesesse. Kaaludes toru *C* enne ja pärast katset leitakse kaalu juurekasv.

3. Suhteliseks (relatiivseks) niiskuseks nim. %-es arvatud suhet absoluutse niiskuse ja auruhulga vahel, mis antud temperatuuri juures auru küllastab.

Näide: 1 m³ õhus on 20° juures ainult 12,91 g auru. Suhteline niiskus on

$$\frac{12{,}91}{17{,}22} = 0{,}75, \text{ s. o. } 75\%.$$



J. 110. Mithof'i hügromeeter.

4. Kiirema **niiskuse mõõtmiseks** tarvitatakse **hügromeetrit,** mis sisaldab ainet, mille peale õhu niiskuse muudatused nähtavalt mõjuvad.

Näiteks, hügroskoobilised kehad on: soolest pillikeel, mis oma pikkust niiskuse mõjul vähendab; õlekõrs, mis kuivuse kasvamisel läikiva külgega kumeruse poole hoidub, jne.

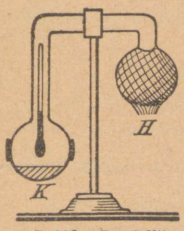

J. 111. Saussure'i hügromeeter.

Mithof'i hügromeeter (J. 110) sisaldab väikest vasest spiraali *A*, mis väljaspoolt väga hügroskoobilise munanaha ribakesega üle tõmmatud. — Saussure'i hügromeeter (J. 111) sisaldab vihiga pingule tõmmatud juuksekarva, mis üle ploki keeratud.

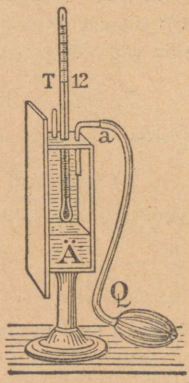
5. Kaste-punktiks nim. temperatuuri, millal ilmub kaste, s. o. millal õhus olev auruhulk vastab küllastuse hulgale.

Näide: sisaldab õhk 20° C juures 11,99 g veeauru, siis küllastab see hulk õhku, kui selle temperatuur milgi viisil jaheneb kunni 14° C. Kastepunkt oleks sel juhusel + 14° C.

Kastepunkti leidmiseks tarvitatakse **Daniell'i hügromeetrit** (J. 112), mis koos seisab termomeetriga varustatud eetriga pooleni täidetud õõnsast klaaskerast, mille välispinnal läikiv kullatud vöö. Jahendatakse *K* kunni kastepunktini, siis katab kaste kuldvööd (läheb tuhmiks). Jahendust tekitatakse kunstliselt, valades musliiniga (hõre riie) kaetud õõnsa kera *H* peale eetrit, mis keras *H* olevat eetriauru jahendab ja kondenseerib, mille tõttu eeter keras *K* aurama hakkab ja seda jahendab.



J. 112. Daniell'i hügromeeter.



J. 113. Alluard'i kastepunkti leidja.

Alluard'i hügromeetri (J. 113) abil võib ka kastepunkti leida. See on neljanurgeline metallnõu, mille esimene külg läikivaks poleeritud ja mis natuke

eetrit sisaldab. Temast pumbatakse niikaua eetriauru välja, kunni kaste poleeritud pinda katab. Juuresolev termomeeter näitab kastepunkti.

On kastepunkt teada, siis leiame eespool antud tabelist, mitu g veeauru on õhu 1 m^3.

Näide: õhu temperatuur $t = 20^0$, kastepunkt $\tau = 12^0$, abs. niiskus $a =$ 10,61 g; küllastushulk $A = 17{,}22$ g; suhteline niiskus = 0,61, s. o. 61%.

6. Sademed ilmuvad, kui õhk alla kastepunkti jaheneb. Siis võib õhk temas sisaldavast auruhulgast ainult osa eneses hoida, ülejääk kondenseerub tilkadena kas seintele (pesuköök), ehk kui õhus tolmukübemekesi on, siis nende peale; sedaviisi tekivad udu, pilved. On tolmukübemekestele kondenseerunud hulgad liig suured, siis langevad nad veetilkade näol maakera pinnale (vihm).

Näide: näitab suvel hügromeeter 30° juures 90% veeauru (= 0,90 · 30,20 g = 27,18 g/m^3), siis veel vihma ei saja. Läheb aga, näiteks, päike korraga pilve taha ja õhk jaheneb 18°-ni, millal 1 m^3 kõigest 15,29 g vett võib olla, siis vabaneb 1 m^3 (27,18 — 15,29) g = 11,89 g vett.

Kaste, härmatis, udu, pilved.

Kaste tekib, kui hommikul kella 4 ajal temperatuur alla kastepunkti langeb. Langeb temperatuur palju alamale, kui 0° C, siis külmub kaste härmatiseks. Sõidetakse õhupalliga pilvest läbi, siis piirab see palli udu näol. On olemas rünk-pilved (cumulus), kiht-pilved (stratus), kiudpilved (cirrus), mis väga kõrgel külmades õhukihtides heljuvad (jää kristallid).

7. Ilm. a) Lääne-tuul toob meile Atlandi ookeanist ikka niisket õhku ja seega alati halba ilma.

b) Ida-tuul on kuiv, sest et puhub üle mannermaa ja on oma veeauru kaotanud.

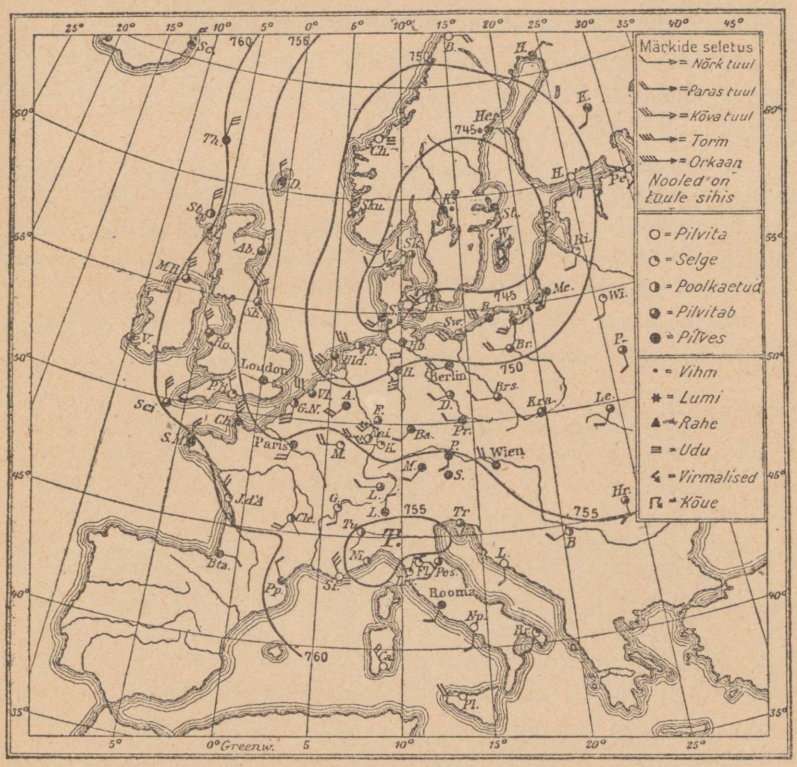
Ülesanded.

1. Tuba on 4 m pikk, 3 m kõrge, 3,5 m lai. 10° juures on veeaur temas küllastatud. Mitu g veeauru sisaldab toa õhk? (V. 392,7 g.)
2. Pesuköögis on kauemat aega 30° sooja. Mitu g, veeauru tekib seintele, kui temperatuur järsku 0° peale langeb? (Pikkus 18 m, laius 4 m, kõrgus 3 m.) (V. 5482,08 g.)
3. 20° C ja baromeetri kõrguse 720 mm juures näitab hügromeeter 50% (75%, 90%) niiskust. Kui suur on õhurõhk auru mõjuta? (V. Et 20° C juures küllastatud auru rõhumine 17,4 mm, siis on baromeetri kõrgus 0,50 · 17,4 mm = 8,7 mm võrra suurem.)

§ 29. Ilma-kaardid.

1. Õhurõhu kõikumised. Maakera ühtlusetu soojenduse tõttu tekivad õhuvoolud ja ühes sellega õhurõhu muutused.

On, näiteks, mõni koht oma ümbrusest soojem, siis tõuseb seal soe õhk üles ja vähendab sellel kohal õhurõhku.



J. 114. Ilmakaart 30 augustil 1909 a.

2. Õhurõhu jaotusest ja õhuvooludest ülevaate saamiseks valmistatakse meteoroloogia keskjaamade poolt ilmakaardid (J. 114). Neis antakse iga koha jaoks vastav õhurõhk normaal-tingimistes kell 8 hom., tuule siht ja pilvitus. Kohad, kus baromeetri seis ühesugune, ühendatakse kaardil joontega, mis **isobaarideks** nim.

Isobaarid ringlevad kinniste joontena punktide ümber, milles valitseb baromeetriline maksimum või miinimum, s. o. kohad, kus

baromeetri seis kõige kõrgem või kõige madalam ümbruskonnaga võrreldes.

Ehitame igas kohas normaalse õhusamba, mille rõhumine vastaks tõelisele koha õhurõhule, siis kujutavad sammaste ülemised pinnad taandatud (redutseeritud) õhupinda, mis nagu J. 115 ja 116 näha, maksimumi kohal kumer (mägi) ja miinimumi kohal nõgus (org) (depressioon) on.

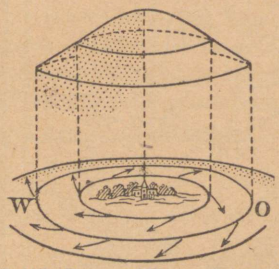
3. Ilmakaartide uurimisel saame kaks tähtsat seadust: a) Miinimumid (depressioonid) liiguvad meil läänest idasse.

b) Maksimumide ja miinimumide ümber tiirlevad õhukeerud ehk tsükloonid. Põhja maapoolikul on maksev **Buys-Ballot'i** poolt leitud **tuule-seadus:**

1. Maksimumis (J. 115) valitseb langev õhuvool, mis pilved laiali ajab ja head ilma toob. Tuule sihid on tunninäitaja sihis (antitsükloon).

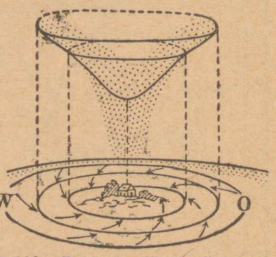
2. Miinimumis (J. 116) valitseb tõusev õhuvool, mis adiabaatselt jaheneb ja oma niiskust kanda ei jõua. Juurevoolav õhk tekitab pilvi ja teeb ilma halvaks. Tuule sihid on tunninäitaja sihi vastu (tsükloon).

Meelespidamiseks: puhub tuul seljatagant, siis on miinimum eespool ja vähe pahemale poole. (Tuulelipu vaatlemine!)



J. 115. Baromeetriline maksimum.

4. Tuule pööre seletus. Nagu vesi kõrgemast kohast otse alla voolab, peaksid ka õhukogud otsekohe voolama kõrgerõhukohtadest madalrõhu-kohtadesse.



J. 116. Baromeetriline miinimum.

Maakera tiirlemise mõjul aga pööruvad kõik tuuled kõrvale ja põhja poolkeral nimelt paremale poole (J. 115 ja 116).

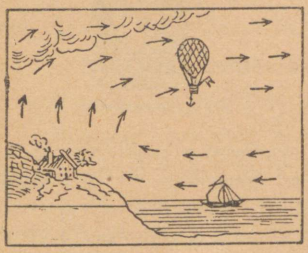
Tuule tegevus oleneb kohtade õhurõhu vahest. Mida lähemal isobaarid, seda kangem tuul.

Vastab gradiendile, s. o. 111 km kaugusele, 1 mm õhurõhu vahet, siis on tuule kiirus umbes 4 m/sek.

5. Ilma ettekuulutamine. Ettearvatava miinimumi edasinihkumise järele on võimalik antud koha jaoks järgmiseks päevaks tuule sihti umbes ette ütelda. (Tormihoiatused rannikutel ja sadamates.) Tuule siht annab ka näpunäite selle kohta, kas tuul niiske või kuiv saab olema.

6. Maakera korrapärased tuuled on tähtsad soojuse edasikandmise tõttu. Sarnased on: a) **maa-ja meretuul,** mis tekivad randades (J.117).

Päeval soojeneb maa kiiremini, kui meri. Sellepärast puhub kell 9 hommikust, kui soojendatud õhk maa kohal üles tõuseb, külm meretuul. Õhtul on aga ümberpöördud, sest et maa merest kiiremini jaheneb (soe maatuul). Neid tuuli nim. ka briisideks.



J. 117. Meretuul.

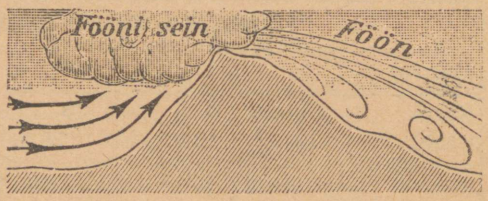
Maa-ja meretuulest on tingitud n. n. mereilmastik (kliima), mille temperatuuri vahetused päeval ja ööl (suvel ja talvel) pehmemad kui mannermaal.



J. 118. Passaatid.

b) **Passaatid.** Ekvaatori kohal tõusevad üles tugevasti soojendatud õhukogud ja liiguvad kõrgemates kihtides pöörjoonte (troopikate) poole (= antipassaat). Selle järelduseks on, et maakera pinnal alati külm tuul troopikatelt ekvaatori poole puhub (= passaat; J. 118). Maakera tiirlemise tõttu itta pöörub passaat põhja poolkeral seda rohkem lääne, mida ligemal ta ekvaatorile. Sellepärast puhub põhja-poolikul passaat NO, lõuna-poolikul aga SO sihis.

1. Ekvaatori (maavöö) kohal, kus õhk vertikaalselt tõuseb, valitseb vaikusvöö (kalmid). Tõusev kuum õhuvool on rikkalikult veeauruga küllastatud, mispärast ta kõrgel kiiresti jahenedes kaua vältavaid vihma vallinguid sünnitab.



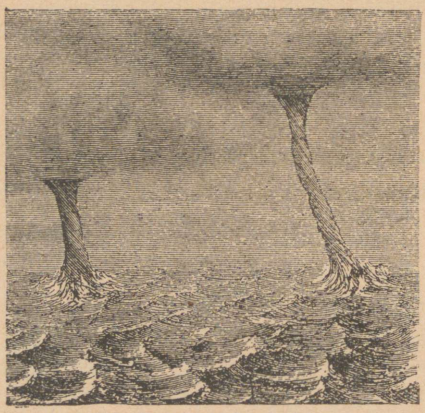
J. 119. Fööni tekkimine.

2. **Passaatide muutumised.** Suvel kuumeneb Aasia mannermaa nii suuresti, et seal tugevamad vertikaalsed õhuvoolud tekivad, kui kalmides. Selle järeldusel puhub India ookeanis tuul põhja, s. o. Aasia poole. Ainult talvel on seal korralik NO passaat ↙, suvel aga SW passaat ↗. Neid vahelduvaid tuuli nim. monsuunideks (= aastaaja tuuled).

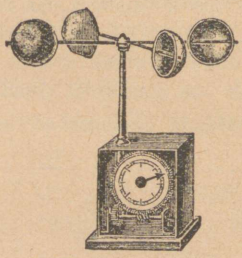
7. Kohalised tuuled on föön (J. 119) ja boora.

Föön kaotab üle mägede, näit. üle Alpide, puhudes peaaegu kõik oma niiskuse ja langeb teisele poole (põhja poole) kuiva tuulena alla, kus juures ta väga soojeneb (lange-tuul). Boora on Itaalias kardetav külm tuul, mis Alpidest üle lumeväljade puhub.

8. Tuulekeerutistes (tsükloonides) tekivad kesktôukejôu môjul sisemises ruumis ôhutühjad kohad, mis tolmu ja vett üles keerutavad.



J. 120. Vesipüksid Boodeni järvel.



J. 121. Anemomeeter.

Väikesed tolmukeerutised ilmuvad kôuevihma eel. Suuremad sarnased tsükloonid sünnitavad merepinnal n. n. vesipüksa (J. 120), mis laevadele hädaohtlikud. Tugevad tsükloonid, nagu näit. Ameerika Ühisriikides tihti tekkivad tornados'id, hävitavad omal teel terved inimeste asundused.

9. Tuule tugevuse môôtmiseks tarvitatakse anemomeetrit (J. 121), mis arvestaja mehanismiga ühendatud tuulerattast koos seisab (Roberti kausik-rist).

Tuule tugevus admiral Beaufort'i järele					
Tugevus	1	4	6	9	12
Kiirus	1—2 m/sek	6—8 m/sek	10—12 m/sek	16—18 m/sek	30 m/sek
Rôhk	1,6 kg/m²	13,2 kg/m²	30 kg/m²	82 kg/m²	211 kg/m²
Tegevus	kerge tômbe	paras tuul	kange tuul	torm	orkaan

Magnetism

§ 30. Magneti tundemärgid.

1. Magnet on keha, mis rauatükikesi ligi tômbab ja kinni hoiab. On olemas loomulikud ja kunstlikud magnetid.

a) **Loomulik magnetkivi** on rauamuld (Fe_3O_4), mida Rootsimaal, Uraali mägedes ja Põhja Ameerika vase-ringkondades leitakse.

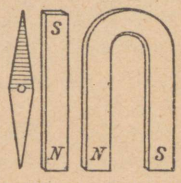
Iseäranis avaldavad oma magnetilist mõju murtud tükkide ääred ja nurgad, kui neid raua viilipurusse pistetakse.

Juba vanad greeklased tundsid sarnaste omadustega kiva ja väga võimalik, et neid kaubalinna Magneesia järele magnetiteks kutsutakse.

b) **Kunstlikud magnetid** (J. 122) on terasest. Itaallane Porta näitas (1589), et magnetiga hôôrutud teras ise magnetilised omadused omab.

Noa hôôrumine magnetiga; terassulg hakkab pärast seda noasse kinni.

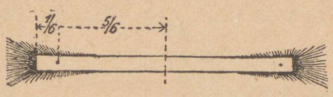
Kunstlikkude magnetite kujudeks tarvitatakse ainult nôela, sirge, hobuseraua kujusi.



J. 122. Magneti kujud.

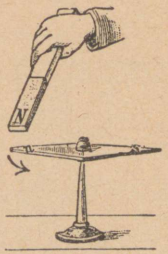
2. Kohti, kus ligitômme kôigest tugevam, nim. poolusteks (nabadeks).

Magnet-latti rauapurusse pannes, hakkab puru iseäranis tihedasti otsade külge kinni ja on ühe sisemise punkti poole sihitud, millest nagu kôik see tômbus oleneb. Seda mõeldavat ligitômbe punkti nim. pooluseks.



J. 123. Pooluste olek.

Harilikkudel kunstlikkudel magnetitel on kaks poolust (otsade ligiduses; J. 123) ja nende keskpaik ei avalda ligitômmet (neutraal-vöö).

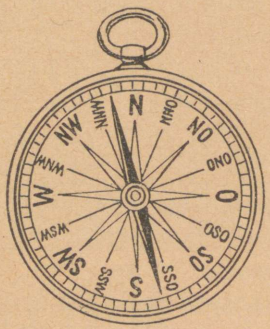


J. 124. Ühenimelised poolused.

3. Poolused on kahte liiki. Ora otsas vabalt liikuv magneti nôel (J. 124) seab end ise alati põhja-lôuna sihis, ja põhja poole näitab ikka üks ja sama poolus, kuna teine lôuna poole on sihitud. Sellepärast nim. ühte põhja-, teist lôuna-pooluseks.

4. Pooluste omavaheline tegevus. Katse (J. 124) näitab: ühenimelised poolused tõukavad teine teist eemale, isenimelised poolused aga tõmbavad teine teist ligi.

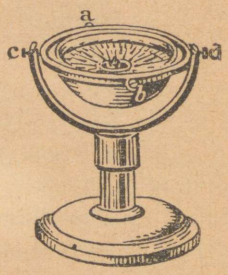
5. Magneti nõela kindla sihi hoidmine leiab tarvitamist kompassis, mis meile põhja sihi kätte annab (J. 125). Kompassis liigub tuulteroosi kohal horisontaalne magneti nõel. Tuulteroosil (kodarikul) on tähtsamad taevakaare sihid ära märgitud.



J. 125. Kompass.

Nõela hõõrumise vähendamiseks on ora ja nõela vahel agatist kübarake.

Laevakompassis (J. 126) on tuulteroos nõela külge kinnitatud; kompass ise on kinnitatud n. n. Cardani süsteemi järele, mis teda laeva kõikumistest rippumatuks teeb.

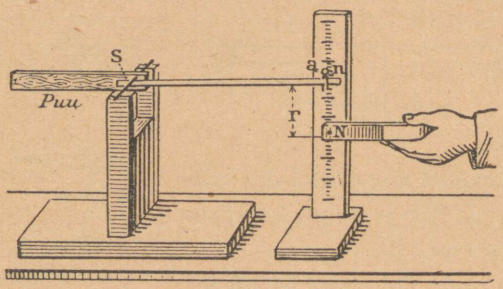


J. 126. Laevakompass.

Ajaloost. Hiinlased tundsid kompassi juba 1000 a. enne Kr. Alles itaallane Flavio Gioja hakkas kompassi laeva juhtimiseks tarvitama (umbes 1300 a.).

Bussooliks nim. aparaati, milles magnetnõel kraadidesse jaotatud ringi kohal liigub. Tarvitatakse sihi ajamisel.

6. Pooluse jõu üksuseks nim. poolust, mis niisama tugevat teist poolust 1 cm kaugusel väikese jõuga 1 düün ära tõukab. **Düün** on umbes 1,02 mg ehk $^1/_{981}$ g.



J. 127. Magnet-kaalud.

Märkus: füüsikas mõõdetakse jõudusi mitte grammides, vaid düünides, mille mõistet mehaanikas selgitatakse.

Ühenimeliste pooluste tõuke **mõõtmiseks** (*n* ja *N*; J. 127) tarvitatakse magnet-kaalusid.

Kaalude ehitus seisab koos magnetiseeritud sukavardast *nS*, mille üks poolus *S* oma mõju kaotamiseks liikumatalt kinnitatud. Varda tasakaaluks on puust latt temaga, nagu joonisel näha, ühendatud; kui pooluse *n* peale väike raskus *a* (reiter) panna, siis langeb ta alla; alt poolust *N* lähendades,

võib kaalusid jälle tasakaalu seada; siis võrdub pooluste n ja N vaheline tõuge raskusele a.

7. Coulomb'i seadus: kahe pooluse vahel, mille tugevus m_1 ja m_2 ja mis r cm kaugusel üks teisest, on:

$$\text{tõuge (ligitõmme)} = \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \text{ (düüni)}$$

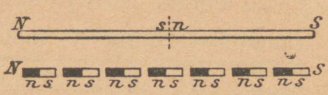
tähendab, kahe pooluse vastastikkune tõuge (ehk ligitõmme) kasvab pooluste tugevuste korrutisega ja kahaneb proportsionaalselt kauguse ruudule. — Harilikkude magnetnõelte tugevus on 3 kunni 12 pooluse üksust.

Ülesanded.

1. Magnet-kaalude pooluse tugevus on m = 24 (üksust). 12 cm kaugusel oleva teise magneti pooluse N tasakaaluks on vaja kaalude vaba pooluse peale reiter $a = 40$ düüni panna. Kui tugev on poolus N? (V. $N = 240$ üksust).
2. Kui tugevasti tõukavad kaks põhja-poolust $r = 20$ cm kaugusel, kui pooluste tugevused on $m_1 = 100$ ja $m_2 = 750$ üksust?

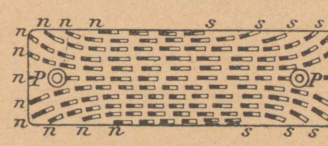
§ 31. Molekulaar-magnetid.

1. Magneti jagamine (J. 128). Murtakse magnetiseeritud sukavarras neutraaljoone kohalt pooleks, siis on järelkatsudes üks murtud otsadest lõuna-, teine põhjapooluseks. Iga varda osa kujutab enesest täieliku magneti põhja- ja lõunapoolusega. Järelkatsumine sünnib viili rauapuruga ja väikese kompassiga.



J. 128. Katse kudumise vardaga.

Pannakse kaks magneti murtud otsadega vastamisi, siis ilmub murtud kohale jälle neutraal-vöö.

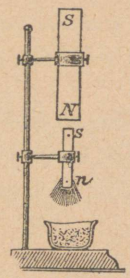

J. 129. Jõujooned magnetis.

2. Molekulaar-magnetid. Varda jaotamist võib jatkata mõttes kunni moleküülideni ja sel põhjal oletatakse, et magnet-pulk seisab koos suurest hulgast korraldatud molekulaarsetest magnetikestest, mille põhjapoolused kõik ühele poole sihitud (J. 129).

Jõu- ehk induktsioon-joonteks nim. jooni, mille sihis magneti sees molekulaar-magnetid korraldatud. Otsade poole lähevad need jooned laiemale (hajunevad), sest et siin ühenimelised lõpupoolused tõukavad.

§ 32. Môju-magnetism.

1. Môju-magnetismiks nim. nähtust, et raud ja teras juba magneti pooluse läheduses magnetilised omadused omavad, selle juures nii, et kaugemas otsas ühenimeline ja lähemas isenimeline poolus tekib.



J. 130. Magneti môju.

Tõenduseks on katse J. 130, milles raudpulka ns poolusele *N* lähendatakse. Alumise otsa külge jääb viilipuru rippuma. — Katse: naelte riputamine üks teise järele magneti pooluse külge. Kompassiga järelkatsumine, missugune poolus on vabal naela otsal.

2. Raua ja terase isesugused omadused. a) Pehme raud kaotab kohe saadud magneti omadused, niipea kui môjuv magnet lähedusest kõrvaldatud (ajutine magnetism).

b) Teras jääb pärast môjumist magnetiks (permanent, kindel magnetism).

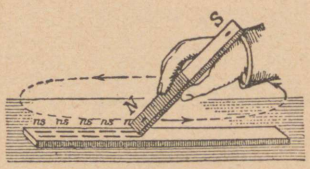
d) Keskmise kõvadusega raua sordid näitavad pärast môjumist magnetismi jälgi (järeljääv magnetism).

3. Môju-magnetismi seletatakse sellega, et raud ja teras juba enne magnetiseerimist molekulaar-magnetitest koos seisavad, kus juures nad aga niisuguses korratuses või seotud olekus on, et üldine välistegevus nullile võrdub.

Môjuva magneti lähenemisel seaduvad nimetatud molekulaar-magnetid korda. Sellepärast

magnetiseerimine = molekulaar-magnetite korraldumisele.

Teras takistab oma osakeste korraldamist. Seda takistust nim. koertsitiivjõuks (piirav jõud). Ta ei takista ainult magnetiseerimist, vaid segab ka korraldatud osakeste tagasipöörumist endisesse olekusse.



J. 131. Magnetiseerimine hôôrumise teel.

(Üle 900° C kuumendamisel kaob koertsitiivjõud.)

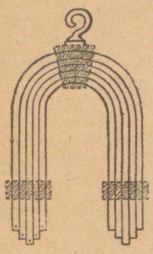
4. Magnetiseerimine hôôrumise teel. Hôôrutakse teras-pulka magneti poolusega, siis korralduvad selles molekulaar-magnetid. Hôôrumist toimetatakse kolmel viisil:

a) **lihtne hôôrumine** (J. 131). Hôôrutakse teras-latti tervel pikkusel korduvalt, näit. magneti põhjapoolusega *N* ikka ühele poole, tagasi võttes läbi õhu.

b) **Kahekordne hõõrumine.** Hõõrumist alatakse tulevasest neutraal-vööst ja hõõrutakse ühe otsa poole lõuna- ja teise otsa poole põhjapoolusega (seda võib toimetada ka korraga kahe magneti abil).

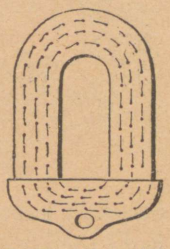
d) **Ringhõõrumine.** Magnetiseeritatavad terastükid (näit. kaks hobuseraua kujulist) seatakse ketti ja hõõrutakse ühendust ühe poolusega ringi ühes sihis.

Magnetiseerimine tungib selle juures pinda vähe (umbes $^1/_{10}$ mm). Sellepärast valmistatakse tugevad magnetid terasribade kogust, mida üksikult magnetiseeritakse. Sarnased magnetid nim. magneti magasinideks (J. 132).



J. 132.

5. Ankruks nim. tükk pehmet rauda, millega hobuseraua-kujulise magneti pooluseid ühendatakse, et jõujooni korras hoida (J. 133).



J. 133. Ankru mõju.

Ankrus kujutavad moleküülid magneti mõjul ka jõujooni, mis nii korralduvad, et magneti jõujoontega ühises ringjoones on; välispoole nad mõju ei avalda ja on segavatele mõjudele vähem kättesaadavad.

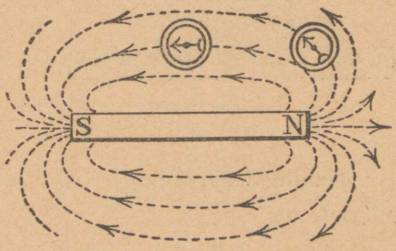
Peale seda tarvitatakse ankrut veel selleks, et mõlemate pooluste tõstejõudu ühendada, mis selle juures kaugelt kaks korda suurem on, kui üksikul poolusel.

§ 33. Jõujooned.

1. Magneti väljaks nim. piirkonda, milles magnet oma mõju avaldab. Välja olemasolemist tõendatakse kahel viisil:

a) Paigutades mitmesse kohta väikest kompassi, näeme, et selle magneti nõel igas kohas kindla sihi võtab (J. 134).

b) Riputades magneti väljas olevale paberilehele rauapuru ja lehe pihta koputades, kujutab puru ilusaid kõverjooni, n. n. välja jõujooni (J. 135).



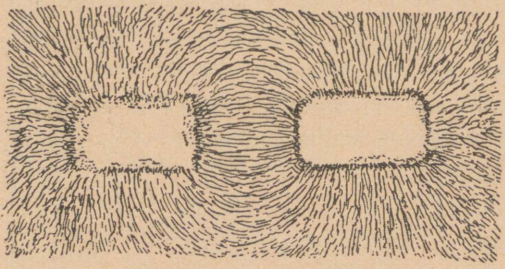
J. 134. Isenimelised poolused.

Põhjus. Rauapuru osakesed muutuvad magneti mõjul väikesteks magnetiteks ja korralduvad nagu magnetid.

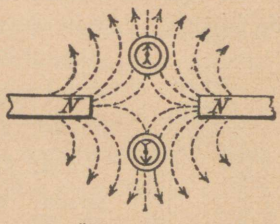
Jõujoonte piltide (spektrumite) **kinnitamine.** Paberileht kaetakse paraf fini korraga ja tekitatakse tema peale, nagu kirjeldatud, jõujoonte spektrum-

Pärast seda hoitakse lehte vähe gaastulel ja rauapuru jääb jahenedes paraffini külge kinni (J. 135).

2. Jõujoonte sihti arvatakse põhja-lõuna sihis. Nad lähevad põhjapoolusest välja ja tungivad lõunapoolusest sisse (J. 134).



J. 135. Magneti välja jõujooned.



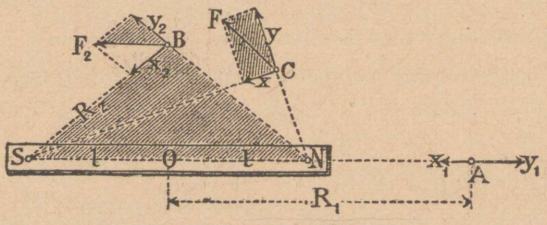
J. 136. Ühenimelised poolused.

Seisavad kaks ühenimelist poolust vastamisi (J. 136), siis on mulje, nagu tõukaksid ühtepidi sihitud jõujooned teine teist.

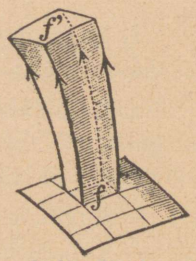
3. Välja tugevuseks nim. düünides mõõdetud jõudu, millega magnet omas väljas oleva pooluse üksuse peale jõujoonte sihis mõjub.

Märkus: eelpool tuleva seletuse selgituseks on vaja seletada kahe jõu asetamist ühe jõuga (keskjõuga), n. n. jõudude parallelogramm, § 87 järele.

Magneti *SN* välja tugevuse *F* kohas *C* saame (J. 137), kui üles leiame jõud x ja y, millega magneti lõuna- ja põhjapoolused mõjuvad pooluse üksuse peale punktis C, ja need jõud (jõudude parallelogrammi järele) kokku paneme.



J. 137. Välja tugevus leidmine.



J. 138. Jõutoru.

Näide: välja tugevus punktis A, mis R kaugusel magneti keskpaigast, on:

$$x = \frac{m \cdot l}{(R+l)^2};\quad y = \frac{m \cdot l}{(R-l)^2};\quad F = y - x = \frac{4\,R \cdot l\,m}{(R^2 - l^2)^2}.$$

l on pooluste vahe pool kaugust. Korrutis $m \cdot 2\,l$ nim. **magnetiliseks momendiks.**

4. Välja kujutamine jõujoonte abil annab võimaluse otsustada antud koha välja sihi, aga mitte tugevuse üle. Viimase väljendamiseks antud kohas kujutatakse selle ruut-cm pinnast (mis ristjoones joontele) nii palju jõujooni, kui palju düünisi väli selles kohas tugev on.

Kõik jõujooned, mis pinnast f (J. 138) läbi lähevad, sünnitavad **jõutoru.**

Faraday näitas, et sarnase toru läbilõikes, kunni see magnetilisest ringkonnast läbi ei käi, ikka ühepalju jõujooni on. Kus toru laieneb, seal langeb 1 cm² peale vähem jõujooni, s. o. välja tugevus on seal vähem.

5. Ühest pooluse üksusest läheb 4π jõujoont välja.

Põhjus. Raadiusega 1 cm kerapind, mis poolust kontsentriliselt ümbritseb, on 4π cm² suur. Selle pinna iga cm² väljatugevus on $\frac{M \cdot m}{r^2} = \frac{1 \cdot 1}{1^2} = 1$ (düün). Tähendab, igast pinna cm² läheb 1 jõujoon läbi.

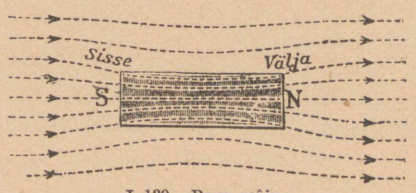
Magnet-pulgal, mille pooluse tugevus m, on $m \cdot 4\pi$ jõujoont. **Põhjus.** Kõik jõujooned, mis põhjapoolusest välja lähevad, peavad lõunapoolusesse tungima, sellepärast on magnet-pulgal ainult nii palju jõujooni, kui palju neid põhjapoolusest välja läheb, rippumata nende kumerusest.

6. Välja võib veel teisiti kujutada, nimelt potentsiaali **nivoo-pinna** abil. Väljapunkti A potentsiaaliks nim. tööd, mida magneti tõukejõu vastu teha vaja, et pooluse üksust lõpmatusest punkti A tuua. Ühesuguse potentsiaaliga punktid on ühes pinnas. Sarnast pinda nim. magneti potentsiaali nivoo-pinnaks ehk lihtsalt nivoo-pinnaks. Võib näidata, et potentsiaali pinnad jõujoontega ristjoones on.

Näiteks, magneti pooluse potentsiaali pinnad on kontsentrilised kerapinnad, mille raadiused jõujooni kujutavad.

§ 34. Kehade omadused magneti väljas.

1. a) **Raual** on omadus koondada eneses jõujooni, sedaviisi neid tihendades. Selle juures saab raud ise magnetiks. Jõujoonte arvu järele, mis raud enesesse koondab, otsustatakse tema pooluse tugevuse üle.

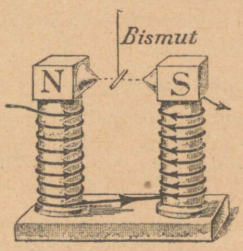


J. 139. Raua mõju.

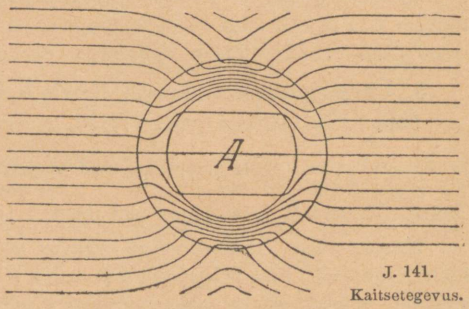
Näide. Lähevad rauatüki suurusest ruumist (J. 139) (kui raua asemel õhk) 14, aga rauast samal kohal 140 jõujoont läbi, siis koondab raud 140 — 14 = 126 jõujoont, mille järele pooluse tugevus (§ 33, 5) $m = 126 : 4\pi =$ ümmarguselt 10 üksust on.

b) Kui raua asemele bismut võtta, siis on läbitungivate jõujoonte arv vähem, kui õhuruumis.

2. Permeabiliteediks (μ) nim. keha võimet jõujooni tihendada. Õhu permeabiliteet on 1, raual kunni 2000, bismutil aga kõigest 0,99982. Raua sarnased kehad nim. **paramagnetilisteks** ($\mu > 1$), bismuti sarnased — **diamagnetilisteks** ($\mu < 1$).



J. 140.
Bismut magneti väljas.



J. 141.
Kaitsetegevus.

Raudpulk seab ennast jõuvâljas paralleelselt jõujoontele, bismut aga perpendikulaarselt (J. 140).

3. Kaitsetegevus. Et mõnda ruumi jõujoonte sissetungimise eest võimalikult kaitsta, piiratakse see ruum paksu rauast rõngaga (J. 141).

Raud koondab enesesse jõujooni, mis temas oma läbikäimiseks vähema takistuse leiavad, kui õhus.

§ 35. Maakera magnetism.

1. Pooluste (nabade) olek. Gilbert (1600) oli esimene, kes teadis, et kompass sellepärast põhja poole näitab, et maakera ise suur magnet on, mille magnetiline lõunapoolus põhjanabaga ja põhjapoolus lõunanabaga ühtub. Ta pidas maakera täielikuks kahepoolusliseks magnetiks.

1831 a. katsus kapten Ross n. n. maakera magnetismi poolust üles leida, ning leidis, et lõunapoolus asub Põhja-Ameerika poolsaarel Boothia felix. Põhjapoolus leiti 1909 a. Lõuna Jäämeres.

Kuid tõepoolest ei avaldu maakera magnetismi nähtused mitte sarnaselt kahepooluslise magneti nähtustele.

2. Deklinatsioon. Juba Kolumbus märkas omal reisul Ameerikasse, et kompassi nõel täpselt põhja poole ei näita.

Mônes kohas pöörub ta ida poole; meie juures kaldub ta praegusel ajal ôigest põhjasihist (geograafilisest meridiaanist) lääne.



Kompassi nôela sihti nim. **magneti meridiaaniks. Deklinatsiooniks** (pööreks) δ nim. nurka, mille magneti meridiaan geograafilisega sünnitab.

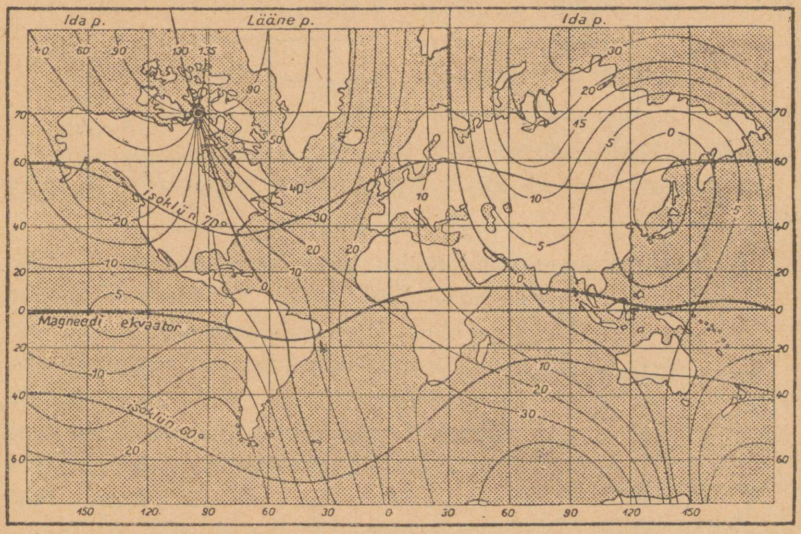
Deklinatsiooni suuruse määramiseks võib järgmist katset tarvitada. Päikese paistel seatakse lauale kèpp vertikaalselt, ja kell 12, kui päike



J. 142. Deklinatsiooni määramine.

lõunas ja kepi vari täpselt põhja poole näitab, võrreldakse kompassi nôela sihi kôrvale pöörumist varju sihist (J. 142).

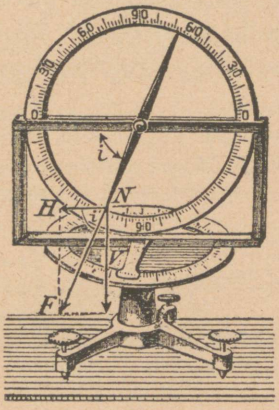
Maakera kohad, kus ühesugune deklinatsioon, ühendatakse



J. 143. Isogoonid ja isokliinid.

kaardil ülevaate saamiseks joontega, n. n. **isogoonidega,** mis üks teist maakera magneti poolustes lôikavad (J. 143).

Inklinaatoriks nim. riista, milles täpselt raskuspunktis kinnitatud magneti nôel vertikaalses tasapinnas vabalt vôib liikuda (J. 144). Tarvitamisel seatakse inklinaator nônda, et nôel magneti meridiaanis kôigub. Nôel omab siis maakera magnetismi jôu sihi F.



J. 144. Inklinaator.

Põhja maapoolikul kaldub alla põhjapoolus, lôunapoolikus — lôunapoolus, ekvaatoril on nôel horisontaalne.

Magneti nôela kaldumine i kaalussihist nim. **inklinatsiooniks** (kaldeks), mille suurus Kesk-Euroopas umbes 66° on. **Isokliinideks** nim. jooni, mis ühendavad kaardil kohti ühesuuruse kaldega. **Magneti ekvaatoriks** nim. joont, kus kalde null (J. 143).

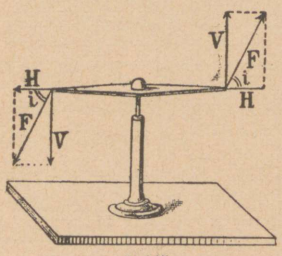
4. Välja tugevus. Maakera magnetismi jôud F on inklinatsiooni sihis (J. 145). Teda jagatakse kaheks jôuks, n. n. horisontaalseks ja vertikaalseks komponendiks (H ja V). Ümmargustes arvudes on pooluse üksuse jaoks

$$H = \frac{1}{5} \text{ düüni}, \qquad V = \frac{2}{5} \text{ düüni}$$

On H teada, siis leiame $V = H \cdot \operatorname{tg} i$.

Kompassi nôel on ainult horisontaalse komponendi H môju all (J. 145).

5. Maakera magnetismi môju. Raud- ja terasasjad, mis kaua aega ühel kohal vertikaalselt (parem inklinatsiooni sihis) seisnud, saavad maakera magnetismi môjul magnetilisteks, missugust nähtust oleku magnetismiks nim. Loodis hoitav pehmest rauast kang näitab alati allpool põhja ja üleval lôuna magnetismi, ka siis kui tema otsad vahetatakse.



J. 145.

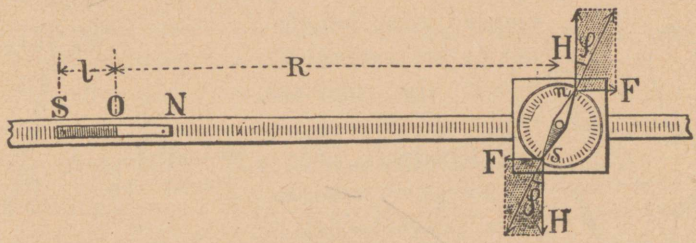
6. Maakera magnetismi muutused. Suurused δ, i, H (deklinatsioon, inklinatsioon ja horisontaalne komponent) nim. maakera magnetismi elementideks. Need suurused on magneti observatooriumis alati

vaatlusel ja on leitud, et neis aastasajased, öö-päevalised ja ka silmapilksed muutused sünnivad. Näiteks, Pariisi deklinatsiooni kõikumised:

1580	1663	1750	1814	1849	1885
9° ida p.	0°	9° lääne p.	22° 34′ lääne p.	20° lääne p.	16° lääne p.

Silmapilksed muutused, n. n. magneti tormid, ilmuvad sagedasti siis, kui päikese kettast suurem arv plekka üle läheb; ka põhjavalguse (virmaliste) ajal.

7. Välja tugevuse mõõtmine on kerge, kui koha maakera magnetismi horisontaalne mõju H teada. Viimase väljaarvamiseks on tarvitusel Gaussi magnetomeetri joonlaud. See on mõõdulaud, millele väike kompass asetatud (J. 146). Joonlaud seatakse Ost-West sihis

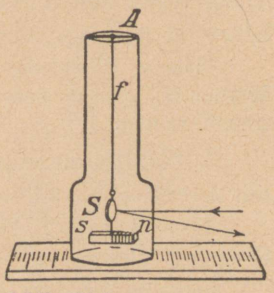


J. 146. Gaussi magnetomeeter.

(1. peaolek). Lükatakse joonlauda mööda magnet-pulka edasi, siis pöörub kompassi nõel nurga φ võrra magneti meridiaanist kõrvale. Mõlema nõela pooluse peale mõjuvad kaks jõudu, 1. maakera magnetismi välja tõmme H, 2. magneti NS tekitatud magneti välja tõmme F.

Siis on $F = H \cdot \operatorname{tg} \varphi$.

8. Võnkuv magnetomeeter (J. 147). See on niidi otsas rippuv väike magnet-nõelake, mis horisontaal-tasapinnas võngub. Mida tugevam magneti nõela ümbrusväli, seda kiiremini ta võngub.



J. 147. Võnkuv magnetomeeter.

Katse: lähenedes kompassile magneti poolusega, näeme, et nõel hakkab kiiremalt võnkuma.

Väljade tugevused suhtuvad kui võnkumiste arvude ruudud: $F_1 : F_2 = n_1^2 : n_2^2$.

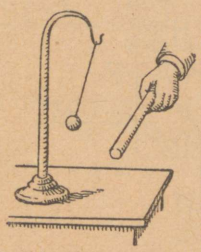
Hôôrumise elekter

§ 36. Elektrilise oleku tundemärgid.

1. Elektriseerimine hôôrumise abil. a) **Eboniit-kepp,** hôôrutud villa vôi karvaga, saab elektriliseks, s. o. tômbab väikseid kergesti liikuvaid kehakesi ligi (nagu paberi-, korgitükikesi ja m.) ja tôukab nad peale kokkupuutumist eemale.

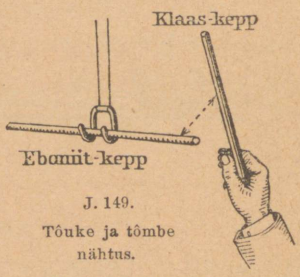
Katse **elektri pendliga** (J. 148): siidiniidi otsas rippuv vleedripuust (parem tselluloosest) kerake.

Niisama tômbab hôôrutud eboniit-kepikest môni mitte-elektriseeritud keha, kui eboniit kepike kergesti liikuvalt üles riputatud (J. 149).



J. 148. Elektri pendel.

b) **Klaaspulk,** hôôrutud siidiga vôi amalgaamiga (elavhôbedast ja tsingist koosseisev pulber) kaetud nahaga, saab ka elektriliseks. (Niisamasugused katsed kui eboniit-kepiga.) — d) Ka teised kehad saavad hôôrudes elektrilisteks, näiteks väävel, hôôrutud karvaga; kirjalakk, merevaik.



J. 149.
Tôuke ja tômbe nähtus.

Ajaloost. Elektrilisi nähtusi tunti juba vanal ajal, nimelt merevaigu hôôrumisel; greekakeelsest merevaigu nimetusest "elektron" ongi sôna "elektriline" tulnud.

2. Elektrit on kahte liiki olemas: a) kaks villaga hôôrutud eboniit-keppi tôukavad teine teisest.

Tôendus (J. 149): üks kepp asetatakse laiale konksule, mis bifilaarselt (kahe üks teisest eemal oleva niidi abil) üles on riputatud, nii et ta pööruda vôib.

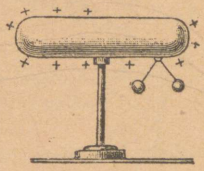
b) Amalgaamiga hôôrutud klaaskepid näitavad sedasama. — d) Aga klaas- ja eboniit-kepid tômbuvad ligi.

Sellepärast tehakse vahet kahe isesuguse elektri vahel, mis Lichtenbergi järele (1777) **klaasi ehk poositiivseks ja vaigu ehk negatiivseks** elektriks kutsutakse, kus juures klaas amalgaamiga, eboniit (ehk vaik) villaga hôôrutud.

Ühes sellega maksab seadus: ühenimelised elektrid tõukuvad, isenimelised aga tõmbuvad.

3. Elektrit võib puutumise teel edasi anda, mida juba katse (J. 148) elektri pendliga näitas, kui pärast kokkupuutumist kepi ja kerakese vahel tõukejõud ilmus, sest et nad ühesuguse elektriga laadusid.

4. Elektrilise oleku tundmine kaksikpendli abil (J. 150). Tõmmatakse elektriseeritud klaas- või eboniit-kepiga mitu korda konduktorit mööda, mis metall keha klaasist või eboniidist alusel on, siis lähevad konduktori külge kinnitatud kaksikpendli kerakesed kauemaks ajaks teine teisest eemale. See on keha elektrilise oleku nähtav tundemärk.



J. 150. Konduktor kaksikpendliga.

Kaksikpendel seisab koos kahest vleedripuu-kerakesest, mis lühikeste traatide otsa kinnitatud ja aasa küljes liikuvad on (J. 150).

Tühjendamine. Puudutakse elektriseeritud konduktori näpuga, siis kargab temast näppu ragisedes sädeke ja pendli kerakesed langevad alla. Selle juures läheb elekter keha kaudu maasse.

5. Elektroskoop. Keha elektrilise oleku näitamiseks tarvitatakse elektroskoopi (J. 151). Selle sisulisemaks osaks on klaasnõus olev kaksikpendel kahest lehtkulla, alumiiniumi, paberi või õle ribakesest.

Kaksikpendel kinnitatakse vaskvarda otsa, mis eboniit-korgist läbi käib ja nupuga *K* lõpeb.

Klaasnõu kaitseb kaksikpendlit õhutõmbe ja niiskuse eest.

a) **Laadimine:** nuppu puudutakse elektriseeritud kehaga; elekter laguneb pendli peale ja tõukab kerakesed teine teisest eemale.



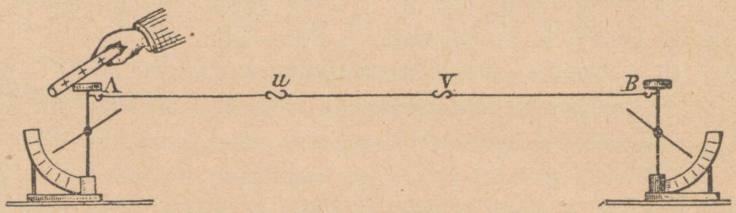
J. 151. Elektroskoop.

b) **Järelkatsumine:** tahetakse järelkatsuda, kas elektroskoop positiivselt või negatiivselt on laetud, siis lähenetakse nupule kehaga, mille elekter teada.

1. On läheneva keha elekter ühenimeline elektroskoobi omaga, siis lähevad kerakesed teine teisest veel kaugemale. — Põhjus: keha tõrjub elektroskoobi laengu nupust pendlisse.

2. Lähenetakse isenimeliselt elektriseeritud kehaga, siis langevad kerakesed koomale. — Põhjus: keha tõmbab elektroskoobi laengu rohkem nupu poole.

Tihti tarvitatakse elektroskoope, milles üks kaksikpendli haru kinnitatud (J. 152).



J. 152. Juhtivuse tõendus.

6. Juhid ja mittejuhid. Mõnedes kehades laguneb elekter kohe laiali, teistes aga mitte. Esimesed nim. juhtideks, teised mittejuhtideks (isolaatoriteks).

Katse: kaks elektroskoopi *A* ja *B* ühendatakse peene vasktraadiga (J. 152); kui ühte elektriseerida, siis näitab ka kohe teine elektri laengu saamist. — Katse siidiniidiga.

Juhtideks on kõik metallid, vesi, inimese keha, maapind, niisked kehad. **Mittejuhid** on: kuiv õhk, kuiv paber, kuiv klaas, eboniit, portselaan, siid, paraffin ja merevaik. — **Pooljuhtideks** on niisked kehad, nagu puu, nöör.

Niiskes õhus katab isolaatore nägemata kiht kondenseeritud veeauru, mille kaudu elektri laengud maasse kaovad.

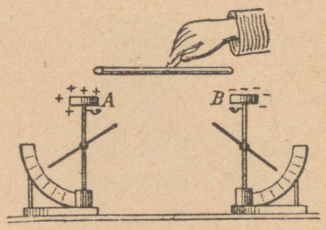
7. Elektri hõõrumis-seadus. a) Hõõrutakse kaks isesugust keha teine teise vastu, siis omab üks positiivse, teine negatiivse elektri. Metalle peab varustama sellel katsel isoleeritud käepidemetega, et tekkiv laeng kätt mööda maasse ei kaoks.

1. Katse: metall-platte hõõrumine eboniit-plattega (elektrofoorplatted) ja laengute järelkatsumine elektroskoobiga. — 2. Katse: kaks isikut *A* ja *B* seisavad isoleeritud pinkidel; *A* harjab *B*-*d*; *A* saab elektriseeritud positiivselt, *B* negatiivselt; järelkatsumine elektroskoobiga.

b) **Hõõrumis-rida.** Kehadest võib niisuguse rea kokku seada, kus kõrvu olevate kehade hõõrumisel eelmises ilmub positiivne ja järgmises negatiivne elekter.

Näiteks: 1. karv, 2. klaas, 3. vill, 4. siid, 5. metall, 6. eboniit, 7. väävel, 8. talk. — Mida kaugemal üks teisest selles reas hõõrutavad kehad, seda tugevamini nad elektriseeruvad.

8. Ühesuurused hulgad positiivset ja negatiivset elektrit taandavad (neutraliseerivad) teine teist. Tõendamiseks laetakse kaks ühesugust elektroskoopi kunni nende pendlid ühesuuruse nurga teevad, üks positiivselt, teine negatiivselt. Kui neid siis mõne juhiga ühendada (J. 153), langevad mõlemad pendlid kohe kokku. Pendlid jäävad kokku ka siis, kui elektroskoope lahutada. Nad on oma elektri laengu kaotanud.



J. 153. Taandamine.

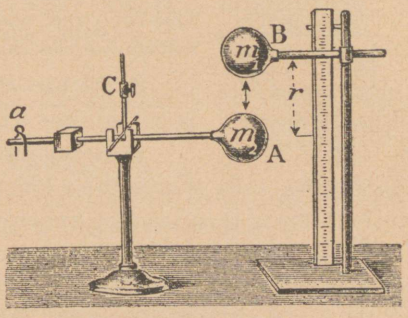
Katsumisel ühenimeliselt laetud elektroskoopidega jäävad pendlite olekud muutmata.

§ 37. Elektrihulga üksus.

1. Elektrostaatiliseks elektrihulga üksuseks nim. väikest elektri hulka, mis samasuguse elektrihulga 1 cm kaugusel jõuga 1 düün tõukab (§ 30, 6).

Selgituseks olgu (J. 154) konduktor *B* elektriga laetud. Puudutades temaga elektri kaalude samasuurt konduktorit *A*, laotame elektri konduktorite peale ühetasaselt. On siis nende tõukamine 1 cm kaugusel 1 düün suur, siis kannab iga konduktor ühe elektrihulga üksuse. (Kerakesi tuleb punktidena ettekujutada.)

Praktikas tarvitatakse 3000 miljoni korda suuremat üksust, mida 1 Coulomb (kulooniks) nim. **1 Coulomb võrdub $3 \cdot 10^9$ elektrihulga üksust.**



J. 154. Elektri kaalud.

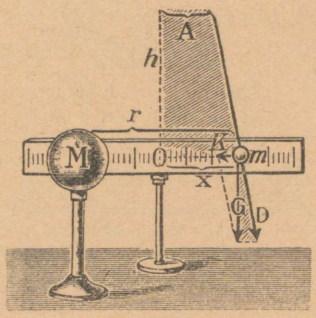
2. Coulomb'i seadus (1790). Kahe elektrihulga m_1 ja m_2 vahel r cm kaugusel on

$$\text{tõukejõud (tõmbejõud)} = \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \text{ (düüni)}$$

tähendab, tõukejõud (tõmbejõud) kasvab elektrihulga suurusega ja kahaneb kauguse ruuduga.

Näide: $m_1 = 500$, $m_2 = 300$ elektrihulga üksust. Tõukejõud 10 cm kaugusel on $x = \frac{500 \cdot 300}{100}$ düüni = 1500 düüni = umbes 1,5 g.

Seaduse ligem järelkatsumine sünnib 3—4 m pika siidiniidi otsa kinnitatud pendliga, millel tselluloosest hôbetatud kerake (J. 155). Pendliga ühenimeliselt laetud konduktor tôukab kerakese kôrvale ja pendli katsetest (§ 109) teame, et kôrvale kaldumise suurus *Om* tôukava jôu môôduks on.

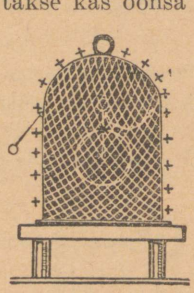


J. 155. Odstrêil'i pendel.

Suurendades kaugust *Mm* 1 *r* pealt 2 *r* peale, siis 3 *r* jne. ja môôtes igakord vastavat tôukejôudu *Om*, leiame, et selle suurus ei ole mitte, nagu oodata vôiks, 1 *x*, ½ *x*, ⅓ *x*, . . . vaid 1 *x*, $^1/_4$ *x*, $^1/_9$ *x*, . . ., s. o. **jôud kahaneb kaugusega mitte lihtsalt, vaid selle ruuduga.**

§ 38. Elektri asupaik.

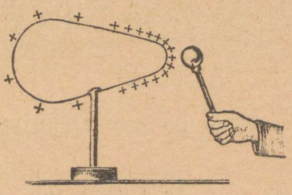
1. Elekter asub alati ainult juhi välispinnal. Seda näidatakse kas ôônsa keraga, millel ülemises osas avaus on vôi **Faraday puuri** abil.


J. 156. Faraday puuri-katse,

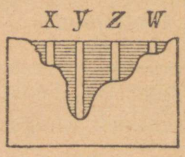
Järelkatsumiseks seatakse elektroskoop traadist puuri (J. 156; ka pôhi on traadist). Puur ise on isoleeritud. Elektroskoop on metall-traadi kaudu puuri seintega ühenduses. Puuri vôib tugevasti elektriseerida, kuid elektroskoobi lehekesed ei näita mingisugust nurka. Traadist puur, niisama ka rauast maja (raudteevagun) kaitseb sisemist ruumi välistest elektri môjudest.

2. Elektri tiheduseks nim. elektri hulka, mis pinna üksusel (1 cm²) asub.

a) **Kerapinnal** on elektri tihedus igal pool ühesugune. — b) Munasarnase konduktori pinnal on elekter tihedam teravas otsas (kus suurem kumerus; J. 157).


J. 157. El. tihedus.

Näidatakse seda järgmiselt: katsekerakesega, ehk parem 1 cm² suure katsekettaga, vôetakse kehal mitmest kohast proovid ja kantakse neid elektroskoobile, mille lehekeste laialiminek elektri rohkust, s. o. tihedust näitab.

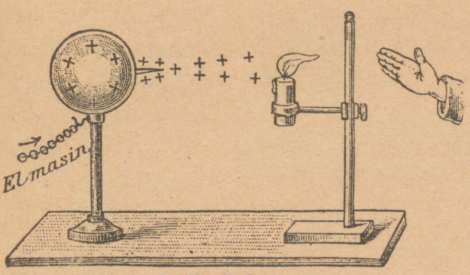


J. 158. Sügavused.

Vôrdlus. Merewesi on tasakaalus, kuid mere sügavused vôivad isesugused olla (J. 158).

d) **Orad** kuhjavad enese peale nii palju elektrit, et see (oralt) õhku voolab; elektriseeritud õhk tõugatakse oralt eemale ja see tekitab n. n. **elektri tuule** (orategevus).

Katsed oraga varustatud konduktoriga, mida elektrimasina abil püsivalt elektriseeritakse (J. 159): a) elektri tuul puhub leegi ära; b) teda on käega tunda; d) 1 m kauguselt laeb ta elektroskoobi. — Katse Franklini rattaga



J. 159. Elektri tuul.



J. 160. Franklin'i ratas.

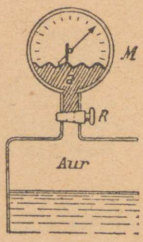
(J. 160): orad ja õhk, kui ühenimeliselt elektriseeritud, tõukavad üks teist. Orast voolava elektri vaatlemine pimedas:

positiivne elekter annab valguse kiirte kimbu, negatiivne elekter — hõõgvalguse.

§ 39. Elektri pinge.

1. Pinge põhjus. Laetud konduktoril on elekter pingul, sest et laengu väiksemadki osakesed üks teist eemale tõukavad.

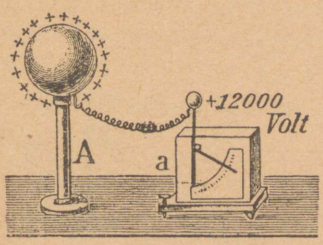
Võrdlus auru pingega aurukatlas (J. 161). Auru pinge mõõtmiseks on vedrumanomeeter. Auruhulk, mis kraani *R* kaudu manomeetrisse pääseb, on küll väike, aga ta on kui vahepuffer, mis võimaldab manomeetrile aururõhumist katlas ära määrata.



J. 161.

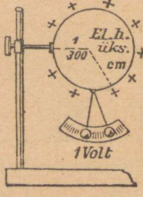
2. Elektri pinge mõõtmiseks tarvitatakse elektroskoopi.

Laetud konduktor ühendatakse elektroskoobiga (J. 162); konduktori laengust voolab elektrit elektroskoopi väike osa, nimelt nii palju, kui tarvis, et elektri pinge elektroskoobil sama suur oleks, kui konduktoril.



J. 162. Pinge mõõtmine.

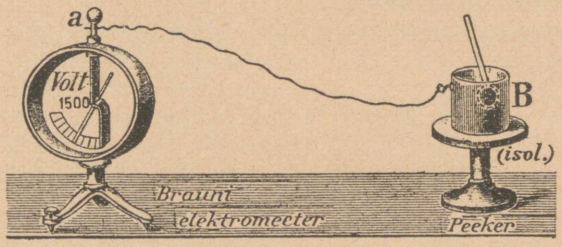
Mida suurem elektroskoobi lehekeste laialiminek, seda suurem on sellega näidetav elektri pinge.



J. 163. Volt.

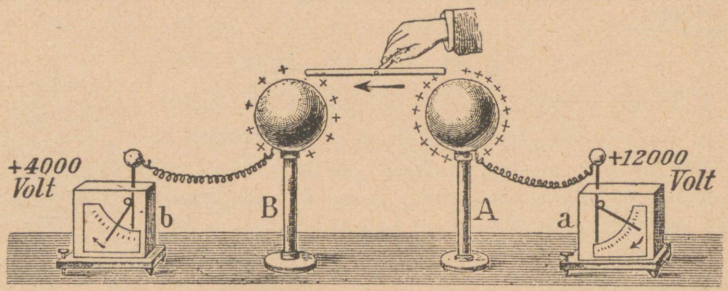
3. Elektri pinge üksuseks on Volt, mis võrdub 1 cm raadiusega kera pingele, kui laeng $^1/_{300}$ elektrihulga üksust on (J. 163).

Volt'idesse jagatud skaalaga elektroskoopi nim. **elektromeetriks.** Elektromeetri järelkatsumiseks juhitakse temasse Faraday peekri abil (*B* J. 164) rida ühesuuruseid laenguid. Katsekeraga puudutakse peekrit seestpoolt, sest et siis terve laeng alati täielikult edasi antakse. Vôrdseid elektri hulki saab siis, kui proove vôtta tugevasti laetud Leideni purgi nupult.



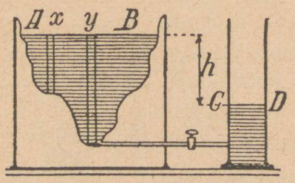
J. 164. Elektromeetri katsumine.

4. Kahe juhi pingevahe. Kaks keha, millel isesugused elektri pinged, omavad ühendamisel ühesuguse pinge (J. 165).

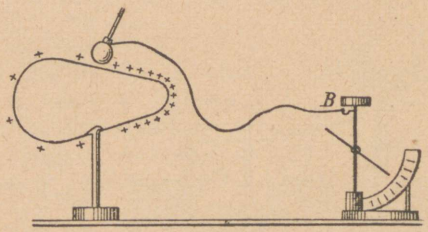


J. 165. Elektri-pinge taandamine.

Vôrdlus ühendatud anumatega (J. 166). Elektri pinget vôib väga hästi veepinna kôrgusega anumas vôrrelda. Pingevahe = kôrguse vahele.



J. 166.



J. 167.

Kiirema pingevahe hindamiseks peame meeles, et **1 mm pika elektri sädemele vastab ümmarguselt pingevahe 1000 Volt'i.**

See arv on siiski väga muutlik, olenedes konduktorite kujust, mille vahel säde tekib.

5. Kõikides juhi punktides valitseb üks ja sama elektri pinge, mittekorrapärase tiheduse peale vaatamata, kui aga laeng paigal.

Katse (J. 167): liigutakse katsekuulikesega, mis peene pika vasktraadi kaudu elektromeetriga ühenduses, elektriga laetud konduktori munasarnast pinda mööda. Elektromeetri näitamine jääb muutmataks. — Võrdluseks: nõus *A* (J. 166) on vedeliku pinnad *x* ja *y* ühekõrgusel, vaatamata selle peale, et nõu sügavus neis kohtades isesugune.

6. Elektri pinget nim. ka potentsiaaliks. (Selle põhjus selgitatakse § 46.) Potentsiaal on positiivne ja negatiivne selle järele, missuguse elektriga keha laetud. Keha potentsiaal on 1, kui tema pinge 300 V.

7. Kapatsiteet (elektrimahutavus). Katse näitab: et 1 cm, 2 cm, 3 cm ... raadiusega kera kunni 1 V. pingeni laadimiseks on vaja $^1/_{300}$, $^2/_{300}$, $^3/_{300}$ elektrihulga üksust. Selle kohta öeldakse, et nende kerade kapatsiteet on $^1/_{300}$, $^2/_{300}$, $^3/_{300}$ ... $\left(\frac{\text{el.-hulga üksust}}{\text{Volt}}\right)$.

Konduktori kapatsiteet on C, tähendab: vaja konduktorile anda laeng *C*, et tema pinge 1 V. võrra tõuseks.

Võrdlus püstsilindritega, millel isesugune läbimõõt. On vaja isesuuruseid veehulki, et vesi neis 1 cm võrra kõrgemale tõuseks (kõrgus = pingele).

a) *r* cm raadiusega **kera elektrimahutavus** on $r \cdot {}^1/_{300} \frac{\text{el. hulga üksust}}{\text{Volt}}$.

Näide: 1 m raadiusega kera el. mahutavus on $100 \cdot {}^1/_{300}$ el. hulga üksust. maakera mahutavus = $6370 \cdot 1000 \cdot 100 \cdot {}^1/_{300}$ = umbes 2 milj. el. hulga üksust = $^2/_{3000}$ Coulomb'i.

Ühe Coulomb'i elektrimahutavust nim. **farad'iks.** Tähendab, maakera elektrimahutavus on $^2/_{3000}$ faradi ehk 667 mikrofaradi (1 mikrofarad = 0,000001 faradi).

b) Keha laadimiseks kunni *V* Volt'ini, kui keha elektrimahutavus *C*, on vaja

$$\text{elektrihulk } E = V \cdot C.$$

Näide: konduktori raadius on 5 cm, tema el. mahutavus

$$5 \cdot {}^1/_{300} \frac{\text{el. hulga üksust}}{\text{Volt}},$$

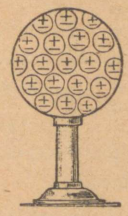
milline hulk konduktori 1 V-ni laeb. Pingeks 30000 V. vajab ta $30000 \cdot 5 \cdot {}^1/_{300}$ = 500 el. hulga üksust.

Ülesanded.

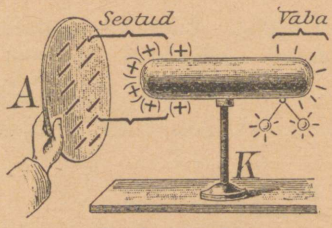
1. Kui suure jôuga P tôukuvad üks teisest 1 km kaugusel kaks kera, kui kummagi laeng 1 Coulomb? (V. $P = 917$ kg.)
2. Kui palju elektrit on keras, mille raadius 5 cm ja pinge 30000 V.? (V. 500 el. hulga üksust.)
3. Kaks ühesugust ja sama tugevasti laetud 1 cm raadiusega kera tôukavad teine teist 5 cm kaugusel jôuga 4 düüni.
   a) Kui palju on neis igas ühes elektrit? b) Missugune on nende el. pinge? (V. $E_1 = E_2 = 10$ el. hulga üksust; $V_1 = V_2 = 3000$ V.)
4. Kui suur peaks olema maakera pinge, et ta 10 kg raske ja 1 m läbimôôdus konduktori kera enesest eemale tôukaks? (V. Umbes 3218 miljoni Volt'i).
5. Pikergune konduktor (J. 150), mille el. mahutavus $C_1 = 0{,}01 \frac{\text{el. hulga üksust}}{\text{Volt}}$, laetakse kunni + 30000 V., siis ühendatakse ta neutraalse keraga, mille raadius 5 cm. Missugune on nende ühine pinge? (V. 11250 V.)
6. Kaks 4 cm raadiusega kera on laetud kunni 40000 V. Kui suure jôuga tôukavad nad üks teist veel 20 cm kaugusel? (V. 711 düüni.)
7. Brauni elektromeeter näitab 900 V. pinget. Pinge langeb kunni 200 V., kui teda puudutakse neutraalse konduktorkeraga, mille raadius 3 cm. Kui suur on selle järele Brauni elektromeetri el. mahutavus? (V. $^1/_{350}$ el. hulga üksust.)
8. Kui suur on kera, mille el. mahutavus 1 farad? Võrdluseks olgu päikese läbimôôt, mis võrdub 1,4 miljoni km. (V. 9 miljoni km.)

§ 40. Môju-elekter.

1. Vaade "elektrita" keha peale (J. 168). Symmeri järele (1759) oletatakse, et elektrita (neutraalse) keha igas punktis on ühepalju positiivset ja negatiivset elektrit, mis oma sisemise ühenduse tôttu mingisugust nähtavat välismôju ei avalda. Seda vaadet toetab iseäranis môju-elektri nähtus.



J. 168.



J. 169. Môju-elekter.

2. Môju-elektriks nim. elektrit, mida neutraalses kehas elektriseeritud keha môjul saadakse. On Symmeri hüpotees ôige, siis peab tekkima neutraalses kehas K elektriseeritud keha A läheduses (J. 169) + elektri ja — elektri jaotus. Elektriseeritud keha tômbab isenimelise elektri lähemale ja tôukab samanimelise eemale. Nii see ongi.

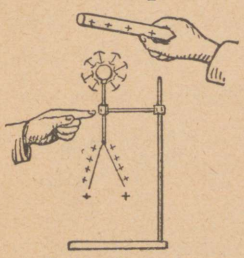
Eemale tõugatud elektrit võib puudutades maasse juhtida, mispärast teda **vabaks** kutsutakse. Ligi tõmmatud elektrit nim. **seotud** elektriks, sest et teda elektriseeritud keha kinni hoiab.

a) **Vastupidiste elektrilaengute järelkatsumine.** Tugeva tegevuse saamiseks seatakse pikerguse elektriseerimata konduktori ette karvase nahatükiga piitsutatud eboniidist ketas *A* (näiteks elektrofoori ketas; J. 169); siis võetakse katsekera abil lähis- ja eemalolevast pinna otsast elektri proovid ja uuritakse neid kuldlehekestega elektroskoobi abil.

b) **Seotud elektri järelkatsumine.** Konduktori *K* eemalolev ots varustatakse kaksikpendliga, mille kerakesed ketta *A* mõjul tekkinud vaba negatiivse elektri tõttu lahknevad. Kui näpuga konduktorit puudutada, läheb see vaba elekter maasse: kerakesed langevad kokku. Kui nüüd näpp ja ketas *A* ühekorraga eemaldatakse, siis vabaneb seotud (+, jaatav) elekter ja sunnib omakord pendli kerakesi lahknema.

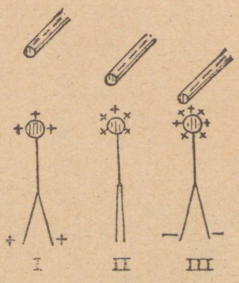
3. Seotud elektrihulk on üldiselt kõigest mõni murruline osa *m* siduvast, näit. 0,3 (kõige rohkem 1, millele ta ainult siis võrdub, kui keha *K* mõjuvat keha *A* kontsentriliselt ümbritseb).

4. Elektroskoobi laadimine mõju-elektriga. Positiivse elektriga laetud klaaskepiga lähenedes, näiteks, ülevalt elektroskoobile laeme tema pendlit positiivselt ja nuppu negatiivselt (J. 170). Puudutakse näpuga elektroskoobi kaela, siis langevad pendli lehekesed kokku; nuppu jääb ainult seotud negatiivne elekter. Kui nüüd näppu vähe enne kepi eemaldamist ära võtta, siis vabaneb nupu laeng, tungib pendlisse ja ajab lehekesed laiali.



J. 170. Laadimine

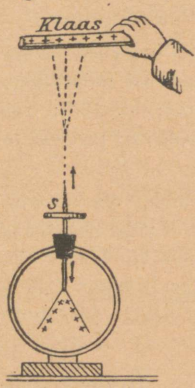
Sarnaselt võib eboniitkepi abil elektroskoopi positiivse elektriga laadida. — Ühenimeline elekter ilmub siis, kui nuppu kepiga puudutakse. Selle juures taanduvad (neutraliseeruvad) nupus tekkiv mõju-elekter samasuuruse kepi vastunimelise elektri hulgaga. Kepi kaotatud laeng võrdub pendli laengule (näilik üleandmine).



J. 171.

5. Elektriseeritud keha mõju laetud elektroskoobi peale (J. 171). Olgu elektroskoop positiivselt laetud. Kui temale ülevalt pikkamisi negatiivselt laetud kepiga läheneda, siis tekib kord niisugune seis, kus kõik elektroskoobi positiivne elekter nuppu on kogutud, nii et

lehekesed kokku langevad (J. 171, II). Kui kepiga veel lähemale liigume, siis tõmbab see kõik tekkiva positiivse elektri nuppu ja vaba negatiivne mõju-elekter ajab lehekesed uuesti laiali.



J. 172. Ora tegevus.

6. Mõju-elektri saamine ora abil (J. 172). Kui oraga varustatud elektroskoobi kohal, näiteks, elektriseeritud klaaskeppi hoida, siis lahknevad oras + ja — elekter, ning seotud elekter voolab ora kaudu välja, kuna vaba elekter elektroskoopi jääb ja lehekesed laiali ajab. (Ora elektripüüde tegevus.)

7. Elektriseerimata kehad (nagu lauale lõigatud paberi tükikesed) tõmbuvad iga elektriseeritud keha külge. Põhjus: neis lahkneb elektriseeritud keha mõjul + elekter negatiivsest elektrist ja et seotud isenimeline elekter ligemal, siis on ligitõmme suurem, kui tõuge.

§ 41. Elektrofoor.

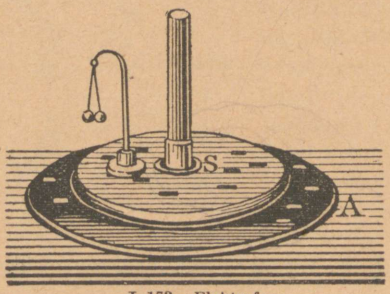
1. Eesmärk. Elektrofoori (leitud Wilcke ja parandatud Volta poolt 1790 a.) tarvitatakse mõju-elektri saamiseks. Tal on kolm osa (J. 173):

a) metallist kilp isoleeritud käepidemega;

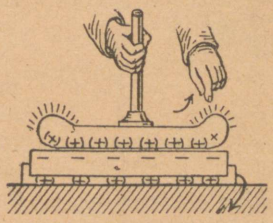
b) ketas, harilikult eboniidist;

d) plekist alus, millel eboniit-ketas lamab.

2. Tarvitamine. Kõige esiteks hõõrutakse karvaga eboniit-ketta ülemist pinda, sedaviisi teda eitavalt laadides.



J. 173. Elektrofoor.


J. 174. Elektri lahutamine.

a) Eboniit-kettale pandud metall-kilbis tekivad: **all positiivne, peal negatiivne** mõju-elekter, millest esimene seotud ja viimane vaba on. — Sõrmega (J. 174) juhitakse kilbi vaba elekter maasse (I. säde); siis võetakse näpp ära ja

b) tôstetakse kilp üles. Seotud + elekter vabaneb ja temaga vôib konduktorit laadida (II. säde, kui sôrm ligi panna).

Kirjeldatud käiku vôib mitu korda tarvitada ilma et pruugiks ketast uuesti elektriseerida. — Kilbil oleva kaksikpendli kerakesed lähevad laiali, kui peale puutumist kilbi kettalt ära tôstame; mikspärast?

3. Alusleht tähendus. Alusleht on ketta laengu kinnitamiseks (sidumiseks).

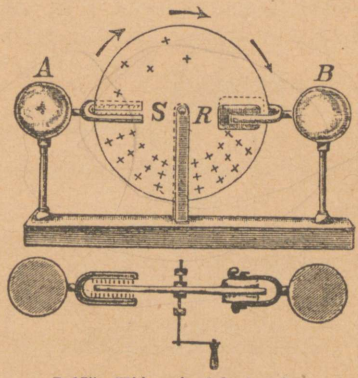
Ketta elektri laengu môjul tekib lehes positiivne elekter, mis omakord ketta negatiivse elektri ligemale tômbab ja teda ketta aukudesse sügavamale tungima sunnib.

4. Töö. Kilbi ülestôstmisel tehakse tööd, sest et vastunimeliste kilbi ja ketta laengute vahel on ligitômbe jôud, millest üle peab saama.

§ 42. Hôôrumis-elektrimasin.

1. Ehitus. § 36, 7 antud hôôrumis-seaduse põhjal on ehitatud suuremate elektrihulkade saamiseks mitmesugused elektrimasinad.

Füüsikaliste katsete poolest kuulus Magdeburi bürgermeister **Guericke** seadis vändaga varustatud raudteljele väävlist kera (1653). Vänta ümber ajades hoidis ta kätt hôôrumiseks vastu kera. Niisugune oli esimene elektrimasin. Alles 90 a. pärast, kui Guericke katse juba unustatud, tärkas Leipzigi üliôpilasele **Litzendorf'ile** môttesse vändaga varustatud klaaskera elektrimasinaks tarvitada.



J. 175. Hôôrumis-elektrimasin.

Praeguse aja masinates on järgmised tähtsamad osad (J. 175):

a) **ümmargune klaasketas,** mida vändaga ümber aetakse;

b) **hôôruv keha** *R*, mis kahest amalgameeritud nahk-padjast koos seisab; padjad asuvad teine teisel pool ketast ja on vedru abil vôi näpitstega klaasi vastu surutud;

d) **imeja reha** *S*, mis on metallist kaheharaline kahvel, mille harud orakestega varustatud;

e) **kaks konduktorit** *A* ja *B*, millest üks kahvliga *S*, teine patjadega *R* ühenduses.

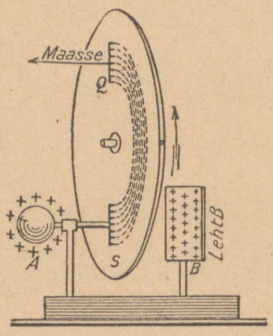
2. Tegevuskäik. Ketta keerutamisel hõõrub klaasi amalgameeritud nahk, mis ühes konduktoriga *B* negatiivselt, kuna klaas positiivselt elektriseerub. Jõuab klaasketta + laeng kahvlini, siis: a) voolab oradelt elektri mõjul tekkiv — elekter ja taandub sama suuruse klaasketta elektri hulgaga; b) sama palju + elektrit jääb kahvli kaudu konduktorisse *A* (ja laeb teda positiivselt, nagu anduks elekter klaasilt konduktorile).

3. Elektri tekkimise käik lõpeb, kui konduktori *B* pinge klaasketta pingele võrdub; siis on edasihõõrumine asjata. Klaasketas on sel juhusel ülevalt ja alt ühesuuruselt laetud.

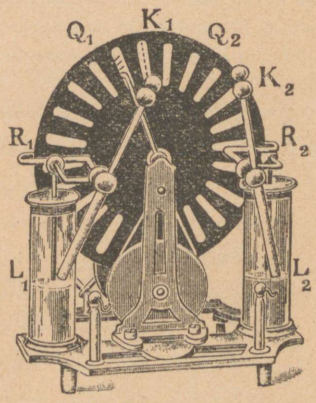
4. Iga masina konduktorite *A* ja *B* **pingevahe on kindel suurus.** Ühendame *A* ja *B* mõlemad omaette elektromeetriga. *A* pinge on + 12000 V., *B* pinge — 8000 V. Siis on pingevahe + 12000 — (— 8000) = 20000 V. Kui *B* maaga ühendada, siis tõuseb *A* pinge järsku + 20000 V. (*B* ei anna sädet, aga *A*-st võib pikki sädemeid saada.)

§ 43. Mõju-elektri masin (influentsmasin).

1. Mõju-elektri masinad (Holtz ja Töpleri leitud 1865 a.) põhjenevad ora tegevusel. Ora *S* ja laetud lehe *B* vahele seatakse tiirlev klaasist või eboniidist ketas (J. 176).



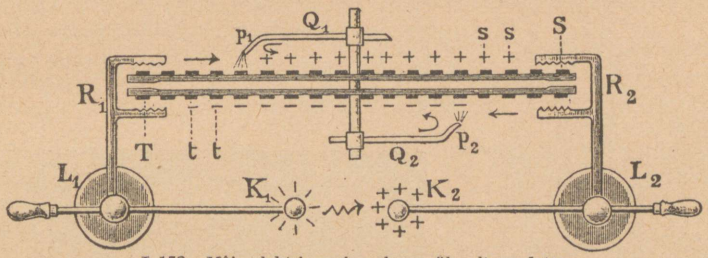
J. 176. Mõju-elektri masin.



J. 177. Wimshurst'i masin.

Käik. Olgu üks kord laetav metall-leht laetud positiivselt. Ora *S* peal tekkiva mõju-elektri tõmbab nimetatud leht klaasi peale, mis tiireldes saadud laengu teise kohta kannab ja selle seal kaotab (ühendus maaga). Ühes sellega laadub oraga ühenduses olev konduktor positiivselt ikka enam ja enam. Suuremal osal masinatest on sarnane ehitus kahekordne.

2. Isetekitavad môju-elektri masinad (J. 177; nimetatakse Wimshurst'i masinateks, kuid tõepoolest ka Holtz'i leitud) seisab koos kahest vastupidi tiirlevast ja väikeste stanniool-sektoritega kaetud eboniit-kettast. Iga ketta ees on põigiti metall-kepike Q (ärritaja), mille otsas metallist pintsel P (mis vastu kettaid hõõrub).



J. 178. Môju-elektri masina skeem ülevalt vaadates.

J. 178 kujutab ülevalt vaadates ketaste ülemisi servi S ja T, mis kaetud stannioolist lehekestega $s\,s$, $t\,t$ ja ülemisi ärritajate pooli Q_1 ja Q_2 pintslitega p_1, p_2. **Käik:**

a) Pintsli p_1 hõõrumisel laadub esimestel tiirlemistel üks ketastest, näit. S, positiivselt. Sellega on edaspidisele tegevusele alus pandud.

b) Niipea, kui ketta S + laeng pintsli p_2 ette jõuab, tõmbab ta sellest — elektri laengu ketta T peale, mis J. 178 pahemale poole (vastupidises sihis) liigub; kui viimane omakord p_1 ette jõuab, siis tõmbab ta sellest + elektri laengu ketta S peale, jne., nõnda et ketaste S ja T laengud üks teist kõvendavad.

Lõpuks koguvad need laengud kahvlite R_1 ja R_2 kaudu konduktoritesse K_1 ja K_2. Elektri tagavara kogumiseks on kaks väikest Leideni purki L_1 ja L_2 (J. 177).

§ 44. Katsed elektrimasinaga.

1. Sädeme tegevus. Elektrimasinast saab sädemete joa. Sädemel on järgmised tegevused:

a) **soojusline.** Süütab valgustusgaasi ja eetri põlema.

b) **mehaaniline.** Lööb klaasist ja paberist läbi (selle juures on klaasketast kõige parem petroleumis hoida).

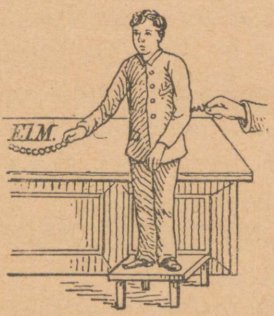
d) **keemiline.** Osoneerib õhu hapniku (= tihendab keemiliselt). Liikuvate elektrimasinate läheduses on tunda osooni lõhna.

e) **füsioloogiline.** Mõjub meie keha peale; kangestab musklid, kui kehast läbi käib.

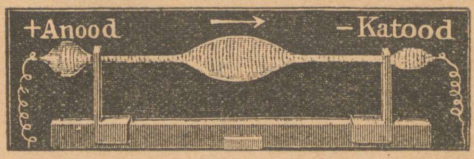
Tugevad sädemed tekitavad põletishaavu ja halvatusi, vahest mõjuvad ka surmavalt. (Ettevaatust Leideni purkidega ja elektri keskjaamades.)

Katse: ôpilane seisab isoleeritud pingil püsti ja hoiab käes ketti, mis elektrimasina ühe poolusega ühendatud. Kehast võib siis sädemeid saada (J. 179).

f) elektri kerge läbitungimine väga hôrendatud gaasidest, mida näha võib n. n. Geissleri torudes. Need torud on täidetud väga hôrendatud gaasiga ja elektri läbitungimine neist on ühenduses mitmesuguste ilusate valguse nähtustega, mis isesuguste gaaside omadusest olenevad (J. 180).



J. 179. Säde.



J. 180. Geissler'i toru.

2. Magnetiline tegevus.

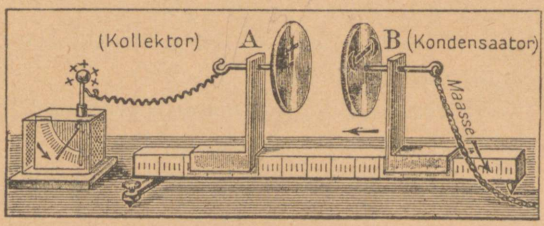
Kui ômblusnôela ümber isoleeritud traati keerutada ja sellest tugev elektri tühjendus-laeng läbi lasta, siis muutub nôel magnetiks.

§ 45. Kondensaator.

1. Elektri tagavarade kogumiseks harilikud konduktorid ei kôlba, sest et nende el. mahutavus väga väike on.

Kera (või ümmargune plate *A* J. 181), mille raadius 5 cm, võtab elektrimasinalt, mille pinge 30000 V., kôigest $E = C \cdot V = \frac{5}{300} \cdot 30000 = 500$ el. hulga üksust. Lähenedes temale sôrmega saame umbes 3 cm pikkuse, kuid väga nôrga sädeme.

2. Suuremate elektrihulkade kogumiseks tarvitatakse kondensaatorit (=tihendaja), mis koos seisab kahest üks teisele väga ligiseisvast paralleelsest isoleeriva kihiga (nagu ôhk, klaas, eboniit, vilgu-kivi) lahutatud metall-plattest *A* ja *B*.



J. 181. Platete kondensaator.

Üks platetest (*A*) kujutab laetavat konduktorit (= kollektor, koguja), teine (*B*) aga peab olema ühenduses maakeraga; viimase

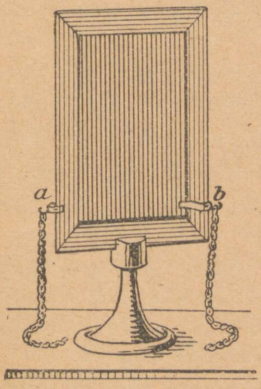
platte (n. n. tihendaja) ülesandeks on elektri ühe osa sidumine kollektoril.

Katse. Laetakse, näiteks, plate A (J. 181) 4000 V. ja lähenetakse temale maaga ühenduses oleva abiplattega B, siis seob viimane väga suure osa A laengust, nii et A pinge (potentsiaal) langeb, näiteks, kunni 40 V. Et A-le uuesti pinget 4000 V. anda, peab temale $\frac{4000}{40} = 100$ korda rohkem elektrit juure lisama, kui seda vaja oleks ilma platte B ligiolekuta. Sellepärast räägitakse, et kondensaatori tihendamis-võime on $v = 100$, ehk et platte A el. mahutavus (kapatsiteet) kasvab platte B mõjul 100-kordseks.

3. Dielektrikumi mõju. Isoleerivat kihti kondensaatori platete vahel nim. dielektrikumiks. Faraday näitas, et kondensaatori el. mahutavus valitud dielektrikumist palju oleneb. Kui õhu kihi asemele niisama paks klaasi kiht võtta, siis kasvab el. mahutavus umbes 7 korda suuremaks. Arv 7 nim. klaasi dielektriliseks jäädavaks c.

Dielektrilised jäädavad c					
Õhk	Shellak (puuvaik)	Eboniit	Harilik klaas	Flintklaas	Vilgukivi
1	2,8—3,7	2—3	4—7	kunni 10	4—8

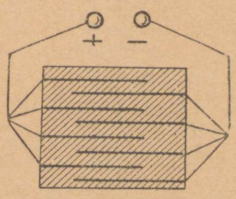
4. Kondensaatori seotud laengud ei ole mõlemate metall-pindade peal (mis sellepärast õhukesed võivad olla), vaid asuvad vastastikkuse ligitõmbuse tõttu dielektrikumil, nagu seda lahtivõetava kondensaatoriga näidata võib.



J. 182. Franklin'i tahvel.

5. Lihtsam kondensaator on Franklini tahvel (J. 182), milles kaks stanniooollehte, lahutatud klaasiga, nimetatud platteid kujutavad.

Kondensaator, mis kujutatud J. 183, seisab koos paraffin-paberiga hästi isoleeritud stanniool-lehekestest, kinnitatud klaasi peale ja ühendatud nii, nagu joonis näitab. Sarnane kondensaator nõuab vähe ruumi ja ta el. mahutavus on võrdlemisi suur.

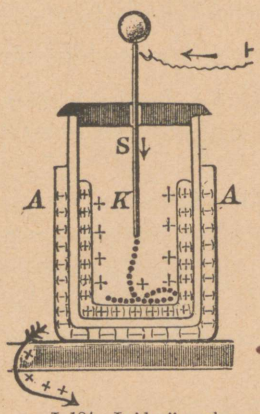


J. 183. Leht-kondensaator.

6. Kõige tarvitatavam kondensaatori vorm on Leideni purk, klaasnõu, mis kunni $\frac{2}{3}$ oma kõrgusest seest- ja väljastpoolt stanniooliga kaetud. Sisemise katte juure viib läbi isoleeriva kaane vasest pulk S, mille otsa vasest kett kinnitatud.

a) Purgi laadimine sünnib järgmiselt: sisemine kate ühendatakse el.-masina konduktoriga, kuna väliskate maaga ühenduses on (J. 184).

Käik: kui välist katet ei ole, siis on sisemine kate harilik konduktor *K*, mis el. masina pinge ja kindla elektrihulga, näiteks + elektri, omab. Kui nüüd välis-katte *A* juure lisame, siis seotakse selles — mõju-elekter, kuna + elekter maasse voolab. *A* peal kinni hoitud — elekter seob nüüd omakord osa *K* + elektrist. Selle läbi langeb *K* vaba laeng ja ühes sellega ka tema pinge, nii et masinast *K*-sse elektrit juure võib voolata, kunni *K* vaba elektri pinge masina pingele võrdub. Sedaviisi on *K*-l peale vaba el. hulga veel, klaasi paksuse järele, 100—100 miljoni korda suurem seotud elektrihulk, mis väliskatte isenimelise elektriga tühjendamisel taandub.



J. 184. Leiden'i purk.

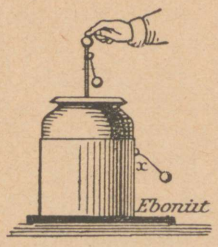
b) Lahtivõetava Leideni purgi abil saab näidata, et ka temas elekter klaasi peal asub. Laetakse teda harilikult. Isoleeritud käepideme abil tõstetakse sisemine kate välja; tema laeng on sarnane, kui oleks teda el. masina konduktorina tarvitatud (nõrk säde). Pannakse purgi osad jälle kokku, siis on ta uuesti tugevasti laetud (tugev säde).

7. Tühjendamist toimetatakse kahel kujul: a) silmapilkselt; b) järkjärgult.

a) **Silmapilkne tühjendus** sünnib, kui mõlemad katted lahutajaga ühendatakse.

Lahutajaks nim. isoleeritud käepidemega kaheharalist metallist kahvlit. Üks haru pannakse Leideni purgi väliskatte külge ja teisega lähenetakse purgi nupule.

Sel **juhusel** taandub korraga peaaegu kõik mõlematele katetele kogutud laeng; purgi suuruse järele saadakse valjusti raksatav paks säde, mille pikkus sisemise katte pinget mõõdab.



J. 185. Tühjendamine järk-järgult.

Ülejäägi tühjendamine. Järsku tühjendatud Leideni purki võib mõne aja pärast veel kord tühjendada, sest et seotud elektrid osalt nii sügavale klaasi tungivad, et nad vabanemiseks aega nõuavad.

b) **Järkjärgulist** (pikkamisi) **tühjendamist** näidatakse järgmiselt: laetud purk pannakse isoleeritud alusele ja puudutakse vaheldamisi kord nuppu, kord välist katet (J. 185).

Neil puutumistel saadakse väga nõrgad sädemed, sest et igal puutumisel ainult katsutava platte vaba elektrihulk ära võib minna. (Nupp ja väliskate

varustatakse pendliga, et vaba el. hulga olemist näha võiks. Nad tõusevad ja langevad järgi mööda.)

8. Patarei. a) Ühendades juhiga mitme Leideni purgi välised katted, niisama omaette ka sisemised (nupud), siis saadakse paralleelselt ühendatud Leideni purkide patarei. Selle tegevus on kui ühel Leideni purgil vastavalt suurema katte-pindadega.

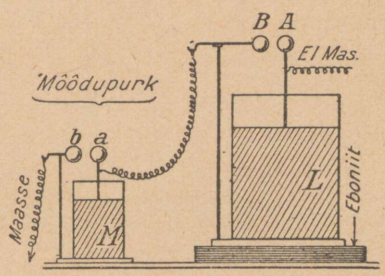
b) **Üks-teise-järele ühendamine** sünnib siis, kui ühe välisplatte järgmise sisemise plattega ühendatakse. Kõik purgid peavad sel juhusel isoleeritud alustel olema. (Kaskaad-patarei.)

9. Lane môôdupurk (*M* joonisel 186) on väike Leideni purk sädeme tekkimise kaugusega *ab* platete vahel.

Igakord, kui sisemine kate määratud maksimaalse laengu omab, ilmub tühjendus-säde.

Selle môôdupurgi abil määratakse suurte Leideni purkide el. mahutavus.

Suur purk varustatakse niisama pika sädeme kaugusega *AB* ja seatakse isoleeritud alusele (J. 186). Välis-kate ühendatakse maaga ühenduses oleva môôdupurgi nupuga. Annab suure purgi laadimisel môôdupurk *n* sädet, kuna suur ühe ainsa, siis võrdub suure purgi el.-mahutavus *n*-kordsele môôdupurgi mahutavusele.



J. 186. Leiden'i purgi elektri mahutavuse môôtmine.

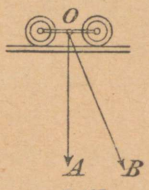
10. Ajaloost. Leideni purgi leidsid juhusliselt ühel ajal Kleist Pommernis ja Cunäus Leidenis (Hollandimaal).

Mõlemad tahtsid odavama konduktori saada ja tarvitasid pudelis selleks: Kleist elavhõbedat, Cunäus — vett. Juhiks oli korgist läbipistetud nael. Kui nad pudelit kätega kinni hoidsid (välis-, maaga ühendatud kate) ja laadisid, siis said nad pudelist palju tugevama sädeme, kui samasuurest metall-konduktorist! Hiljem täideti purka haavlitega, viimaks kaeti neid stanniool-katetega.

§ 46. Elektri nivoo-pinnad.

1. Konduktori pinnal olev elekter on tasakaalus, kui jõud, mis mõjub iga välispinna punktis asuva elektri osakese peale, pinnale ristjoones on.

Ei ole seda mitte, siis peab osake liikuma. Võrdlus: tõmmatakse vankrikest J. 187 ristjoones alusele (*A*), siis jääb ta ka veel suurema jõu mõjul paigale. Tõmmatakse aga vähe kõrvale (*B*), siis hakkab ta liikuma.



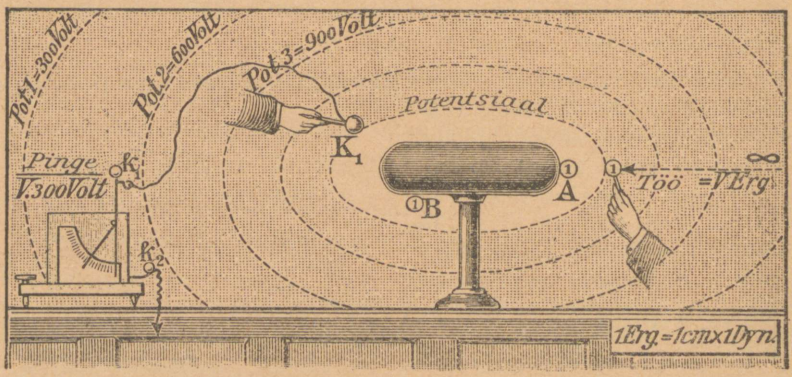
J. 187.

Sellest järeldame: töö, mis tarvis teha, et konduktori pinnal 1 el. hulga üksuse kohast *A* kohta *B*-sse nihutada (J. 188), võrdub nullile.

2. Elektriga laetud konduktori välja **punkti *X* potentsiaaliks** nim. tööd, mis tarvis teha, et lõpmatusest 1 el. hulga üksust punkti *X* tuua.

a) Kõik el. välja punktid, millel ühesugune potentsiaal, on ühel pinnal, mida nim. potentsiaali **nivoo-pinnaks** ehk potentsiaal-pinnaks.

b) Konduktori pind on ka niisugune nivoo-pind, sest et el. hulga üksuse kandmise töö punktist *A* punkti *B* (J. 188) nullile võrdub.



J. 188. Elektri nivoo-pinnad.

d) Nivoo-pinnad ei või kusagil lõikuda; nad ümbritsevad konduktorit kihtide sarnaselt (J. 188).

Et igal konduktori punktil üheltpoolt ühesugune pinge (§ 39), teiseltpoolt aga üks ja sama potentsiaal on, siis on potentsiaalis leitud pingele teadusline mõõt.

3. Potentsiaali üksus. Töö üksuseks tarvitatakse elektrotehnikas mitte meeter-kilogrammi (1 m × 1 kg), vaid **erg'i** (= 1 cm × düün).

Üks erg on väike töö, mida, näiteks, kärbes rohkem peab tegema, et 1 düün (= umbes 1,02 mg) raske veetilgaga 1 cm kõrgemale liikuda (J. 189).

Potentsiaalile 1. vastab töö 1 $\frac{\text{erg}}{\text{el. hulga üksuse peale}}$.

Nagu § 39, 6 juba kindlaks määratud, vastab potentsiaalile 1 ka elektri pinge 300 V. Tähendab,

$$\boxed{1\ \text{Volt} = {}^1/_{300}\ \frac{\text{erg}}{\text{el. hulga üksus}}}$$

Suuremaks töö üksuseks tarvitatakse elektrotehnikas tööd, mis 10^7 ergi suur, mida 1 Joule'iks nim. Tähendab,

$$1\ \text{Joule} = 10^7\ \text{ergi} = 10^7 \cdot \text{cm} \cdot \text{düün}$$
$$= 10^7 \cdot \frac{\text{m}}{100} \cdot \frac{\text{kg}}{981\,000} = \frac{1}{9{,}81}\ \text{mkg}.$$

Võimsust 1 Joule sekundis nim. Watt'iks. Tähendab,

$$\boxed{1\ \text{Watt} = \frac{1}{9{,}81}\ \text{mkg/sek} = \frac{1}{9{,}81 \cdot 75}\ \text{PS} = \frac{1}{736}\ \text{PS}}$$

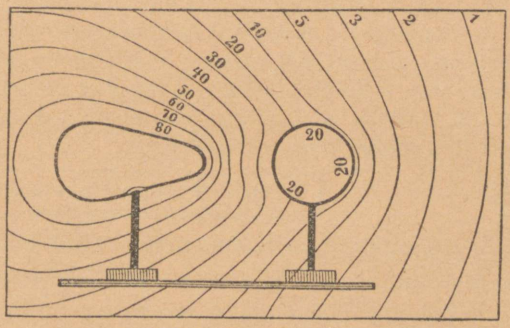
4. Potentsiaali pindade praktiline leidmine sünnib elektromeetri abil (J. 188).

a) Isesugune katsekera (näit. tuleleek) ühendatakse juhi abil elektromeetriga; liikudes sellega laetud konduktori ümber, saame isesugused pendli hajunemised (J. 190).

Punktides, kus pendli hajunemine ühesugune, on ühesugune potentsiaal.



J. 189. Erg'i mõiste.



J. 190. Elektri nivoo-pinnad.

b) Maakera potentsiaal loetakse nulliks, sest et iga elektriseeritud keha maaga kokku puutudes oma laengu kaotab.

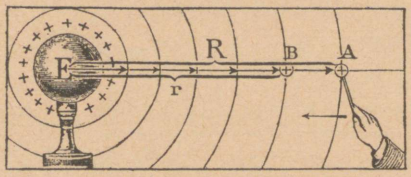
5. Laetud konduktori **siseruumis** on Faraday puuri-katse põhjal elektri jõud igal pool null. Elektrihulga paigutamiseks rakendatav lisajõud on null.

Tähendab, siseruumi potentsiaal on kindel suurus ja võrdub konduktori pinna potentsiaalile.

6. Elektri punkti potentsiaali pinnad on kontsentrilised kerapinnad (J. 191). Kerapinna potentsiaal r kaugusel on

$$\boxed{V = E : r}$$

7. Elektri töö. a) 1 el. hulga üksuse paigutamiseks nivoo-pinnalt, mille potentsiaal võrdub V_1 ergile nivoo-pinda, kus potentsiaal V_2 ergi, peab tegema tööd $(V_2 - V_1)$ ergi. On tarvis Q el. hulga üksust kahe pinna vahel paigutada, siis võrdub tehtud töö A:



J. 191.

$$A = Q\,(V_2 - V_1) \text{ ergi.}$$

b) Kui paigutada vaja mitte Q el. hulga üksust, aga Q Coulomb'i ja potentsiaalide vahe on $(V_2 - V_1)$ Volt'i $(V_2 - V_1)$ ergi asemel, siis teades, et 1 Coulomb = 3000 miljoni el. hulga üksust ja

$$1 \frac{\text{erg}}{\text{el. hulga üksus}} = 300\ V,$$

saame:

$$\text{töö } A = Q\,(V_2 - V_1) \textbf{ Joule'i.}$$

d) Voolutugevus öeldakse Q Ampère'i tugev olema, kui sekundis juhist Q Coulomb'i elektrit läbi voolab. Tähendades voolutugevust Q Ampère'iga ja pingevahet V Volt'iga, saame, et sekundis tehtud töö ehk **elektri energia** $= Q \cdot V$ Watt'ile, s. o. elektri sekundilise töö saame, kui Volt'ide arvu Ampère'ide arvuga korrutame; lühidalt:

$$\boxed{\textbf{1 Volt} \times \textbf{1 Ampère} = \textbf{1 Watt}}$$

8. Kogutud elektrihulga energia. Konduktori laadimiseks peab tööd tegema. See töö on nagu kogutud elektrisse tagavaraks pandud ja nim. potentsiaal-energiaks, mis vabaneb, kui konduktor tühjendatakse. On laeng Q (el. hulga üksust) ja potentsiaal V (ergi), siis saame, et

$$\boxed{\text{el. energia } \mathbf{E} = \frac{1}{2}\, Q \cdot V \text{ ergi}}$$

Tõendus. Kui konduktori maaga ühendame, siis lähevad Q el. hulga üksust V nivoo-pinnast läbi, sest et maakera potentsiaal on null. Töö võrduks $Q \cdot V$, kui konduktori pinge V jääks. Et aga tühjendamisel konduktori pinge nullini langeb, siis on tehtud töö kõigest pool sellest (keskarv).

Sedasama väljendatakse ka teisiti: kui konduktori el. mahutavus on C, siis $Q = C \cdot V$ ja sellepärast el.-energia $= \frac{1}{2} C V^2$.

Näide. Kera, mille raadius 5 cm, laetakse mõju-elektri masinaga kunni $V = 60000$ $V. = 200$ potentsiaali üksust. Kui suur on kogutud energia? (V.: $C = 5$, $V = 200$; tähendab energia $E = \frac{1}{2} 5 \cdot 200^2$ ergi $= 100000$ ergi $= \frac{100000}{10 \text{ miljoni}} \cdot \frac{1}{9{,}81}$ mkg).

Õhu elekter

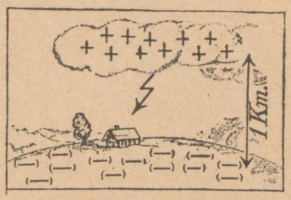
§ 47. Pikne ja piksevarras.

1. Franklini katse tuulemaoga tõendas, et õhk ja pilved elektriga laetud on.

Ameeriklane Franklin lasi pikse ajal kanepist nööriga tuulemao üles tõusta; nööri alumise otsa külge riputas võtme ja kogu see ehitus oli siidinööriga kinnitatud. Vihm tegi kanepi märjaks (juhiks) ja võtmest oli võimalik sädemeid saada, millest järeldati, et kõrgemais kihtides pilved ja õhk elektriga laetud on.

2. Õhk on harilikult + elektriga laetud ja talvel tugevamini kui suvel. Tühjendamine maasse ei teki sellepärast, et õhk isolaator on. Kõrgusega kasvab pinge suuresti.

Põhjavalgust, seda toredat valguse kangastenähtust, peetakse vaikseks elektrilaengu tühjendamiseks maakera nabadel, mis kõrgetes hõrendatud kihtides sünnib. **Elmi tuled,** mis kõue ilma eel mastide, tornide jne. otsas tekivad, on niisamasugused atmosfääri elektri taandumised. Neid tunti juba vanal ajal.



J. 192. Maakera mõju.

3. Kõue (äike). Võrdlemata suuremat kui õhk elektriseerumist näitavad pilved (J. 192). Sarnaste pilvede + ja — elektri taandumine kas eneste vahel, või mõjuva maakeraga, sünnib vahest mitme penikoorma pikkuse sädeme läbi, mida **välguks** nim., ja mis **müristamise** põhjuseks on.

Välgu sisselöögi koha lähedal tuntakse enne juba nimetatud osooni lõhna, mida vanal ajal väävli lõhnaks peeti.

a) **Välgu kujud jagatakse kolme pealiiki:** 1. joonvälk, millel sik-sakiline või mitmeharalise jõe veekonna kuju (välgu päevapildistused); 2. pindvälk, kui terve pilv elektriga valgustatud; 3) keravälk, väga haruldane nähtus, mis tulekera näol võrdlemisi aeglaselt maakera pinda mööda liigub ja viimaks

plahvatades kaob. — b) Välgu ja müristamise vahel möödunud aja järele võib kõuepilve kaugust leida (iga sekund vastab ⅓ km, sest et hääl sekundis 333 m õhus edasi jõuab).

4. **Välgu tegevus** vastab täiesti tugeva elektri sädeme tegevusele, nimelt ilmuvad **soojusline** tegevus, kui välgu süütamine juhtub ja **mehaaniline** — külmadel löökidel.

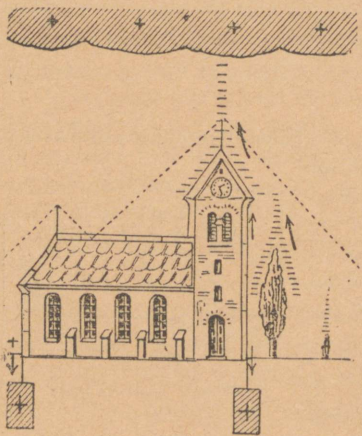
Meelespidada: a) kõrgemad ehituskohad, nagu korstnad, tornid, katusehari on soodsamad välgu sisselöömise kohad. — b) Välk hargub kergesti naabruses olevate metall-masside peale, mille juures ta isegi lahutavatest isolaatoritest, müüridest, läbi lööb.

Metall-osades tekib mõju-elekter ja nende vahel ilmub sekundäärne (teistkordne) välk. — Välgust tabatud inimesed saavad naha põletishaavu, uimastatud, tihti halvatud või surmatud.

5. **Piksevarda** (Franklini leidus) ülesanne on välku metallist juhi kaudu maasse juhtida ja õnnetusi ära hoida.

Piksevarras seisab koos kolmest peaosast: a) püüdjast, b) juhist, d) ühendusest maakeraga.

Kõik **püüdjad** peavad paksude vask-või raudtraatide läbi ühenduses olema üks teisega, ehituse suuremate metall-massidega ja maakeraga, milles juhid 1 m^2 rauast või vasest platetega lõpevad; neid n. n. **maaplatteid** on kõige parem niiskesse kihti (põhjaveesse) seada.



J. 193. Piksevarda teooria.

a) Enne arvati, et püüdjad sarnaselt orategevusele (J. 193) elektrit pikkamisi taandavad, sellega silmapilkset tühjendamist ärahoidés.

Sellepärast kullati neid, et kauem püsiksid ja parem töötaksid. Aga Helmholtz tegi selgeks, et asi nii ei ole. — Sagedam peab piksevarrast järelkatsuma, kas juhtivus ja ühendus maapinnaga korras on ja kas temas suuri lõhesid ei leidu.

b) **Kaitse-piirkond.** Püüdja kaitse-piirkonnaks loetakse koonusline ruum, mille avaus $2 \cdot 45^0$ suur. Selle järele sünnib püüdjate ülesseadmine ehitustel.

Liikudes paljal väljal, oleme peaga suurema pingega nivoo-pinnas. Inimese keha on juht, sellepärast tekib temas elektri vool, mis juhitud maasse. (Ei tohi pikse ajal puu all, ega toas rippuvate lampide jne. kohal seista. Paremad kaitsjad: plekiga kaetud majake, raudteevagun (võrdlus Faraday puuriga, § 38, 1).

Galvanism

§ 48. Volta-element.

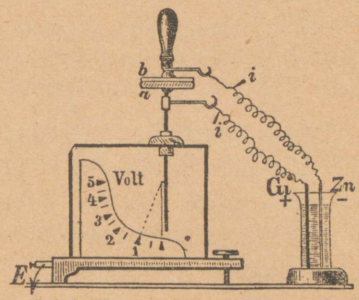
1. Volta leidus. Volta leidis (1790): pannakse vask- ja tsinkplate hapendatud vette, siis ilmub + ja — elektri lahutus, ja nimelt laadub

vask positiivselt, tsink negatiivselt.

Sarnane riist, milles vask ja tsink nõrgas väävelhappes nim. Volta-elemendiks (J. 196).

Harilikud elektromeetrid ei kõlba selleks, et mõlemate platete elektriseerumist tõendada. Selleks tarvitas Volta oma enese leitud **kondensaator-elektroskoopi** (J. 194).

Selles elektroskoobis on nupp **metall-plattega** asetatud; nimetatud platte peale võib teise metallplatte *b* panna, mis vilgukivi või lakikorraga esimesest lahutatud. Ühendatakse mõneks silmapilguks need platted Volta-elemendi kahe plattega, nagu joonisel näha, siis koguvad platted *a* ja *b* suuremad hulgad + ja — elektrit, mis oma tegevust aga ei ilmuta, sest et nad teine teisega seotud. — Katkestatakse juurevoolu (kinni hoida isoleeritud pidemetest *ii*) ja tõstetakse plate *b* üles, siis vabanevad platetel olevad elektrid ja elektroskoobi lehekeste laialdumine saab nähtavaks. (Katsumine klaaskepiga!)



J. 194. Kondensaator-elektroskoop.

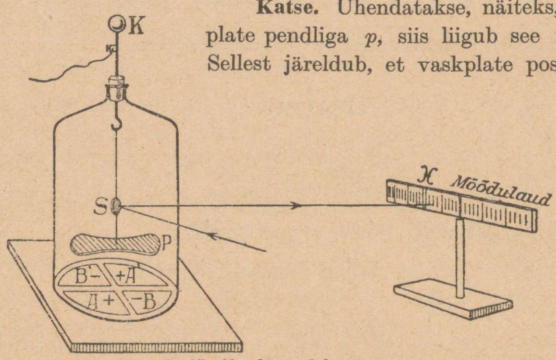
Tähendab, Volta-element mõjub kui elektrimasin: vaskplate on tema + **poolus,** tsinkplate — **poolus.**

2. Nähtuse **seletamiseks** oletatakse, et metalli kastmisel vedelikku tekib elektrit lahutav ehk **elektromotoorne jõud,** mille mõõduks mõlemate platete pingevahe.

Pingevahe (potentsiaalide vahe) mõõtmiseks tarvitatakse **kvadrant-elektromeetrit** (J. 195).

Lihtsamal juhusel (Erlemanni järele) seisab ta koos neljast stanniool-kvadrandist *A*, *B*, *A'*, *B'*, mille raadius 4 cm ja mis puu- või eboniit-kettale kinni liimitud. (Vastuseisvad kvadrandid on juhiga ühendatud.) Nende kohal heljub 1—2 mm kõrgusel umbes 11 cm pikkuse inglijuukse (lametta) otsas 7 cm pikkune arvu 8 sarnane $^1/_4$ mm paksusest alumiinium-plekist tehtud

pendel, mis kaitseklaasi paraffineeritud korgist läbi ulatab. Kvadrandid A ja A' laetakse kuidagi viisi positiivselt, B ja B' negatiivselt.



J. 195. Kvadrant-elektromeeter.

Katse. Ühendatakse, näiteks, Volta-elemendi vaskplate pendliga p, siis liigub see natuke A — B' poole. Sellest järeldub, et vaskplate positiivselt on laetud.

Väikese kaldumise kaugemale nähtavaks tegemiseks kinnitatakse pendli niidi külge peeglike, mis valguse kiirt skaalale (astmikule) peegeldab. Valguspleki x kaldumist võib Volt'ides ära märkida.

a) Volta-elemendi platete pingevahe on kõigest 1,06 V.

b) Pingevahe ei olene platete suurusest.

d) Nimetatud pingevahe jääb alati muutmataks.

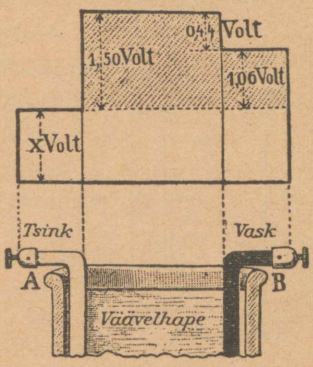
Ühendatakse juhiga mõlemad platted, et nende elektrit taandada, siis näitavad platted pärast katkestamist, et vask jälle samasuuruse positiivse, tsink negatiivse elektri omandanud.

3. Kokkupuutumise elektri põhiseadus. Volta leidis, et näit. kahe isesuguse metalli ehk metalli ja vedeliku kokkupuutumisel ikka pingevahe tekib. Esimesel juhusel on see nii väike (isegi vaieldav), et tehnikas sugugi rakendamist ei leia. Viimane on aga tähelepanemise väärt.

Pingevahed							
Mille vahel	— Tsink	— Tina	— Vask	— Hõbe	— Plaatina	— Süsi	
Vesi (H_2O) + ...	1,35	0,93	0,60	0,43	0,36	0,00	Volti
Väävelhape (H_2SO_4) +	1,50	0,94	0,44	0,13	0,01	0,00	„
Tsinksulfaat $ZnSO_4$ . .	1,43					0,00	„
Vasksulfaat $CuSO_4$ . .			0,40			0,00	„
Salpeeterhape (+) väävelhappega (—) annab + 0,43 V.							

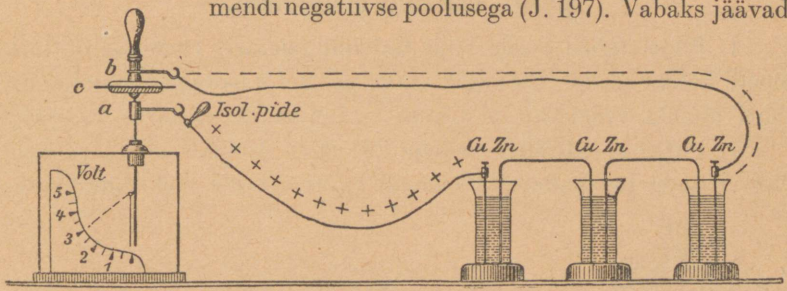
Kirjutatakse lühidalt: pingevahe $H_2SO_4/Zn = +$ 1,50 V., mis tähendab, et kui tsinkplate kastetakse väävelhapesse, siis on vedelikul ikka 1,50 V. võrra suurem pinge, kui metallil.

Volta-elemendi pingevahet võib antud tabeli järele välja arvata. On, näiteks, tsingi pinge x V., siis vôrdub väävelhappe pinge $(x+1{,}50)$ V. (esimene pingehüpe J. 196). Edasi on tabeli järele vasel pinge alati 0,44 V. vôrra väävelhappe pingest vähem (teine pingehüpe); tähendab, vase pinge $= (x+1{,}50-0{,}44) = (x+1{,}06)$ V. Sedaviisi leiame Volta-elemendi platete pingevahe 1,06 Volti.



J. 196. Volta elemendi diagramm.

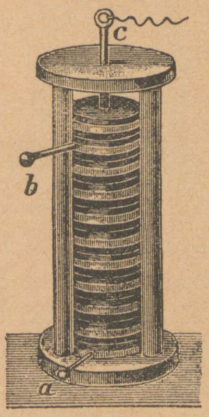
4. Kôrgema pingevahe saamiseks ühendatakse hulk elemente üks teise järele; selle juures ühendatakse ühe elemendi positiivne poolus järgmise elemendi negatiivse poolusega (J. 197). Vabaks jäävad



J. 197. Elementide ühendamine.

ainult üks positiivne ja üks negatiivne poolus. Sarnane elementide patarei môjub kui üks element, mille vaba pooluste pingevahe aga üksikute elementide pingevahede **summale** vôrdub.

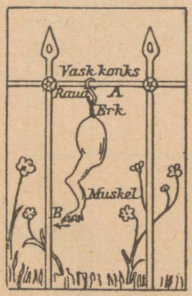
5. Volta sammas (J. 198). Pannakse tsink- ja vaskplatte vahele hapendud veega niisutatud kalevi lapp, siis avaldab sarnane ehitus niisamasugust tegevust, kui harilik Volta-element. Pannakse mitu sarnast n. n. kuiva elementi üks teise otsa, siis saadakse patarei, mida Volta sambaks kutsutakse. Samba pingevahe kasvab proportsionaalselt elementide arvule.



J. 198. Volta sammas.

Sarnase samba võib ka kuld- ning hôbepaberist kokku seada, kus juures paber katmata küljega kokku

liimitakse. Niisuguseid, n. n. **Zamboni sambaid** (klaastorudes), on hôlbus tarvitada elektroskoobi laadimiseks ja proovimiseks.



J. 199. Katse konna jalaga.

Ajaloost. Eelpool selgitatud elektrit nim. ka **galvaaniliseks,** sest et Volta oma katsete tegemiseks (1790) Itaalia arsti Galvani kuulsa konnajalakatse (1786) läbi algtôuke sai.

Galvani leidis, et vaskkonksuga raudvôre külge kinnitatud konnajalg igakord kokku tômbus, kui ta vaba otsaga raua külge puudutas. Tema arvas selle pôhjuseks looma elektri olevat.

Volta näitas 1790 a., et elektri tekitajaks on vase ja raua kokku puutumine, konnajalg aga tühjendajaks (J. 199).

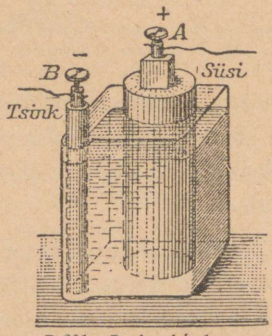
§ 49. Galvani-elemendid.

1. Pinge-tabeli järele vôib **Galvani (elektri) elemente** mitmet moodi kokku seada. Sarnased saadakse, kui **2 isesugust metalli** ehk juhti mônda **vedelikku** pannakse. (Juhina tarvitatakse ka sütt.)

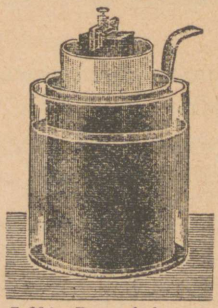
a) **Purk- ehk Grenet-element** (J. 200) sisaldab tsinki ja sütt väävelhappe ja kaaliumbikromaadi lahus. Tema elektromotoorne



J. 200. Grenet-element.



J. 201. Leclanché-element.


J. 202. Bunseni-element.

jôud on umbes 1,7 V. Et happed tsinki väga kiirelt lahutavad, siis tôstetakse tsinkplate mittetarvitamisel välja.

b) **Pruunkivi ehk Leclanché-element** (J. 201) sisaldab nelinurkses klaasnôus tsinkpulgakest ja söepakku salmiaki lahus. Elektromotoorne jôud on 1,4 V.

Nelinurkset klaasi tarvitatakse selleks, et patareid parem kokku seada.

Salmiaki lahu kaitseb tsinki kiire lagunemise eest. Süsi on pulbriks-tôugatud söe ja pruunkivi segust kokku pressitud. — Kasutamine el.-kellade sisseseadmisel.

d) **Bunseni-element** (J. 202) sisaldab ümmarguses klaasnôus tsinki ja sütt, mis lahutatud savist purgiga. Tsink on nôrgas väävelhappes, süsi — salpeeterhappes. Elektromotoorne jôud = 1,9 V.

e) **Akkumulaator** (= koguja) sisaldab nôrgas väävelhappes kaks isesuguselt hapendatud tinaplatet. Elektromotoorne jôud = 2 V.

2. Keemiline teooria. Elekter ilmus elektrimasinas hôôrumise teel, Galvani-elementides aga keemilise protsessi kôrvaltegevusena. Tähendab, Galvani-elekter tekib keemilise töötegemise tagajärjel.

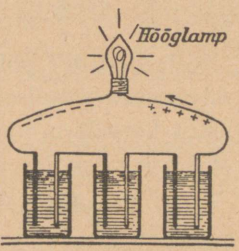
§ 50. Elektri voolu tekkimine.

1. Elektri ehk Galvani vool tekib niipea, kui Galvani-elemendi poolused juhiga ühendatakse. Siis taanduvad traadis vastupidised elektrid. Tähendab, el. vool on alaline + ja — elektri taandamine.

Katse: patarei voolu ahelikku (J. 203) seatakse väike hôôglamp: see pôleb pidevalt.

Vôrdlus vee vooluga. Ühendatakse kaks veenôud, milles vesi isesugustel kôrgustel seisab (nivoo-vahe), siis voolab ühendustorus vee vool. Pinna kôrguse vahe tôttu tekib jôud (vee motoorne jôud), mis vett kôrgemast pinnast madalamale ajab.

Vee vool vastab elektri voolule, pinna kôrguste vahe pingevahele (elektromotoorne jôud).

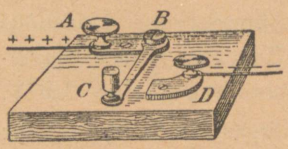


J. 203. Kestev tugevus.

2. Galvani-patarei eesomadus voolu tekitamiseks. Ühendatakse akkumulaatori poolused pika peene traadiga, siis langeb pooluste pingevahe, nagu seda kvadrant-elektromeetriga näidata võib, väga vähe (enne ühendust on vahe 2 V.). Tähendab, + elekter ühest ja — el. teisest poolusest peavad alalôpmata vastastesse poolustesse voolama.

Imestamise väärt on Galvani-patareis asjaolu, et, vaatamata elektri ülisuure äravoolamise kiiruse peale, elemendis ikka nii palju + ja — elektrit tekib, et pooluste pinge alal hoidub. — Elektrimasinas langeb pingevahe kiirelt peaaegu nullini, hoolimata klaasketta kiirest ümberajamisest, mispärast voolu tekitamiseks el.-masin ei kôlba.

3. Kiire Galvani-voolu **katkestamiseks** tarvitatakse katkestajat (J. 204), mille peaosaks kang *BC*, mida metall-riba ehk kontakt *D* peale võib tôugata. Kangi kontaktilt ära tôugates katkestame voolu.



J. 204. Katkestaja.

4. **Voolu sihiks** peetakse positiivse elektri liikumissihti.

Tôepoolest voolavad traadis môlemad elektrid teine teisele vastu, kuid näidatakse ainult ikka positiivse voolu sihti. — Tsink on peaaegu kôigis elementides eitavaks pooluseks, sellepärast voolab elekter traadis ikka **tsingi poole!** (Kinnine ringvool.)

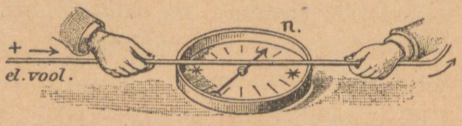
5. Tegevus. Elektri vool avaldab magnetilist, keemilist, mehaanilist, valguse ja soojuslist tegevust.

Elektri voolu magnetiline tegevus

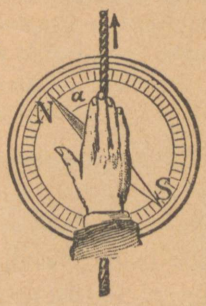
§ 51. Tegevus magnetnôela peale.

1. Örstedt'i pôhikatse (1820). Juhitakse elektrit traadist läbi, mis seatud paralleelselt magnet-nôelale, siis pöörub viimane omast sihist kôrvale ja püüab ennast **ristjoones voolujuhile seada** (J. 205). Pööre leitakse järgmiste seaduste järele:

a) **Faraday pöidla-seadus** (J. 206): hoitakse paremat kätt juhil nônda, et näitaja sôrm voolu sihti näitab ja peopesa nôela poole on, siis pöörub magneti pôhjapoolus väljasirutatud pöidla sihis.



J. 205. Örstedt'i katse.



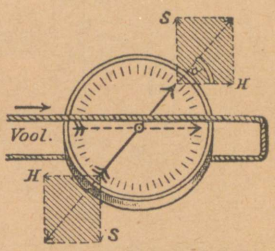
J. 206. Faraday pöidla seadus.

b) **Ampère'i ujuja-seadus** (J. 205): ujutakse voolu sihis ja vaadatakse magnet-nôela peale, siis pöörub pôhjapoolus pahemale poole.

Sellest järgneb, et el. vool môjub iga pooluse peale jôuga *S* ristjoones oma sihile. Nôel ei saa ennast aga iialgi täiesti ristjoones voolujuhile seada, sest et iga pooluse peale môjub maakera magnetismi horisontaal-jôud *H*, mis

nôela magnet-meridiaani tagasi kisub. Nôel seadub jôudude H ja S keskjôu sihis (kui $H = S$, siis pööre $\alpha = 45^0$; J. 207).

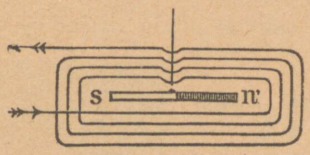
2. Pööre kasvab: a) kui voolu mitu korda ümber magnetnôela juhitakse (multiplikaator, J. 208, Schweigger ja Poggendorff 1821 a.); b) kui n. n. **astaatilist** magnetnôelte paari tarvitatakse (J. 209; Nobili, 1826), mis kahest samatugevast ja paralleelselt ühendatud nôelast koos seisab; nôelte poolused on vastupidi seatud ja neid asetatakse multiplikaatori pooli nônda, et üks nôel sees-ja teine väljaspool.



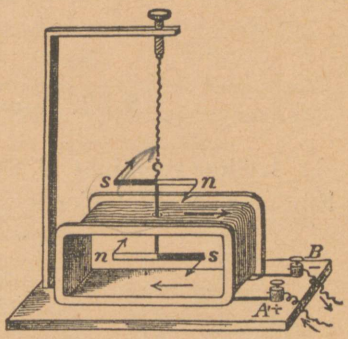
J. 207. El. voolu tegevus.

Eesomadus seisab selles, et α) vool nôelu ühes sihis pöörab, β) maakera magnetismi sihtjôud H ainult pooluste tugevuste vahe peale môjub.

3. Galvanomeetrites leiab Örstedt'i



J. 208. Multiplikaator.

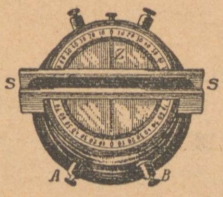


J. 209. Astaatiline nôelte paar.

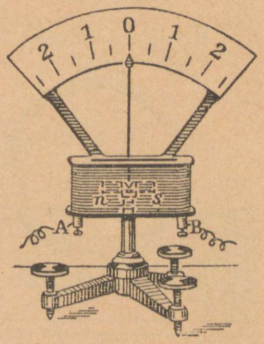
leidus **praktilist tarvitamist.** Neid tarvitatakse voolu näitajateks ja nad seisavad koos poolist, mille traat paralleelselt kergesti liikuva magnet-nôelale on keritud.

a) Horisontaal-galvanomeetris (J. 210) pöörub magnetnôel horisontaalses tasapinnas.

b) Vertikaal-galvanomeetris (J. 211) pöörub magnetnôel vertikaalses tasapinnas. Magneti pöörumiste nähtavaks tegemiseks kinnitatakse tema külge näitaja, mis skaala ees liigub.

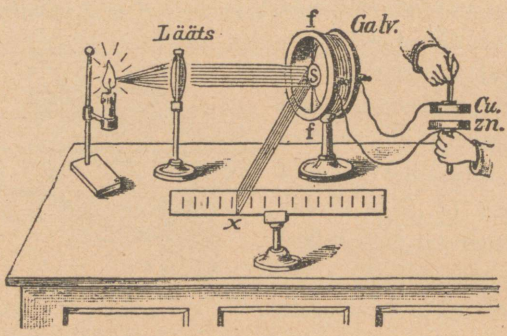


J. 210. Horisontaal-galvanomeeter.



J. 211. Püst-galvanomeeter.

Käik. Tungib el. vool poolist läbi, siis pöörub magneti põhjapoolus Ampère'i seaduse järele ühele poole. Voolu sihi muutmisel pöörub ta aga teisele poole.

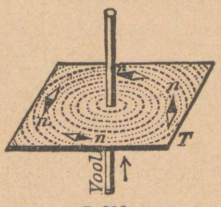


J. 212. Peegliga galvanomeeter.

d) Suurem tundelikkus on **peegliga galvanomeetril** (J. 212), milles pööruv magnet peegliga ühendatud. Läätsa abil juhitakse valguskiir peeglile, mis môôdulauale täppe x peegeldab. Nôela pöörumisega liigub kôrvale ka täpp x.

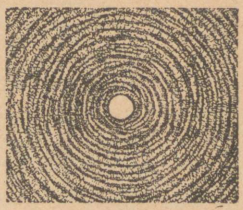
§ 52. Voolu magnetiline väli.

1. Sirge voolujuht (J. 213) on piiratud kontsentriliste ringkujuliste magnetiliste jôujoontega, mis asuvad juhile ristjoones olevas tasapinnas.



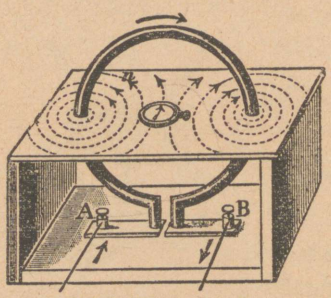
J. 213.
Voolu magnetiline väli.

Jôuvälja võib nähtavaks teha (J. 214), kui voolujuhti horisontaalsest papplehest läbi lasta ja papile rauapuru sôeluda (pappi vaja koputada; voolu tarvis 10 Am.).



J. 214. Voolu väli.

Rusika seadus. Hoides parema käe rusikat nônda, et väljasirutatud pöial voolu sihti näitab, siis on teised sôrmed jôujoonte sihis kokku surutud.

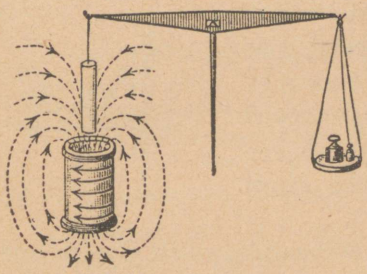


J. 215. Ringvoolu väli.

2. Ringvoolu ümber tekivad (rusika seaduse järele) jôujooned nônda, et nad ühelt poolt kôik ringi pinnasse tungivad, teiselt poolt ringist aga välja tulevad (J. 215).

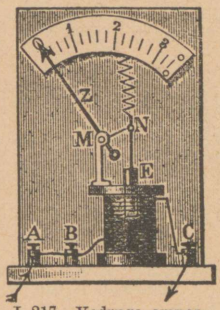
Ringvoolu jôujoonte käik on nagu lühikeses **magneti lehes.** (Magnetpulk on nagu ketasteks lôigatud; ühelpool on kettal pôhja-, teisel lôunapoolus).

3. Pool (solenoid). Solenoidiks nim. traatpooli, millest elekter läbi voolab (J. 216). Solenoidi magnetilised jõujooned jooksevad pooli sees peaaegu paralleelselt, tulevad ühest otsast välja (=põhjapoolus) ja tungivad teisest jälle sisse (= lõunapoolus).



J. 216. Solenoidi sisemine väli.

Tähendab, **solenoid mõjub kui magnet.**



J. 217. Vedruga ampermeeter.

Solenoidi põhjapooluse leiame Ampère'i ehk pöidla-seaduse järele. Riputatakse solenoid horisontaalpinnas kergesti liikuvalt, siis seab ta enese telje, nagu magnet, magneti meridiaani. Kahe solenoidi vaheline tegevus on nagu magnetitelgi.

Solenoidi **eesomadus** magnetiga võrreldes on, et ta sisemine väli kätte saadav, mida Kohlrausch'i **vedru-ampermeetris** kasutatakse (J. 217).

Spiraal-vedruga kinnitatud raudpulgake ripub traatpoolis. Voolu ühendusel saab pool magnetiks ja tõmbab raudpulga rohkem või vähem poolisse.

§ 53. Voolu tugevuse mõõtmine.

1. Voolu tugevuseks nim. el. hulka, mis sekundis juhist läbi voolab. Voolu tugevust on võimalik hinnata tema tegevuse järele, sest et elektrit näha ei saa. Kõige pealt katsume kasutada magnetilisi tegevusi.

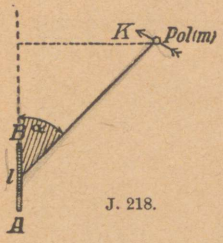
2. Biot ja Savart (1820) andsid järgmise seaduse:

a) Voolu tegevus magneti pooluse P peale võrdub väikeste voolu elementide tegevuste summale. b) Voolu elemendi tegevus kahaneb kauguse ruuduga. d) Voolu elemendi l tegevus kauguselt r pooluse peale, mille tugevus m, võrdub

$$\boxed{K = \frac{m \cdot l}{r^2} \cdot \sin \alpha},$$

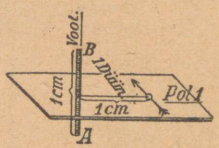
milles α on nurk elemendi sihi ja joone vahel, mis poolust elemendi

keskpaigaga ühendab. Jôud K on ristjoones tasapinnale, mis elemendist ja poolusest läbi käib (J. 218).



J. 218.

3. Voolu tugevuse elektromagnetiliseks (Weber'i) üksuseks on tugevus niisugusel voolul, mis voolu elemendist 1 cm pikk läbi voolates 1 cm kaugusel (ristjoones teljele) oleva pooluse üksuse peale jôuga 1 düün môjub (J. 219).

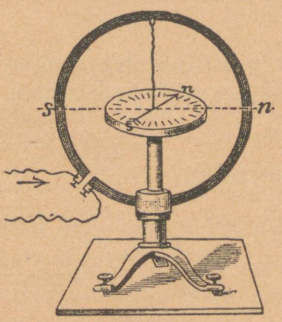


J. 219.

Elektri kongressil Pariisis 1881 a. otsustati $^1/_{10}$ sellest absoluutsest elektromagnetilisest voolu-üksusest **1 Ampère'iks** (= 1 Am) nimetada. Sedaviisi

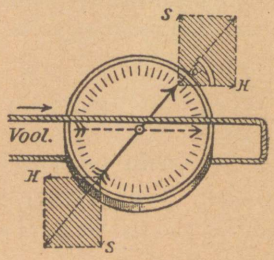
10 Am = 1 el.-magnetilisele voolu-üksusele.

4. Voolu tugevuse absoluutseks môôtmiseks tarvitatakse tangens-galvanomeetrit (J. 220), mis koos seisab vertikaalsest vaskrôngast, mille keskpunktis lauakesel karbi sees väike magnet-nôel asub.



J. 220. Tangens-galvanomeeter.

Tarvitamisel seatakse voolujuht **magnet-meridiaani** tasapinnas. Magnetnôela pikkus vôib kôigest $^1/_6$ kunni $^1/_{10}$ rônga diameetrist olla, sest et ainult keskpunkti läheduses voolujuhi väli püsiv on.



J. 221. Pööre.

a) **Käik:** juhitakse rôngast, mille raadius r, i Am voolu läbi, siis tôukab juhi iga 1 cm keskpunktis olevat pooluse üksust jôuga $S = 1/r^2 \cdot i \cdot {}^1/_{10}$ düüni. Et ringjuhi pikkus $2\pi \cdot r$, siis vôrdub kogutegevus keskpunktis oleva pooluse üksuse peale

$$S = \frac{2\pi r}{r^2} \cdot i \cdot \frac{1}{10} = \frac{\pi i}{5r} \text{ (düüni).}$$

See jôud on ristjoones ringvoolu tasapinnaga. Magneti meridiaanis môjub pooluse üksuse peale maakera horisontaalne komponent H.

Nõel seadub viimaks H ja S peale ehitatud parallelogrammi diagonaali sihis (J. 221). Sellepärast saame pööre arvamiseks:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{S}{H} = \frac{\pi \cdot i}{5r \cdot H}.$$

b) Ümberpöördud leitakse voolu tugevust kergesti nõela pööre järele, s. o.

voolu tugevus $i = R \cdot tg\ \alpha$, milles $R = \frac{5\,r\,H}{\pi}$.

R on tangens-galvanomeetril jäädav arv (nim. taandus-tegur).

a) Kui $\alpha = 45^0$, siis $i = R$, s. o. nimetatud arv võrdub voolu tugevusele, mis nõelapööre 45^0 tekitab.

b) R suurus ripub veel kohast maakeral, sest et H suurus sellega muutub.

5. Voolu tugevuse püsivus. Üht ja sama galvanomeetrit pika aheliku vooluga mis tahes kohas ühendades, leiame, et igas kohas voolu tugevus ühesuurune on.

6. Ampermeeter. Galvanomeetrit võib varustada mõõdulauaga, mis Am näitab, kui ühel ajal tanges-galvanomeetrit ja antud galvanomeetrit ühte vooluringi seada. Tanges-galvanomeetri abil leitud tugevus märgitakse igakord antud galvanomeetri mõõdulauale.

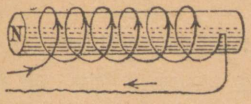
§ 54. Elektromagnet.

1. Saamine. Elektromagneti saame, kui pehme raua traadiga ümber mähime ja sellest voolu läbi laseme.

Põhjus. Raua südames korralduvad molekulaar-magnetid pooli jõujoonte sihis, mispärast raud magnetiseerub.

2. Elektromagneti poolused leitakse Ampère'i või järgmise seaduse järele: **lõunapoolust piirab vool tunninäitaja, põhjapoolust — vastupidises sihis** (J. 222).

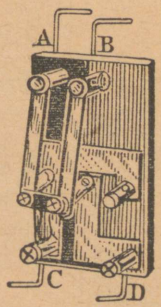
Poolused muudavad oma koha, kui voolu teisipidi juhitakse.



J. 222.

Voolusihi muutmiseks on olemas voolu-pöörajad.

Joonisel 223 on kujutatud kõige lihtsam voolu pööraja (**kommutaator**). Kaks paralleelset vasest kangi liiguvad nõnda, et nad kas kontaktidega 1 ja 2 ehk 2 ja 3 ühenduses on. Kondaktid 1 ja 3 on teine teisega ühenduses.

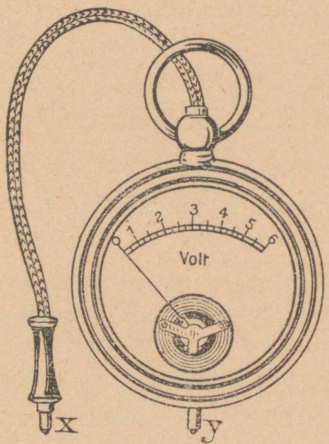


J. 223. Voolu sihi muutja.

3. Elektromagneti tugevus kasvab a) voolu tugevusega i, b) pooli traatkeerude arvuga n. Lühidalt öeldakse: elektromagneti tugevus oleneb magnetiseeriva pooli **amper-keerude** arvust ($n.\ i$).

100 keeru tugevusega 2 Am mõjuvad niisama, kui 200 keeru tugevusega 1 Am.

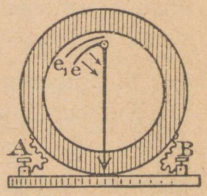
Tugevuse piirini jõuab elektromagnet siis, kui kõik tema molekulaarmagnetid korraldatud. Voolu tugevuse tõstmisel ei ole siis enam tagajärgi. **(Magnetiline küllastus.)**



J. 224. Voltmeeter.

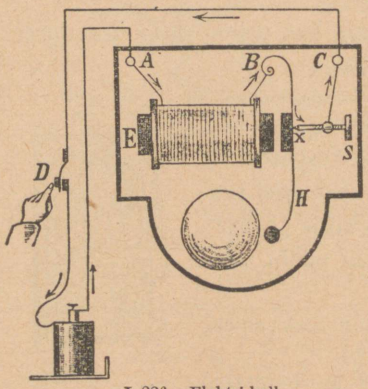
Peale selle oleneb elektromagneti tugevus tarvitatava rauast südame omadustest.

Täiesti **pehme raud** suurendab tühja solenoidi (J. 217) jõujoonte arvu kunni 2000 korda (permeabiliteet μ tõuseb 2000-ni). **Malmil** on palju vähem mõju, kui separaual. —**Teras** muutub kauakestvaks magnetiks (harilikult tarvitatakse 10 Amvoolu tugevust). Kunstliste teras-magnetite valmistamine.



J. 225. Kahe rauatüki tarvitamine.

4. Kui panna kaks raudpulka tugeva elektrivooluga poolisse, siis tõukavad nad teine teist eemale, sest et neis ühenimelised poolused ühele poole sihitud. Seda omadust tarvitatakse uuri-kujulistes **ampermeetrites ja voltmeetrites** (J. 224).



J. 226. Elektri-kell.

Pooli ääre külge kinnitatakse tükikene pehmet raudplekki e_1 (J. 225); teine tükike e on näitajaga telje ümber pöörlevalt kinnitatud. Voolab poolist elekter läbi, siis magnetiseeruvad mõlemad rauatükid ühte moodi ja e liigub nooltega näidatud sihis.

§ 55. Elektri-kell.

1. Osad. El.-kellal (J. 226) on 3 peaosa: a) väike **elektromagnet;** b) vedrutav **ankur** ehk haamer H (Wagneri haamer), mis kella kausikese kohal taguva kerakesega lõpeb; d) **kruvi** S, mille plaatinast ots haamrit puudutab.

Patareist juhitakse + el. vool klemmist *A* (näpitskruvi), siis elektromagneti poolist, edasi haamri kinnituspunktist *B*, haamrist, kruvist *S* ja klemmist *C* läbi — patarei negatiivse pooluse juure tagasi.

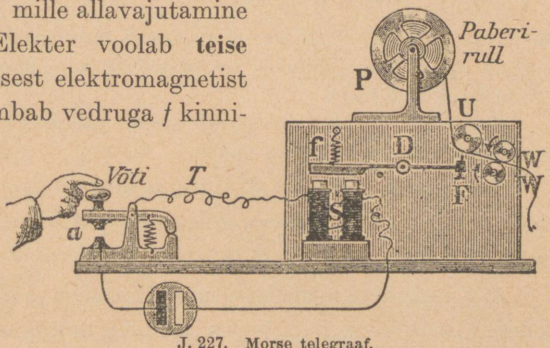
2. Käik. Nupu *D* peale vajutades, voolab elekter poolist *E* läbi ja tõmbab haamri *H* ligi. Sellega katkestatakse aga voolu punktis *x*. Elektromagnet kaotab oma magnetismi ja vedru surub haamri uuesti kruvi *S* vastu; siis ilmub jälle vool ja sarnane käik kestab senni, kunni nuppu vajutatakse. Haamri liikumisel taob kerake vastu kella kausikest, s. o. kell kõliseb.

Wagneri haamri (mida Neef 1839 kirjeldas) saame, kui el. kellast kõliseva kausikese ja taguja kerakese kõrvaldame. Sarnast aparaati tarvitatakse voolu isekatkestajaks.

§ 56. Telegraaf.

1. Ajaloost. El. voolu keemilist tegevust katsus kasutada (väikese tagajärjega) telegrafeerimiseks Sömmering, Münchenis. 1833 a. seadsid sisse el. telegraafi Gauss ja Weber Göttingeni ülikooli ja tähetorni vahel. Märkideks tarvitasid nad magnet-nõela paremale ja pahemale poole pöörumist voolu sihi muutmisel (J. 205). Mõtet, et kahe märgi kombinatsiooniga on võimalik kõiki tähti telegrafeerida, tuleb Gaussi omaks pidada. Steinheil lasi Münchenis magnet-nõela kahe isesuguse kõlaga kella pihta lüüa, sedaviisi telegrammi kuuldavaks tehes. Pärastpoole juhtis ta pabeririba kahest nõelast mööda ja sundis nõelu oma lööke sellele üles märkima. Eelpool kirjeldatud kirjutav telegraaf on ameeriklase Morse leidus 1837.

2. Morse telegraaf (J. 227). Märkide andjaks **ühes jaamas** on metallkang *T* (võti), mille allavajutamine voolu ühendab. Elekter voolab **teise jaama,** kus ta väikesest elektromagnetist läbi läheb ja ligi tõmbab vedruga *f* kinnitatud ankru, mis punktis *D* pöörlevalt liigub. Ankru külge on kinnitatud kirjutav sulg *F*, mis ankru ligitõmbamisel vastu pabeririba vajutatakse. Pabeririba liigub pidevalt (kella mehanismi abil) kahe vastupidi tiirleva ratta vahel (Morse-kirjutaja).



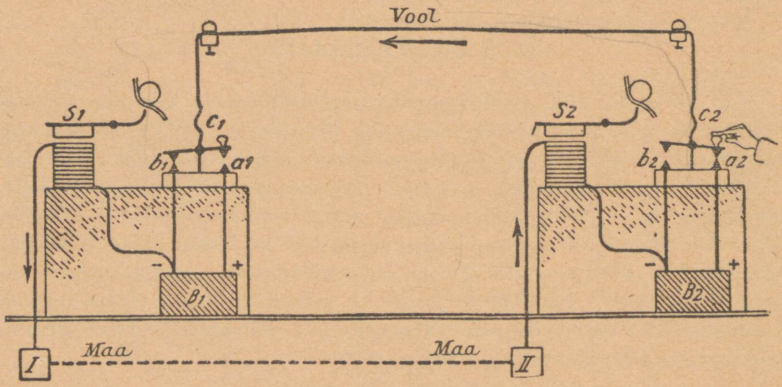
J. 227. Morse telegraaf.

Selle järele, kas võtit kaua või lühike aeg alla vajutatakse, ilmuvad paberile kriipsud ehk punktid, mis **Morse tähestiku** moodustavad.

A.—	*G*——.	*M*——	*S*...	*Y*—.——
B—...	*H*....	*N*—.	*T*—	*Z*——..
C—.—.	*I*..	*O*———	*U*..—	*Ae (Ä)*.—.—
D—..	*J*.———	*P*.——.	*V*...—	*Oe (Ö)*———.
E.	*K*—.—	*Q*——.—	*W*.——	*Ue (Ü)*..——
F..—.	*L*.—..	*R*.—.	*X*—..—	*Ch*————

3. Joonis 228 näitab **kahe jaama ühendust.** Sarnasel ühendusel märgitakse telegramm mõlemas jaamas ühekorraga (kontroll).

Mõlemate jaamade võtme nupud a_1, b_1 ja a_2, b_2 ühendatakse kohaliste patareidega B_1 ja B_2. Võtmete teljed c_1 ja c_2 on ühendatud juhega.



J. 228. Telegrammi kontroll.
Võtme a_2 alla vajutamisel liiguvad mõlemad Morse-kirjutajad.

Mõlemate patareide negatiivsed poolused ühendatakse Morse-kirjutaja aparaadiga S_1 ja S_2 ja juhitakse pärast seda maasse (maaplatted), mille kaudu vooluring ühendatakse.

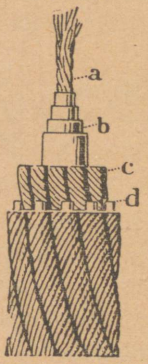
Surutakse a_2 alla, siis mõjub ainult patarei B_2, mis mõlemad Morse-aparaadid ühtemoodi käima paneb.

Telegraafi juheteks tarvitatakse tsingiga kaetud raudtraati, mida portselaan-nuppudega isoleeritult postidele kinnitatakse. 1838 a. leidis Steinheil, et maapinda voolu tagasijuhiks võib kasutada.

4. Kauge maa peale telegrafeerimisel on saadetav vool väga nõrk, sellepärast lastakse teda teises jaamas ainult n. n. **relais** (relee; J. 229) peale mõjuda ja juhitakse siis maad mööda tagasi.

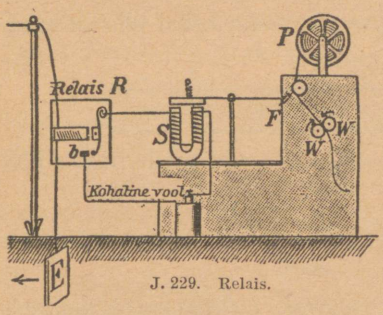
Relais on elektromagnet, mis ankru ligitõmbamisega jaama kohalise patarei ühendab (kondakt *b*). Alles kohalise voolu mõjul hakkab Morse-kirjutaja tööle.

5. Hughes'i (Juus) tähe-telegraafis (1855) vajutatakse vôtmeid nagu kirjutusmasinal. Sünkrooniliselt (s. o. ühesuguse kiirusega) liikuvate ehituste abil trükitakse teises jaamas paberiribale esimeses jaamas löödavad tähed.



J. 230. Kaabel.
a = nöör,
b = kummi,
c = kanep,
d = raudtraat.

Telegrammide **kiiremaks** edasisaatmiseks valmistatakse selleks olevate abinôudega paberiribad, milles kriipsud ja punktid välja löödud, nii et saatejaamas vaja ainult nimetatud pabeririba Morse vôtme alt läbi tômmata. Minutis võib sedaviisi edasi anda kunni 2000 märki.



J. 229. Relais.

6. Ülemere telegrafeerimiseks tarvitatakse nôela-telegraafi, mis koos seisab galvanomeetrist ja voolu pöörajast. Nôela paremale ja pahemale poole liikumistest on Morse tähestik kokku seatud.

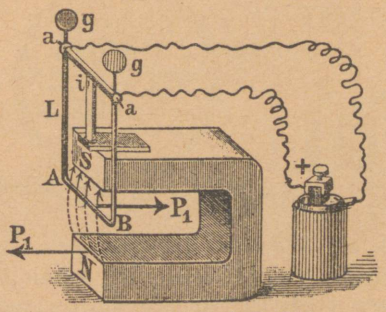
Voolu juhtimiseks läbi mere tarvitatakse **kaablit** (J. 230), s. o. juhet, mis kummist ja kanepist veekindla isoleeriva kestaga ja pealt poolt veel raudtraadiga kaetud.

Telegrammide lühendamiseks tarvitatakse mitmesuguseid kokkulepitud märke vôi arve.

§ 57. Voolu liikumine magneti väljas.

1. Liikuvalt kinnitatud juht, milles elekter voolab, hakkab magneti väljas liikuma, kui selle jôujooned teda lôikavad (s. o. temast läbi lähevad).

Katse. Kinnitatakse liikumata teljel *a a* traat-silmus, nii et ta hobuseraua kujulise magneti pooluse ümber kergesti liikuda võib, nagu J. 231 näidatud. Juhitakse vool silmusest läbi ühes sihis, siis liigub *A B* ühele poole; muudetakse voolu sihti, siis liigub *A B* vastupidises sihis.



J. 231. Juht *L* liigub *P*$_1$ sihis.

2. a) **Liikumise sihti** võib kergesti Flemmingi pahema-käe seaduse (J. 232) järele määrata ja meeles pidada: seatakse pahema käe pöial, näitaja ja keskmine sõrm üks teisele ristjoones, siis näitab keskmine sõrm voolu liikumise sihti, kui näitaja sõrm voolu sihis ja pöial jõujoonte sihis juhitud.



J. 232. Pahema käe seadus.

b) **Juhi liikumise tugevus** P oleneb voolu tugevusest i (Am) ja voolu kohal olevast magneti välja tugevusest F;

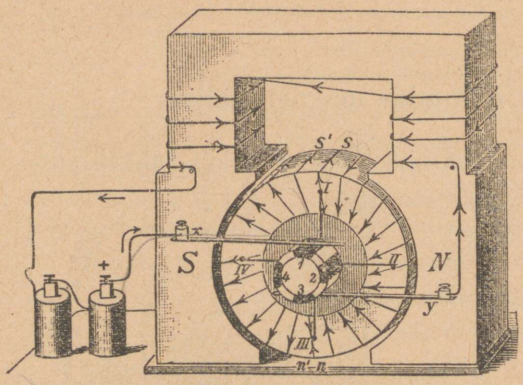
$$P = F \cdot i \cdot {}^{1}/_{10}$$ düüni iga **1 cm** juhi pikkusel

Meelespidada: jõud P on ristjoones kui voolu juhile, nii ka jõujoontele.

3. Elektri mootor. Voolujuhi liikumisel magneti väljas põhjeneb elektri mootori ehitus.

Elektri mootor seisab koos a) tugevast elektro-magnetist, mis välja tekitab, b) raud-ankrust, mis teljel kergesti tiirleb ja mille peale traat keritud. Sellesse traati juhitakse vool n. n. harjade kaudu.

Harilikult jagatakse traat üksikuteks poolideks, mille otsad vaskplatetega ehk **lamellidega** (J. 233, 1, 2, 3, 4) ühendatakse. Lamellid kinnitatakse teljele ja on üks teisest hästi isoleeritud. Väikest silindrit, mis neid lamelle kannab, nim. **kollektoriks.** Harjad liiguvad kollektorit mööda.



J. 233. Gramme'i mootor.

Ankru vormiks, mida siiamaani laialt tarvitatakse, on n. n. Gramme'i rõngas (J. 233), mis koos seisab õõnsast, võrusarnasest, lühikesest, paksust raudsilindrist, mille ümber traat seestpoolt väljapoole keritud ja mis nagu kinnise pooli moodustab.

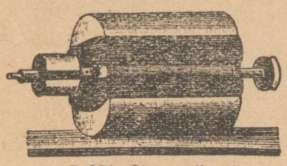
Rõngas on tiirlemise teljega kinni kiilutud. Teljele on joonisel antud juhusel 4 lamelli kinnitatud, millest kaks vastuseisvat paigalolevate harjadega x ja y kokku puutuvad. Lamellid (1, 2, 3, 4) on ühenduses järgimööda sümmeetriliselt seatud ringpoolidega punktides I, II, III, IV.

a) **Voolu ringkäik.** Patarei positiivsest poolusest sattub vool harja x kaudu lamelli 1 ja sellest punkti I, kus ta hargub: üks osa voolab Gramme'i rônga pahemast, teine paremast poolest läbi. Môlemad voolu osad ühinevad punktis III, ja vool läheb lamelli 3, harja y kaudu üle magneti jala patareisse tagasi.

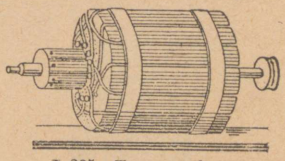
b) **Käik.** Elektromagneti jôuväljas saab iga traadi keerd tôuke, millest ankur tiirlema hakkab. Tähtis, et ankru tôuked põhjapooluse N ja lôunapooluse S poolt vastupidised on, mis sellest tuleb, et voolu siht J. 233 N ees vaatlejale vastu voolab (rônga välispoolel), S ees aga ümberpöördult.

d) **Tarvitamine.** a) Igasuguste masinate käima panemiseks, nagu ventilaatorid, treipingid, tsentrifuugid, segamis-masinad jne. b) Tänava elektri raudtee (tramway) liikumiseks.

Tänava-raudteevaguni rattad on ühenduses elektri mootoriga. Käib vool mootorist läbi, siis hakkavad rattad liikuma. Voolu juhitakse mootorisse kontaktkangi abil, mis postidele ülesseatud traati mööda liigub. Rööpaid mööda voolab elekter elektri-jaama jälle tagasi. (Mootori liikumist võib ka akkumulaatorite abil korraldada.)



J. 234. Siemens'i ankur.

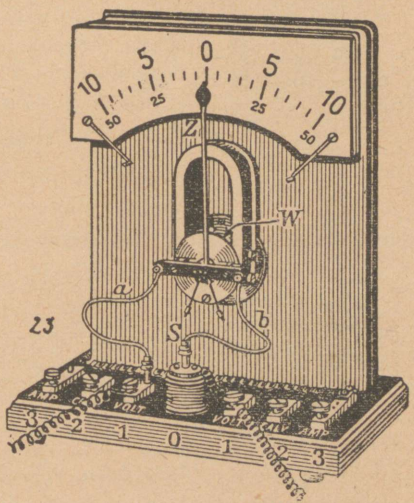


J. 235. Trumm-ankur.

e) Tarvitusel on olemas veel **teised ankru vormid:** Siemens'i ankur (J. 234) ja Hefner-Alteneck'i trummankur (J. 235).

Môlemates tarvitatakse raud tuumaks täissilindrit. Esimeses on silindrile I kuju antud (kaksik-T ankur) ja traat paralleelselt ümbermähitud. Viimases ankrus aga teeb iga järgmine traadikeer eelmisega ühe ja sama nurga.

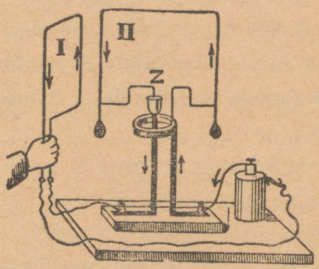
4. Solenoid-ehk keeravapooliga-galvanomeeter (J. 236) sisaldab magneti pooluste NS vahel traatpooli kandvat raudtuuma. Voolu môjul hakkab pool pööruma, mida vedru takistab. Pöörumine on täpselt proportsionaalne voolu tugevusele.



J. 236. Deprez-d'Arsonval'i galvanomeeter.

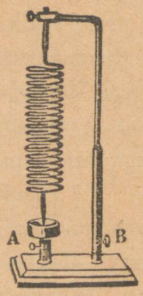
§ 58. Voolude enesevaheline tegevus.

1. Ampère leidis seaduse: a) ühtepidi sihitud voolud tõmbuvad; b) vastupidi sihitud voolud tõukuvad; d) risti sihitud voolud püüavad paralleelseteks ja ühesihilisteks saada.



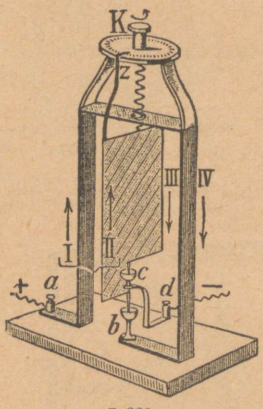
J. 237. Ampère'i aparaat.

Tõendus **Ampère'i aparaadi** (J. 237) ehk Mühlenbein'i katse abil. (Tõuge ehk tõmbe kahe metall-niidi vahel, kui neis el. voolab.) — **Seletus:** tegevust võib ette näha, sest § 52 järele on voolu I ümber magneti väli olemas ja § 57 järele peab vool II selles liikuma.



J. 238.

Katse Rogeti spiraaliga (J. 238). Mis juhtub, kui spiraalist voolu läbi lasta?

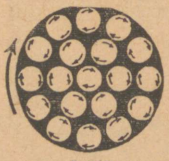


J. 239.

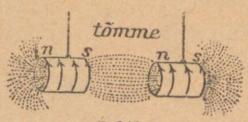
2. Elektri dünamomeeter (Siemens ja Halske ehitus), mis joonisel 239 kujutatud, on ehitatud Ampère'i seaduse põhjal, et ühtepidi sihitud voolud ligi tõmbuvad.

Ta seisab koos liikuvast (II, III) ja paigalseisvast poolist (I, IV). Juhitakse voolu mõlemast läbi, siis püüavad nad paralleelseteks saada. Dünamomeetris olevat vedru keeratakse nii, et liikuv pool oleks ikka ristjoones sellele olekule, millesse ta püüab. Keeramine α on voolu tugevuse i ruudu mõõduks. **Põhjus:** saab poolides vool n korda tugevamaks, siis on tegevus $n \cdot n$ korda nii suur, kui enne.

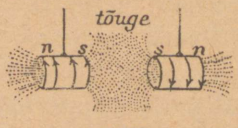
3. Ampère'i magneti teooria. Ampère oletas, et molekulaar-magnetikesed, millest iga magnet koos seisab, väikesed elektrivooluga solenoidid on (Ampère-voolud; J. 240).



J. 240.



J. 241.



J. 242.

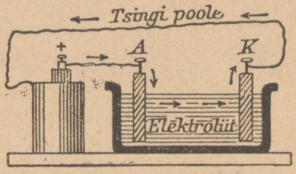
Kaks magneti poolust tõmbuvad või tõukuvad selle järele, kas nende molekulaarsed voolud ühesihilised või vastusihilised on (J. 241 ja 242).

4. Maakera voolud. Et maakera nagu magnet on, siis oletas Ampère, et ka maakera elektri vooludega täidetud. Nende siht peab olema vastupidine maakera tiirlemisele, sest et maakera magneti põhjapoolus lõunas on.

Elektri voolu keemiline tegevus

§ 59. Elektrolüüs.

1. Nähtused. Juhitakse voolu elektrit-lahutavasse vede likku, siis jaguneb see kaheks osaks, millest üks (anioon) voolu sissejuhtimise kohas **(anood)**, teine **(katioon)** voolu väljaminemise kohas **(katood)** väljendub. Sarnast vooluga lahutamist nim. **elektrolüüsiks,** lahutatavat vedelikku-**elektrolüüdiks** (J. 243). Selles nähtuses on maksev väide:



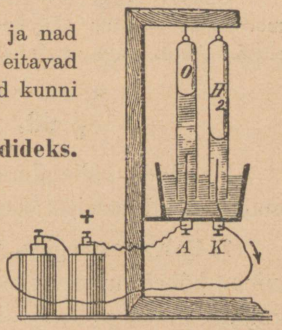
J. 243. Elektrolüüs.

Metallid ja ***H*** **(vesinik) ujuvad voolu sihis,**
\+ + see tähendab, et nad katoodil väljenduvad

2. Clausiuse ja Arrheniuse seletus. Oletatakse, et, näit. soola või happe lahundid juba loomulikus olekus sisaldavad lahutatud moleküüle, mille osakesed, n. n. **ioonid,** osalt positiivselt, osalt negatiivselt elektriga laetud on.

Positiivseid ioone tõukab positiivne anood ja nad väljenduvad katoodil. Vastavalt väljenduvad eitavad ioonid anoodil. Edasi lahutuvad uued moleküülid kunni ioonidega küllastuseni jne.

Anood ja katood kokku nim. **elektroodideks.** Elektroodide peale heitunud ained tihti kutsuvad esile omakord **(sekundäärsed) keemilised protsessid,** mõjudes elektroodide platete või lahutusvee peale. Sel juhusel ilmuvad elektroodidel teised ained, kui oodatud.



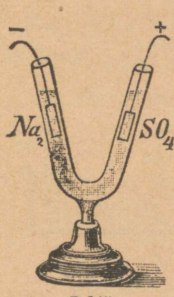
J. 244. Vee lahutamise aparaat

3. Elektrolüüsi näited. Vee lahutamine plaatinast elektroodidega (J. 244). Puhast vett H_2O elekter ei lahuta. Alles väikese hulga väävelhappe (H_2SO_4) juure lisamisega saab vesi juhiks. Lahutatud

saab ka ainult väävelhape: $H_2SO_4 = H_2 + SO_4$. Vesinik H_2 voolab ühes elektriga ja vuliseb katoodil vullikeste näol üles. — SO_4 peaks anoodil väljenduma, ühineb aga lahutatava veega ($SO_4 + H_2O = H_2SO_4 + O$) ja tekitab väävelhappe, vabaks saanud hapnik aga lendab välja.

Nähtus: väävelhapet tekib ikka juure, kuna lahutatav vesi kaob; näib nii, nagu saaks vesi H_2O lahutatud H_2 ja O. Tekib valemi H_2O järele 2 osa vesinikku ja 1 osa hapnikku.

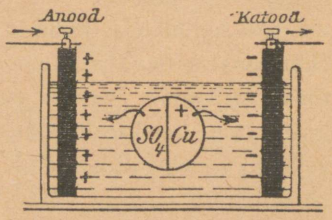
Katseks tarvitatakse J. 244 kujutatud aparaati, milles enne katset hapendatud veega täidetud torud plaatinast elektroodide peale kummuli seatud.



J. 245.

4. Glauberisoola lahu elektrolüüs $Na_2SO_4 = Na_2 + SO_4$, plaatinast elektroodidega (J. 245).

Katoodile on asjata Na oodata. **Põhjus:** Na ühineb veega: $Na + H_2O = NaOH + H$. Tekib naatriumi lehelis ja vaba vesinik vuliseb välja. Nähtus anoodil on nagu eelmises näites. — Lisatakse lahule fenolftaleini juure, siis värvub ta katoodil tekkiva alusega punaseks. Tarvitamine pooluste otsimisel.



J. 246. $CuSO_4$ lahutamine.

5. Vasevitrioli lahu elektrolüüs $CuSO_4 = Cu + SO_4$ vaskelektroodidega (J. 246).

Oodetav vask ilmub katoodil. Katood kattub metall-vasega. Anoodil moodustab vabanev SO_4 anoodi vasega jälle $CuSO_4$. Lahu jääb kontsentreerituks. Näib, nagu rändaks anood-platte vask katoodile.

§ 60. Tarvitamine tehnikas.

Metallide väljendumist katoodil metalli soolade lahust elektri voolu mõjul tarvitatakse:

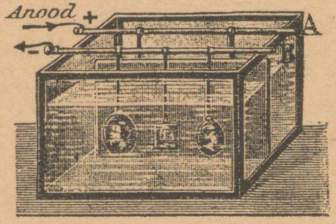
1. Galvanosteegias, s. o. kalli metallidega katmine, nagu kuldamine, hôbetamine, nikeldamine. Asjad, mida tahetakse, näiteks, kullata, seatakse katoodi asemel kulla-vanni; anoodiks tarvitatakse kuldplekki.

2. Galvanoplastikas, asjadelt vasest äratômmete (koopiate) tegemiseks. Enne valmistatakse vahast asja kuju, mida grafiit-pulbriga juhiks muudetakse ja katoodina vasevanni riputatakse. Anoodiks

tarvitatakse vaskplatet (J. 247). Elektri läbivoolamisel tekib vormil äravõetav vasekiht. (Klisheede valmistamine.)

Voolu tihedus: tahetakse pidavat kihti saada, siis ei tohi voolu tugevus ruutdetsimeetri peale üle 1 Am tõusta.

3. Puhas-metallide saamiseks. Mittepuhtad metallid lahutatakse vastavates hapetes ja lahutatakse neist elektrolüütilisel teel puhas metall. Lahutatud keedusoolast saab elektrolüüsi teel kloori ja naatriumi, jne.



J. 247. Galvanoplastika.

§ 61. Keemiline voolu tugevuse mõõtmine.

1. Elektri keemilist tegevust võib voolu mõõtmiseks kasutada. Sekundis lahutatud ainehulga järele võib otsustada sekundis läbivoolanud elektrihulga üle.

Ioonid on väikeste positiivsete või negatiivsete laengute kandjad. Mida rohkem ioone plattel väljendub, seda suurem on nõutav elektrihulk.

2. Voolu tugevuse üksuseks on Ampère (§ 53). Sarnane tugevus on voolul, **mis 1 sekundis 1,118 mg hõbedat lahutab.**

Vool, mille tugevus 1 Am, lahutab minutis 1/50 g (täpselt 19,76 mg) vaske, 7 cm^3 vesinikku, 3,5 cm^3 hapnikku (kokku 10,5 cm^3, täpselt 10,44 cm^3, paukgaasi normaal-tingimistes). Need arvud nim. aine **elektrokeemilisteks ekvivalentideks** 1 Am jaoks.

3. Faraday seadused: a) lahutatud ainehulk on proportsionaalne ajale ja voolu tugevusele, keemilistest ühendusviisidest aga rippumata.

b) isesuguste ainete ekvivalentide suhe võrdub aine keemiliste ühenduskaalude suhele.

Lahutab elektri vool vee H—O—H osadeks H_2 ja O, siis ütleb keemiker, et H_2 ja O on ühesugune väärisus. Vesiniku väärisus on 1; tähendab O ja H_2 väärisus on 2. Sel põhjal on olemas väide: **elektri vool lahutab aineid nende väärisuse järele.** — Üks ja sama vool lahutab ühe ja sama aja jooksul

2 H	1 O	1 Cu	1 Zn	2 Ag
2 · 1 g	16 g	63,1 g	65,2 g	2 · 108 g

sest et kõikide nende aatomi kruppide väärisus 2 on. Selle krupi kaal nim. tema **ühenduskaaluks.**

4. Teise Faraday seaduse järele võib **aine elektrokeemilist äkvivalenti välja arvata,** kui see mõne teise aine kohta teada.

Näide. Leida vase äkvivalent (x) hõbeda äkvivalendi abil. V. Vastavalt 1 Cu lahutub 2 Ag; nende kaalude vahekord on $63{,}1:(2 \cdot 108)$. Tähendab, $x:1{,}118 = 63{,}1:(2 \cdot 108)$, millest $x = 0{,}328$ mg/sek ehk umbes $^1/_{50}$ g/minutis.

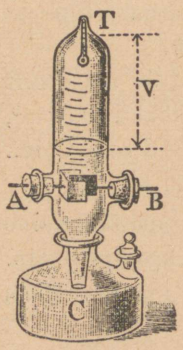
5. 1 g vesiniku lahutamiseks vaja 96600 Coulomb'i elektrit. (Sama palju tarvitavad eespool antud tabeli järele 8 g hapniku, 108 g hõbedat jne. Neid üks teisega üheväärilisi ehk äkvivalentseid hulke nim. lühidalt vastava aine gramm-äkvivalendiks.)

Järelkatse: et 1 Am 1 sekundis 1,118 mg hõbedat lahutab, siis on 108 g hõbeda lahutamiseks $\frac{108000}{1{,}118}$ Am = 96 600 Am vaja.

6. Voolu tugevuse leidmine. On A äkvivalent, siis lahutab vool i Am t sekundis

$$\boxed{\text{ainehulga } Q = A \cdot t \cdot i}, \text{ millest } \boxed{\text{voolu tugevus } i = \frac{Q}{A \cdot t}}$$

Tähendab, voolu tugevus i leitakse, kui lahutatud ainehulk äkvivalendiga A ja voolu kestvuse ajaga t jagatakse.

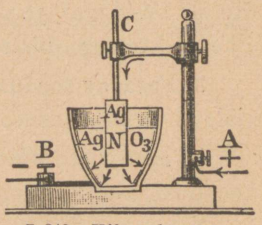


J. 248. Paukgaasi voltameeter.

7. Voltameeter. Keemilised voolu tugevuse mõõtmise riistad nim. voltameetriteks (mitte vahetada voltmeetritega). Tarvitamisel on harilikult järgmised kolm:

a) **Paukgaasi-voltameeter** (J. 248), mille ehitus joonisest näha. Normaal-tingimistes saadakse 10,44 cm³ paukgaasi 1 Am peale minutis.

Mõõdetud paukgaasi hulga suurust peab normaal-tingimistes välja arvama. **Näide:** 720 mm rõhul ja 27° C (= 300° abs. temp.) lahutas vool 5 minutiga 275 cm³ paukgaasi.



J. 249. Hõbe-voltameeter.

a) Ruumala normaal-tingimistes $= 275 \text{ cm}^3 \cdot \frac{273}{300} \cdot \frac{720}{760} = 237{,}1 \text{ cm}^3$.

b) Voolu tugevus $i = \frac{237{,}1}{5 \cdot 10{,}4} = 4{,}56$ (Am).

b) **Vase-voltameeter** (J. 246) on vasevann ($CuSO_4$) vask-elektroodidega. 1 Am lahutab 1 minutis umbes 19,76 mg vaske.

d) **Hôbe-voltameeter** seisab koos plaatinast tehtud tiiglist põrgukivi lahuga ($AgNO_3$), millesse hôbepulk pistetud (J. 249).

Näide: hôbe-voltameetris lahutas vool 5 minutiga (= 300 sek) 1,342 g (= 1342 mg) hôbedat.

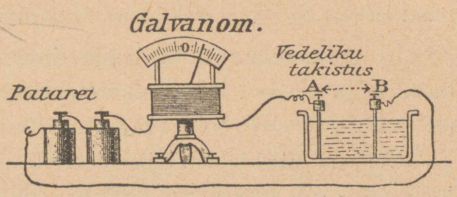
$$\text{Voolu tugevus } i = \frac{1342}{300 \cdot 1{,}118} = 4 \text{ (Am)}.$$

Ülesanded.

1. Leida voolu tugevus järgmistes juhustes:
   a) Vase-voltameeter andis 15 minutiga 2,46 g vaske.
   b) Veelahutamise aparaat andis 27° C ja 720 mm rôhul 5 minutiga 600 cm^3 vesinikku (leida enne normaal-ruumala).
   d) Hôbe-voltameeter andis 30 minutiga 4 g hôbedat.
   [V. a) 8,3 Am. — b) 14,779 Am. — d) 1,99 Am.]
2. Mitu mg/sek on a) vesiniku, b) vee (paukgaasi), d) nikli (atomkaal 58; kahevääriline) äkvivalent? [V. a) 0,0104 mg/sek. — b) 0,933 mg/sek. — d) 0,6004 mg/sek.]
3. Mitu grammi niklit lahutab 250 Am tugev vool nikli vannis päeva jooksul? Suur on nikli väärtus, kui 1 g 0,20 marka hinnatakse? (atomkaal 58,4). (V. 13058 g, 2611,65 Mk.)
4. Galvanoplastika asutuses lahutatakse iga päev 4 kg vaske. Mitu kg $CuSO_4$ selle juures ära tarvitatakse? (V. Umbes 10 kg.)

§ 62. Polarisatsioon-vool. Akkumulaator.

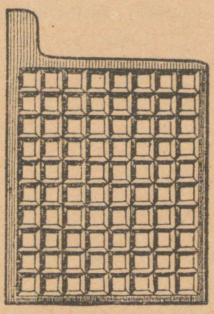
1. Põhikatse. Patarei voolu ahelikku seatakse galvanomeeter ja kaks tinaplatet hapendatud vees, nagu J. 250 näidatud. Paari minuti pärast kôrvaldatakse patarei, kuna juhe uuesti ühendatakse. Siis pöörub galvanomeetri nôel järsku teisele poole. Sellest järgneb, et nüüd veelahutamise aparaat ise elemendina môjub, mille vool aga patarei voolule vastu sihitud (polarisatsioon-vool). — Anood-tinaplate värvub selle juures pruuniks, katood — hele siniseks.



J. 250. Polarisatsioon.

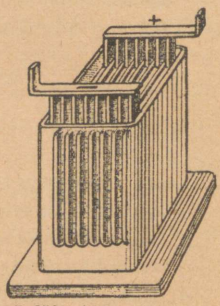
Enne ühesugused elektroodid muudetakse laadiva vooluga nii, et nad ise vastupidises sihis voolu annavad. Seda vastuvoolu nim. polarisatsioon-vooluks; alguses ühesuguste platetega lahutamise aparaadist saadud element nim. sekundäär-elemendiks. Tähtsam sekundäär-element on tina-akkumulaator.

2. Tina-akkumulaatorid (voolukoguja, Planté leitud 1860 a. ja Faure'i parandatud 1881 a.) seisavad koos kahest kärjesarnasest tinaplattest (J. 251), mille augud kahe isesuguse tina hapendiga nagu tainaga täidetud: + platted seatina ülihapendiga (mennig) (PbO_2), — platted seatina hapendiga (PbO).



J. 251. Kärg-plate.

Tina platted on 15% väävelhappes.



J. 252. Akkumulaator.

Kahe tinaplatte asemel võetakse tihti kaks seeriat plattesid, kus juures iga seeria oma vahel pôônaga ühendatud. (Võrdlus raamatu lehtedega.) Selle juures seatakse mõlemad platete read nônda, et iga positiivsele plattele negatiivne järgneb (J. 252).

a) **Akkumulaator laetakse,** kui temast môni aeg saadaval oleva elektri allika voolu (kunni happe „keemiseni") läbi lastakse (laadiv vool).

Iga dm^2 akkumulaatori platte pinna kohta võib tarvitada ainult 1 Am laadivat voolu.

Käik: voolu môjul nôrk väävelhape lahuneb: $H_2SO_4 = H_2 + SO_4$. Katood, millel H väljendub, annab oma hapniku vesinikule (kus juures H_2O tekib) ja muutub puhtaks tinaks (Pb). Anood, millel SO_4 tekib, hapendub tina-sulfaadi ($PbSO_4$) tekkimisel veel tugevamini. Platete hapendusvahe (ühes sellega ka nende elektromotoorne jôud) suureneb.

b) Akkumulaatori **tühjendamine** sünnib, kui laadiv vool kôrvaldatakse ja platted I ja II läbi takistuse ühendatakse. Saadav vool on polarisatsioon-vool. (Elektromotoorne jôud ümmarguselt 2 V.)

Tühjendamisel lahuneb jälle väävelhape ($H_2 + SO_4$). H_2 rändab nüüd positiivsele, SO_4 negatiivsele plattele. Käik on järgmine:

1. + plattel: $PbO_2 + H_2 + H_2SO_4 = PbSO_4 + 2H_2O$;
2. — plattel: $Pb + SO_4 = PbSO_4$.

Tühjendamisel väheneb väävelhape ja selle asemele tekib vesi ja tina-sulfaat. — Laadimisel aga vastuoksa: viimased ained vähenevad ja tekib väävelhape.

Pärast tühjendamist võib akkumulaatorisi uuesti laadida, ilma et nende headus väheneks. Kauemal tarvitamisel kohanevad nad veel paremini (voolu tagavaraks kogumise võime kasvab), sest et iga laadimine ja tühjendamine tinapinna ikka rohkem ja rohkem üles ajab, mille läbi môju-pinna suurus

kasvab. (Enne müügile laskmist "vormitakse" akkumulaatorisi, s. o. laaditakse ja tühjendatakse neid kuude kaupa.)

d) **Tarvitatakse** akkumulaatorisi isesõitvate vankrite käimapanemiseks (automobiil); üleliigse voolu kogumiseks elektri jaamades.

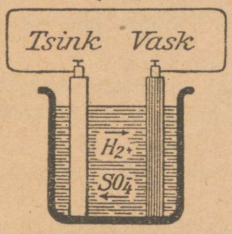
§ 63. Elementide keemiline käik.

1. Volta-element ei ole püsiv, s. o. tema elektromotoorne jõud langeb polarisatsiooni tõttu suuresti varsti pärast voolu ühendamist.

Põhjuseks on vaskplattel väljenduv **vesinik.**

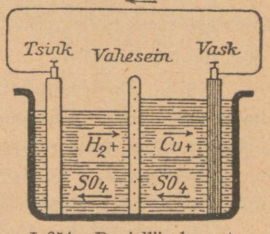
Käik: voolu ühendusel rändavad ioonid H_2 (+) ja SO_4 (—) just niisama, kui elektrolüüsis. **Positiivne ioon** H_2 rändab kinnise voolu sihis, andes vaskplattele oma + laengu. Selle juures ühineb aga vesinik vasega ja tekitab vastupidi sihitud elektromotoorse jõu, mis elemendi jõudu vähendab (polarisatsioon; J. 253).

Negatiivne ioon SO_4 väljendub Zn peal ja ühineb sellega $ZnSO_4$ (tsinksulfaadiks), mis nõrgas väävelhappes lahuneb, nii et tsinkplate puhtaks jääb ja ainult õhemaks muutub.



J. 253. Volta-element.

Polarisatsiooni võib ära hoida, kui tekkivat vesinikku mehaaniliselt või keemiliselt kõrvaldada. Viimast abinõu tarvitatakse järgmistes elementides, missuguseid sellepärast **püsivateks elementideks** kutsutakse.



J. 254. Daniell'i element.

2. Daniell'i element (1836) saadakse Volta-elemendist, kui vask vasevitrioli lahuga ($CuSO_4$) täidetud savipurki pannakse.

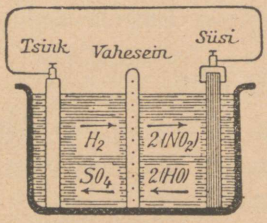
Käik. a) Positiivne ioon H_2 liigub voolu sihis nüüd ainult kunni savipurgini, kus ta vastupidises sihis liikuva SO_4-ga H_2SO_4-ks ühineb. Selle vastu ühineb lahu positiivne Cu-ioon vaskplattega, sellele oma + laengut edasi andes (edasi antud elektri asemele). Vaskplate läheb paksemaks. b) Tsingi käik on nii kui Volta-elemendis (J. 254).

Kolm kokkupuutumise kohta Zn | H_2SO_4 | $CuSO_4$ | Cu selles elemendis ei muutu, mispärast ta ka püsib.

Aine kulu: kui elekter voolab, siis tsinkplate õheneb, vaskplate pakseneb ja vasevitriool tarvitatakse pikkamisi ära, väävelhappe hulk aga jääb muutmataks.

3. Bunseni element (1840) sisaldab tsinki väävelhappes ja sütt salpeeterhappes ($HONO_2$).

Käik. Vesinik ühineb selles elemendis salpeeterhappe (negatiivse) radikaaliga (HO) ja tekitab vee. Salpeeterhappest vabanev lämmastiku ülihapend (NO_2) lendab õhku kui söötgaas. (J. 255.)



J. 255. Bunseni element.

4. Purk- ehk kroomhappe-element (J. 200) sisaldab tsinki ja sütt väävelhappe ja kakskroomhapukaaliumi ($K_2Cr_2O_7$) lahus.

H_2SO_4 ja $K_2Cr_2O_7$ ei pruugi lahus olla, sest et ainult esimene tsingi peale mõjub. Vabaneva vesiniku hapendab tekkimisel $K_2Cr_2O_7$ kohe veeks. Element töötab hästi, kuid tsingi kulu on suur, mispärast tsink elemendi mittetarvitamisel üles tõstetakse.

Tsink kulub ka lahtistes elementides; selle vähendamiseks amalgameeritakse teda.

5. Leclanché ehk pruunkivi element (1868) sisaldab tsinki salmiaki lahus [= kloorammoonium Cl (H_4N)] ja pruunkivi (MnO_2) seguga täidetud urbset savist nõud, milles asub söepulk positiivse poolusena (J. 201).

Käik. Zn lahutab Cl(H_4N) ja tekitab kloortsingi. Pruunkivi hapnik hapendab vabaneva ammooniumi (H_4N) ammoniakiks, mis ära aurab ja järele jääb ainult mangaan-hapend.

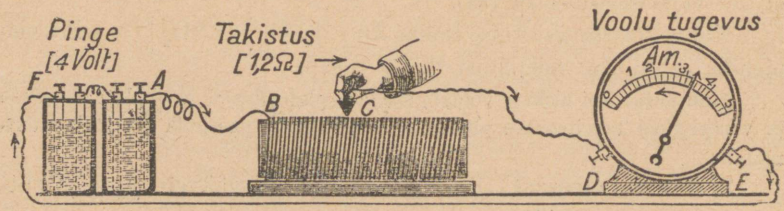
Eesomadus. Ümberkäimine elemendiga on kerge ja lihtne, mispärast majapidamises peaaegu üksi teda tarvitatakse.

Tihti pressitakse savipurgi asemel söeplatted pruunkiviga kokku.

Neli põhiüksust: Ampère, Ohm, Volt, Watt

§ 64. Reostaadid. Ohm.

1. Voolu nõrgestamine. Galvanomeeter näitab voolu nõrkemist, kui teda pikemate traatide kaudu vooluga ühendame. Öeldakse: traat takistab voolu.

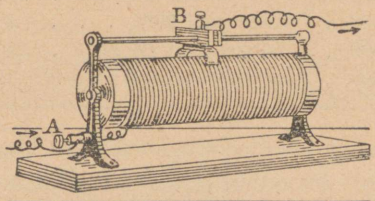


J. 256. Takistuse järelkatse.

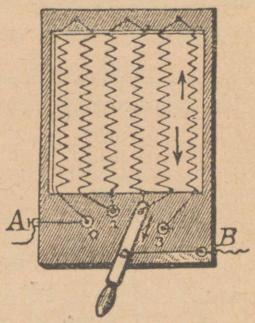
Katse (J. 256). Vooluringi seatakse rullreostaat ja ampermeeter. Mida suuremast reostaadi traatkeerude arvust vool läbi tungib, seda rohkem langeb ampermeetri näitamine.

2. Reostaadid. Aparaadid, millega võib kiirelt voolu nõrgestada või aheliku takistust muuta, nim. reostaatideks. Laiemat tarvitamist leiavad rull- ja vänt-reostaadid.

a) **Rull-reostaat** (J. 257) on portselaanist või tahvlikivist rull- (võlv-) silinder, millele paljas traat nii ümber mähitud, et keerud üks teist ei puutu. Sanga-sarnast kontakti edasi-tagasi liigutades võib voolu kiirelt rohkemast või vähemast keerude arvust läbi juhtida. Tarvitusel harilikult kooli-katsetes.



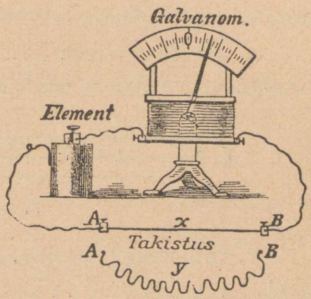
J. 257. Rull-reostaat.



J. 258. Vänt-reostaat.

b) **Vänt-reostaat** (J. 258) on nelinurkne tahvlikiviga kaetud raam, millele kinnitatud sik-sakiliselt spiraali punutud traat. Vända keeramisega võib voolu suuremast või vähemast spiraalide arvust läbi juhtida, mille tõttu voolu nõrgestatakse. On tarvitusel elektri asutustes, iseäranis kaartule voolu reguleerimisel ja mootorite käima laskmisel.

3. Kaks takistust on võrdsed, kui nad eraldi ampermeetriga ühendatud ühe ja sama näitamise annavad. (Seletada seda joonisel 259.)



J. 259. Takistuse mõõtmine.

4. Elektri takistuse üksuseks on Ohm (Ω), mille seadusline suurus võrdub elavhõbeda niidi takistusele, mis 1,063 m pikk ja 1 mm² läbilõikes. On olemas konstantaan-traadist poolid, mille takistus täpselt 1 Ω (normaal-Ohm).

5. Eritakistuseks nim. 1 m pika ja 1 mm² läbilõikega traadi takistust temperatuuris 0° C. Eritakistus oleneb juhi ainest.

Aine eritakistuse vastupidine väärtus nim. aine **erijuhtivuseks.**

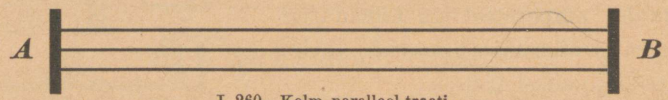
Kindel-kehade eritakistus 0^0 C juures			
Elavhõbe	0,941 Ω	Neusilber (umbes $^1/_4$) . .	0,25 Ω
Plaatina (umbes $^1/_9$) . .	0,135 „	Manganiin (89 Cu, 12 Mn,	
Hõbe (umbes $^1/_{60}$) . . .	0,016 „	4 Ni)	0,42 „
Vask (umbes $^1/_{60}$) . . .	0,017 „	Konstantaan (6 Cu, 4 Ni)	0,50 „
Alumiinium (umbes $^1/_{30}$) .	0,032 „	Retortsüsi	50–60 „
Raud (umbes $^1/_{10}$) . .	0,095 „	Grafiit	4–10 „
Teras, tina (umbes $^1/_5$) .	0,200 „	Kautshuk	45.10^{17} „

Veelahude eritakistus			
Väävelhape 5% . . .	47600 Ω	Vasevitriool ($CuSO_4$) .	240000 Ω
„ 15% . . .	19000 „	Keedusool 20% . . .	51000 „
„ 20% . . .	15000 „	Tsinksulfaat ($ZnSO_4$) .	230000 „
„ 80% . . .	90000 „	Salpeeterhape (HNO_3) 40%	13000 „

6. Traadi läbilõike mõju. n paralleelselt ühendatud ühesuguste traatide takistus W' on kõigest 1/n sellest takistusest W, mis üksikul traadil, s. o. $W' = W/n$.

Järelkatsumine. Vooluga ühendatakse paralleelselt n traati à 1 m pikk (J. 256) ja märgitakse ampermeetri näitamine. Siis pannakse n traadi asemele kõigest üks neist ja lühendatakse seda niikaua, kunni ampermeeter endise näitamise annab. Selle saamiseks tuleb traati $1/n$ m peale lühendada. — **Võrdlus:** sõjavägi läheb kolmest kitsusest kergemini läbi, kui ühest.

n paralleel-traati (J. 260) mõjuvad nii, kui traat n-kordse läbilõikega. (Traate võib kokku panna.)



J. 260. Kolm paralleel-traati.

7. Takistuse leidmine. a) On 1 m pika ja 1 mm² läbilõikega traadi takistus s, siis on l m sarnase traadi takistus $W = l \cdot s$.

b) Katse näitab, et traadi takistus seda vähem, mida paksem ta on. On traadi läbilõige q mm², siis on takistus

$$W = \frac{s \cdot l}{q} \text{ (Ohm'i)}$$

Selles valemis tähendab l traadi pikkust meetrites, s eritakistust ja q läbilõiget ruut-millimeetrites. Näited:

1. **Akkumulaatori** platted on 1 dm² suured ja 2 cm üks teisest kaugel. Kui suur on vedeliku (15% väävelhape) takistus platete vahel? V.

$$w = \frac{0{,}02 \cdot 18000}{10000} = 0{,}036\,(\Omega).$$

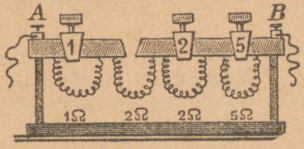
2. Leida **telegraafi raudjuhe** ($s = {}^1/_{10}$) takistus, kui selle pikkus 10 km ja läbilõige 2 mm²?

$$W = \frac{10000 \cdot {}^1/_{10}}{2} = 500\,(\Omega).$$

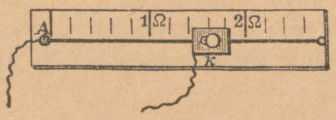
Galvani-elemendi vedeliku takistust nim. **elemendi sisemiseks takistuseks.** Ühesuguse ehitusega suured ja väikesed elemendid eralduvad üks teisest ainult sisemise takistuse suurusega.

8. Takistuse tegelikuks mõõtmiseks tarvitatakse takistuskasti ja takistustraati.

a) **Takistus-kast** (J. 261) seisab koos kastist, mille isoleeritud pealispinnale on kinnitatud ühesugusel kaugusel paksud vasetükid.



J. 261. Takistus-kast.



J. 262. Takistus-traat.

Lahutatud kohtades võib metall-tükka ühendada metallkorkide abil. Sisemiselt on metall-tükid ühendatud traat-keerutistega, mille takistused, näiteks 1, 2, 2, 5, 10 ... Ω (Ohm'i).

Tarvitamine: võetakse, näiteks, teine kork välja, siis on vool sunnitud sel kohal olevast alumisest traadist, mille takistus 2 Ω, läbi minema. On kõik korgid kohal, siis võrdub aparaadi takistus peaaegu nullile, sest et vool ainult lühikesest paksust vask-latist läbi läheb.

b) **Takistus-traat** (J. 262; reohord) on lauale kinnitatud konstantaantraat, mille peal kondakti nihutada võib. Sellega mahutatakse vooluringi soovitav murruline osa Ohmi takistusest.

9. Takistuse muutumine. a) **Temperatuuriga.** 1° C soojendamisel muutub takistus:

kindlatel kehadel kasvab	0,004	takistuse väärtusest 0° C.
Elavhõbedal ,,	0,0009	
Söel kahaneb	0,0003	

Mõõtmistel tarvitatakse vasesulatist mangaaniga või nikliga (konstantaan, manganiin, nikeliin) mille takistus harilikkudes temperatuuri piirides vähe muutub. Soojad vedelikud juhivad paremini, kui külmad.

Katse: kui ahelikku, milles väike hôôglamp pôleb, veel raudtraadist spiraal mahutada ja seda Bunsen'i lambiga kuumendada, siis kustub hôôglamp. Vôetakse raua asemel konstantaanist traat, siis pôleb hôôglamp muutmata heledusega, mingu traat kas tulipunaseks.

b) **Valgustusega.** Tilk seleeni messingist vôrel kujutab seleeni rakukest, mille suur takistus (300 Ω) valgustusel väheneb. Sel pôhjal töötab Korni leitud piltide telegrafeerimine.

Ülesanded.

1. Kui suur on 2,5 km pika ja $^3/_4$ mm² läbilôikega rauast telefonijuhe takistus? (V.: 333,3 Ω.)
2. Reostaadis on 36 neusilberist spiraali, mis 4 m pikad ja 2 mm² läbilôikes. Kui suuri takistusi vôib temaga saada? (V.: 0,5 Ω kunni 18 Ω.)
3. Suur on elektrolüütilise Cu-vanni sisemine takistus, kui $^1/_4$ m² suurused platted üks teisest 30 cm kaugusel? (V. 0,288 Ω.)
4. 16-küünlalise söeniidiga hôôglambi takistus on 220 Ω. Mitu m vasktraati $^1/_4$ mm² läbilôikega peab poolil olema, et takistus niisama suur oleks? (Vastus: 3235 m.)
5. Kui suur oleks sôrmepikkuse (10 cm) raudtraadi läbilôige, et ta takistus vôrduks 100 m vaskkaabli, mille läbilôige 1 cm², takistusele? (V. 0,6 mm².)

§ 65. Ohm'i seadus. Volt.

1. Ohm'i seadus. Ohm leidis 1826 a. seaduse: a) **voolu tugevus kasvab** patarei elektromotoorse jôuga E (= pingega).

Mida rohkem elemente, seda suurem tugevus.

b) **Voolu tugevus kahaneb** takistuse W kasvamisel voolu ahelikus. Mida suurem takistus ahelikku mahutatakse (J. 256), seda vähem on ampermeetri näitamine. Sellest järgneb lihtne valem:

$$\text{Voolu tugevus } i = \frac{E}{W} = \frac{\text{pinge}}{\text{takistus}}$$

s. o. voolu tugevuse leiame, kui lahtise (mitte ühendatud) aheliku **pinge** (üldise elektromotoorse jôu) jagame kogu (sisemise + välimise) **takistusega.**

Näide. Akkumulaatori (E = 2 volti, sisemine takistus W = 0,1 Ω) ahelikku mahutatakse korkidega reostaat ja ampermeeter, mille takistus 0,8 Ω. Vôetakse välja kork, mis vastab 2 Ω takistusele, siis on voolu tugevus $= \frac{2}{2 + 0{,}1 + 0{,}8} = 0{,}69$ (Am), mida ka ampermeeter näitab.

2. Volt'i kindlaks määramine. Ohm'i valemit on vaja varustada veel proportsionaalsuse teguriga C: $i = C \cdot E/W$. See tegur võrdub 1, kui pinget üheks loeme, mis $i = 1$ Am voolu ühe Ohmi (1 Ω) takistusest läbi ajab.

Tähendab: **1 Volt on pingevahe, mis ühe Ohmi takistusest 1 Am voolu läbi ajab.**

3. Võrdlus nõrgalt vatiga kinnitopitud pasunaga, millest õhku läbi puhutakse.

Puhumisel on paled pungil (pinge). Sekundis läbipuhutud õhuhulk vastab voolu tugevusele, vatt aga takistusele.

4. Ohm'i valemi kolm kirjutusviisi:

$$\boxed{i = \frac{E}{W}} \qquad \boxed{E = W \cdot i} \qquad \boxed{W = \frac{E}{i}}$$

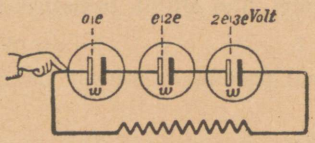
Teist tarvitatakse elektromotoorse jõu, kolmandat takistuse arvutamiseks.

Ülesanded.

1. Kui tugev el. vool tekib järgmistes juhustes:
   a) kolm üks teise järele ühendatud akkumulaatori ($E = 2$ V., $w = o$) ühendatakse läbi pooli, mille takistus 6 Ω (V.: $i = 1$ Am);
   b) neli üks teise järele seotud Daniell-elementi ($E = 1{,}108$ V., $w = 0{,}8$ Ω) ühendatakse läbi pooli, takistusega 0,6 Ω? (V.: $i = 1$ Am.);
   d) akkumulaator, mille $E = 2{,}02$ V. ja $w = 0{,}01$ Ω, ühendatakse läbi 100 m pika ja 1,7 mm² läbilõikes vasktraadiga. (V.: $i = 2$ Am.);
   e) niisamasugune akkumulaator ühendatakse lühidalt 10 cm pika ja 2 cm² läbilõikes vask-pulgaga. (V.: $i =$ umbes 202 Am.)
2. Bunsen'i element ($E = 1{,}93$ V., $w = 0{,}05$ Ω) ühendatakse läbi neusilberist traat-pooli, millel 100 keeru raadiusega 4 cm. Tugev on vool, kui traadi läbilõige 2 mm²? (V.: $i = 0{,}605$ Am.)
3. Daniell'i element ($E = 1{,}08$ V., $w = 0{,}5$ Ω) ühendatakse läbi 3,2 m pika ja 2 mm² paksu neusilber-traadi. Pärast seda ühendatakse selle sama traadiga Bunsen'i element ($E = 1{,}93$ V., $w = 0{,}4$ Ω). Kumb element annab tugevama voolu? (V. Viimane.)
4. Elektri vool patareist, mis koos 50 üks teise järele ühendatud elemendist ($E = 1{,}4$ V., $w = 0{,}02$ Ω) juhitakse läbi 10 km pika ja 2 mm² läbilõikega telegraafi traadi. Maaühenduse takistus $w = 5{,}7$ Ω. Kui suur on voolu tugevus? (V.: $i = 0{,}145$ Am.)
5. Ampermeeter näitab 1 Am või 2 Am voolu tugevust vastavalt ahelikku mahutatud 1,6 Ω või 0,6 Ω takistusele. Leida voolu allika elektromotoorne jõud ja sisemine takistus, kui ampermeetri takistus 0,3 Ω teada? (V.: $E = 2$ V., $w = 0{,}1$ Ω.)

§ 66. Elementide ühendamine.

Patarei voolu tugevuse suurus oleneb sellest, kuidas üksikud elemendid ühendatud. On olemas mitmesugused ühendamise viisid:



J. 263. Ühendus üks-teise-järele.

1. Üks-teise-järele ehk ridastikku (J. 263): ühe elemendi positiivne poolus ühendatakse järgmise negatiivse poolusega; n elemendi pinge vôrdub siis $n \cdot E$ ja sisemine takistus $n \cdot w$. Sellest saame:

$$\text{voolu tugevus } i = \frac{nE}{W + n \cdot w} = \frac{E}{W/n + w} \text{ (Am)}.$$

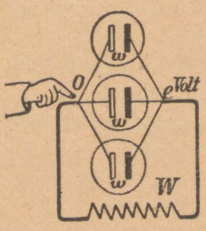
Sarnane ühendus nagu vähendab välistakistust W.

a) On W vôrreldes w-ga väga suur, siis on i ligikaudu $= n \cdot i_1$;

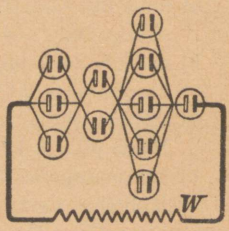
b) on aga W vôrreldes w-ga väike, siis on i umbes $= i_1$,

kui i_1 ühe elemendi voolu tugevus on.

2. Paralleelne (kôrvu) ühendus (J. 264): kôik positiivsed elementide poolused ühendatakse üheks pooluseks, niisama ka negatiivsed. Sarnane patarei môjub, kui üks lihtne element pingega E, aga n-korda suuremate platetega. Patarei sisemine takistus on ainult $1/n$ osa ühe elemendi takistusest w. Sellepärast



J. 264. Paralleelne ühendus.



J. 265. Sega-ühendus.

$$\text{voolu tugevus } i = \frac{E}{W + w/n} \text{ (Am)}.$$

Sarnane ühendus nagu vähendab sisemist takistust. (Tarvitatakse galvanoplastikas.)

a) On W vôrreldes w-ga väga suur, siis i = ligikaudu i_1;

b) on W vôrreldes w-ga väike, siis i = ligikaudu $n\, i_1$.

3. Segaühendused (J. 265). Näide: üks-teise-järele ühendatakse 4 salka elemente. Salkadeks on paralleelselt ühendatud: esimeses kolm, teises kaks, kolmandas viis ja neljandas üks element. Kui suur on voolu tugevus?

V. Ôieti on kôigest neli elementi; tähendab, elektromotoorne jôud vôrdub 4 E. Esimese salga sisemine takistus on $\frac{w}{3}$, teise $\frac{w}{2}$, kolmanda $\frac{w}{5}$, neljanda w. Sellepärast on voolu tugevus

$$i = \frac{4E}{\frac{w}{3} + \frac{w}{2} + \frac{w}{5} + w + W} \text{ (Am).}$$

Praktikas tarvitatakse ainult $m \cdot n$ elementide "täisnurgelist" ühendamist. Ühendus on kôige parem, s. o. vool on kôige tugevam, kui patarei sisemine takistus vôimalikult vôrdub välistakistusele.

Ülesanded.

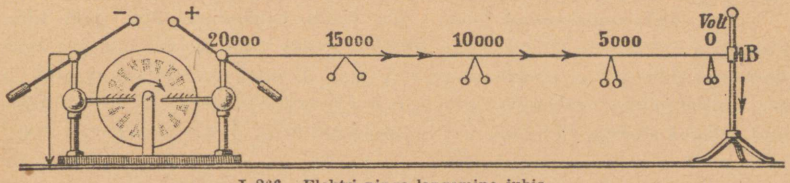
1. Ühendada kolm elementi igal vôimalikul viisil (e = 1,4 V., w = 0,03 Ω, W = 0,4 Ω).
2. Kolm üks-teise-järele ühendatud elementi annavad voolu tugevuse i. Keeratakse üks element ühendusviisis ümber, siis saadakse kôigest ⅓ endist voolu tugevust. Tôendus?

§ 67. Ohm'i seadus juhi osades.

1. Juhi osa AB otsades on olemas pingevahe (pinge langemine), sest § 39 järele vôib vool A-st B-sse ainult siis voolata, kui A-l suurem potentsiaal, kui B-l (J. 165).

Pinge langemist elektrijuhis näitab järgmine katse elektrimasinaga.

Katse: el. masina positiivne poolus ühendatakse 2 m pika villase lônga abil alusega, mis maaga ühenduses (J. 266). Lônga peale asetatakse rida



J. 266. Elektri pinge langemine juhis.

kaksikpendlid. Masinat pikkamisi keerutades, näeme, et a) pendlite kerakesed laiali lähevad, b) nende vahenurga suurus kahaneb B poole. Tähendab, kahe punkti vahel on pingevahe e olemas.

Peakatse: 2 m pikkune konstantaantraat ühendatakse nii, nagu (J. 267) näidatud, patarei poolustega, mille pingevahe 8 V. Kaks missugust tahes traadi punkti A ja B ühendatakse kvadrant galvanomeetriga (J. 195). Mis sünnib, kui A paigal püsib ja B liigub?

2. Ohm'i seadus maksab iga juhi osa AB kohta. On e pingevahe A ja B vahel, w osa AB takistus, siis on osas AB voolu tugevus $i = e/w$.

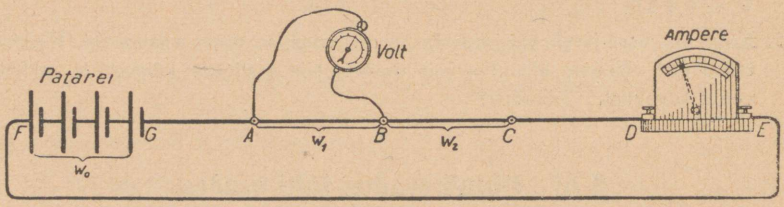
Seda valemit tarvitatakse harilikult pinge e leidmiseks, mis voolu AB-st läbi ajab; saame:

osa pinge $e = i \cdot w$ = takistus korrutatud voolu tugevusega

3. Pinge jaotus juhi osades.

a) Sisemise takistuse peale juba kulub pinget $e_0 = i \cdot w_0$ (pingekaotus).

b) **Juhi välisosade** w_1, w_2, w_3 (J. 267) pinged on $e_1 = i \cdot w_1$;



J. 267. Pingevahe mõõtmine punktide A ja B vahel.

$e_2 = i \cdot w_2$; $e_3 = i \cdot w_3$. On osasid rohkem, siis võrdub kõige välisjuhi pinge osa-pingede summale

$i(w_1 + w_2 + w_3 + \ldots) = E_p$ mida **klemmide pingeks** nim.

d) Patarei kogupinge $E = i(w_0 + w_1 + w_2 + w_3)$ (J. 267) mõjub sisemise ja välise juhi peale.

Osa elektromotoorsest jõust, mis voolu välisjuhist läbi ajab, nim. klemmide (pooluste) pingeks E_p; ülejääk, mida vaja voolu läbiajamiseks sisemisest juhist, nim. pingekaotuseks ($i \cdot w_0$). Elektri sisseseade korraldus on hea, kui sisemine pingekaotus väike, s. o. kui sisemine patarei takistus võrreldes juhi välistakistusega väike on. Sel juhusel võrdub E_p peaaegu elektromotoorsele jõule.

4. Voltmeeter. Voolu juhi $A\,B\,C$ punktide A ja B (J. 267) pingevahe e praktiliseks leidmiseks seatakse nende punktidega ühenduses olevasse kõrvaljuhti ampermeeter ühes **suure takistusega** W. On ampermeetri näitamine i Am, siis võrdub otsitav pingevahe $e = W \cdot i$.

Kui ampermeetri mõõdulaua peale märgitakse saadud korrutised $W \cdot i$ (mitte ampeeride arvud), siis nim. sarnane mõõduriist **voltmeetriks.**

Tähendab, voltmeeter on tõepoolest niisugune ampermeeter, mille väikesed ampeeride arvud aparaadis oleva suure takistusega korrutatud. Sellepärast on ka need mõlemad aparaadid ühtemoodi.

a) **Ampermeetrite** takistus peab võimalikult väike olema, sest et nad otsekohe vooluga ühendatakse.

b) **Voltmeetri** takistus peab aga väga suur olema, et kõrvaljuhisse punktide A ja B vahel õige vähe voolu eraldada.

Ülesanded.

1. Kui suur peab olema pinge, et 135 m pikast ja 5 mm paksust vasktraadist 15 Am voolu läbi ajada? (V. 1,75 V.)
2. Viie akkumulaatori (igaüks à 2 V. ja 0,2 Ω sisemise takistusega) vool läheb läbi poolist AB, takistusega 1 Ω, ja elektrolüütilisest vannist, takistusega 3 Ω. a) Kui suur on voolu tugevus? b) Kuidas jaguneb kogupinge 10 volti üksikutes osades? (V. $i = 2$ Am; $e_0 = 2$ V., $e_1 = 2$ V., $e_2 = 6$ V.)
3. 12 Bunsen'i elementi ühendatakse kahes reas, kuuekaupa paralleelselt. Iga elemendi elektromotoorne jõud on 1,82, sisemine elemendi takistus 0,11 Ω. Väline takistus on 6,4 Ω. Kui suur on voolu tugevus i ja kui suur on patarei klemmide pinge E_p? (V. $i = 1{,}623$ Am, $E_p = 10{,}39$ V.)

§ 68. Voolu harunemine.

1. Kirchhoff'i seadused. Haruneb vool punktide A ja B vahel, siis maksavad järgmised kaks seadust:

I. Peavool võrdub haruvoolude summale:

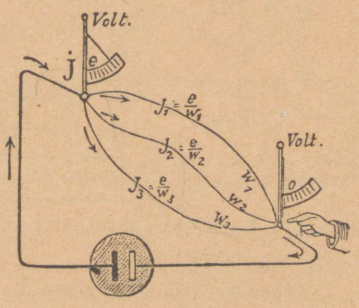
$$\boxed{I = i_1 + i_2 + i_3 + \ldots} \quad (I)$$

II. Iga haru pingevahe A ja B vahel on ühesugune. On pingevahe e ja takistused w_1, w_2, w_3 . . ., siis $i_1 = \frac{e}{w_1}$, $i_2 = \frac{e}{w_2}$, $i_3 = \frac{e}{w_3}$, jne., millest saame teise seaduse

$$\boxed{i_1 : i_2 : i_3 \ldots = \frac{1}{w_1} : \frac{1}{w_2} : \frac{1}{w_3} \ldots} \quad (II)$$

s. o. haruvoolude tugevused on vastuproportsionaalsed harude takistustele (J. 268).

I. Iga harunemiskohale on $\Sigma i = 0$ (Σ = summa). II. Kinnise aheliku jaoks on $\Sigma i \cdot w = \Sigma E$, kus E aheliku elektromotoorne jõud on.



J. 268. Voolu harunemine.

2. Harunemise **asetakistuse** W leiame võrrandist I, kui asetame $I = \frac{e}{W}$, $i_1 = \frac{e}{w_1}$ jne.; saame: $\frac{e}{W} = \frac{e}{w_1} + \frac{e}{w_2} + \frac{e}{w_3} + \ldots$, millest järgneb asetakistuse jaoks tähtis valem

$$\boxed{\frac{1}{W} = \frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2} + \frac{1}{w_3} + \ldots},$$

millest W välja arvatakse.

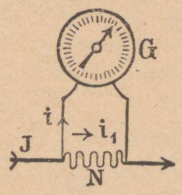
a) Harunemise takistus W on vähem, kui iga üksiku haru takistus, sest et iga uus haru juhi läbilôiget suurendab. (Mida rohkem ruumil uksi, seda kiiremini jôuab, näit., inimeste hulk ruumist välja.)

b) On n ühesuguse takistusega w juhti kahe aheliku punkti vahel paralleelselt ühendatud (näiteks, n ühesugust hôôglampi), siis vôrdub juhtide süsteemi takistus $W = w/n$. Näiteks, kahe allika punkti vahel paralleelselt ühendatud 5 söeniidiga hôôglampide (igaühe takistus 220 Ω) takistus on kôigest 220 Ω : 5 = 44 Ω.

3. Kôrvalharu (shunt) leiab mitmekesist tarvitamist, näiteks ampermeetri môôtmise ringkonna laiendamiseks (J. 269). Ühendatakse punktid, millega galvanomeeter G ühenduses, kôrvalharuga N ja vôrdub galvanomeetri takistus g-le ja kôrvalharu takistus $\frac{1}{9}$ g-le ($\frac{1}{9}g$, $\frac{1}{99}g$), siis on ampermeetri môôdulaua iga arv kümne (100-, 1000-) kordne. Need kôrvalharud ühendatakse peavooluga korkide, tihti ka väikeste kontakt-kangide, abil.

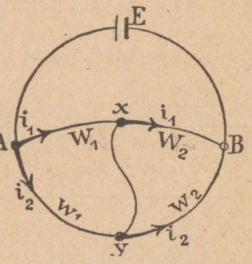
Tôendus. Kirchhoff'i seaduste põhjal $I = i_1 + i$ ja $i_1 : i = g : N$, millest saame: peavool $I = i + i \cdot \frac{g}{N} = \left(\frac{N+g}{N}\right) \cdot i$. Klambris olev arv nim. harunemise teguriks.

4. Wheatstone'i sillaks nim. ühendust $x\,y$ (J. 270) kahe haruneva voolu osa vahel. On sild $x\,y$ vooluta (galvanomeeter näitab), siis on harude nelja osa takistuste vahel proportsioon



J. 269. Môôtmise piirkonna laiendamine.

$$\boxed{w_1 : w_2 = W_1 : W_2}$$



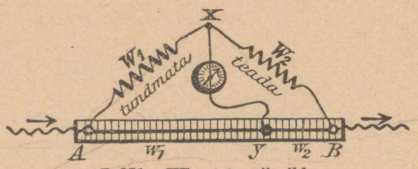
J. 270. Wheatstone'i sild xy.

s. o. ühe haru osa takistused on niisamasuguses vahekorras, kui teise haru osa takistused.

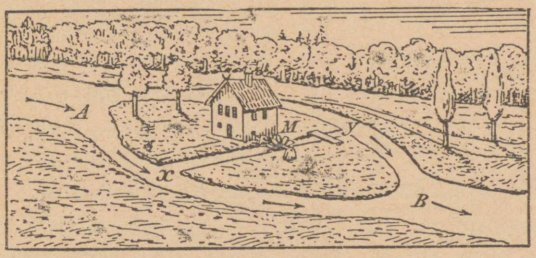
Tôendus. Kui sillas voolu ei ole, siis see tähendab, et x ja y pinge ühesugune on. Sellepärast on A ja x, ning A ja y vahel ühesuurune pingevahe

e_1. On i_1 ja i_2 voolu tugevused harudes, siis saame $e_1 = i_1 W_1 = i_2 w_1$. Sarnaselt saame ka punktide B, x ja y vahel $e_2 = i_1 W_2 = i_2 w_2$. Jagades saadud võrrandid, leiame $W_1 : W_2 = w_1 : w_2$.

Wheatstone'i silda tarvitatakse **takistuse mõõtmiseks,** mida joonisel 271 antud kujul korraldatakse. Liikuvat kontakti y seatakse neusilberist traati AB mööda nii kaua, kunni sillas xy olev galvanomeeter nulli näitab. Siis sillas voolu ei ole ja sellepärast on olemas proportsioon $W_1 : W_2 = w_1 : w_2$. On W_1 tundmata, W_2 tuntud (näiteks 1 Ω), siis võib saadud võrrandist W_1 välja arvata.



J. 271. Wheatstone'i sild.



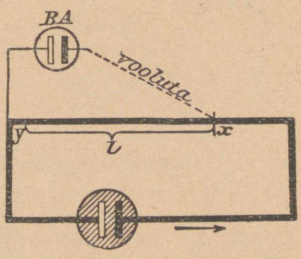
J. 272. Võrdlus kaanaliga xy.
(Kuidas tiirleb kaanalis veski ratas M?)

$w_1 : w_2$ asemele võib panna $l_1 : l_2$ (traadi pikkuste suhe), kui neusilberi traat igalpool ühejämedune.

Wheatstone'i silla võrdlus kaanaliga xy, mis jõe harusi ühendab (J. 272).

5. Vooluta kõrvalühendust tarvitatakse ka mitmesuguste Galvani-elementide elektromotoorse jõu võrdluseks (J. 273).

Seatakse, nagu J. 273 näidatud, element AB peavoolu (paksult joonistatud) kõrvalühendusesse, siis võib kontakti x nihutamisega leida oleku, milles kõrvalühendus vooluta. (Järelkatse galvanomeetriga.) Siis on B ja y vahel ühelt poolt ja A ning x vahel teiselt poolt ühesugune potentsiaal.



J. 273. Pinge xy = pingele AB.

Elemendi AB ja peavoolu osa yx elektromotoorsed jõud on siis võrdsed, tähendab, $E = w \cdot i$, kui w on x ja y vahel olev takistus ja i peavoolu tugevus.

Mõne teise elemendi jaoks saame selsamal viisil $E' = w' \cdot i$. (Peavoolu tugevus i ei muutu juurelisamistega vooluta kõrval-ühendusesse.) Saadud võrranditest leiame $E : E' = w : w'$ või $= l : l'$, kui l ja l' tähendavad ühetaolise mõõdutraadi pikkusi, mille peal kontakt x liigub.

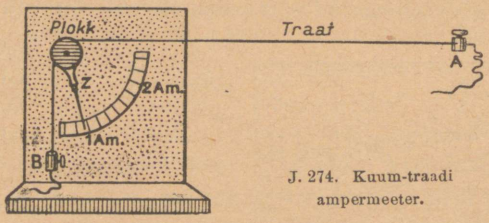
Ülesanne.

Voolu tugevuse mõõtmisel seati paralleelselt galvanomeetrile (mille pooli takistus $g = 400\ \Omega$) kõrvalühendus N takistusega 0,2 Ω. Galvanomeetri näitamine oli $i = 0{,}0064$ Am. Kui suur on peavoolu (harunemata) tugevus? (V. $I = 12{,}806$ Am.)

§ 69. Joule'i soojus. Watt.

1. Soojenduse järelkatsumine. Kann'i katse J. 274 näitab, et iga juht elektri läbivoolamisel soojeneb.

Umbes 1 m pikk lametta-niit (peenike metall-traat) seatakse näitajaga varustatud plokile. Vabalt rippuv klemm B hoiab niidi pingul. Elektri voolu mõjul, mida traadist läbi lastakse, pikeneb traat ja plokk keerub. Näitamine on 4 korda suurem, kui voolu tugevus kahekordne.

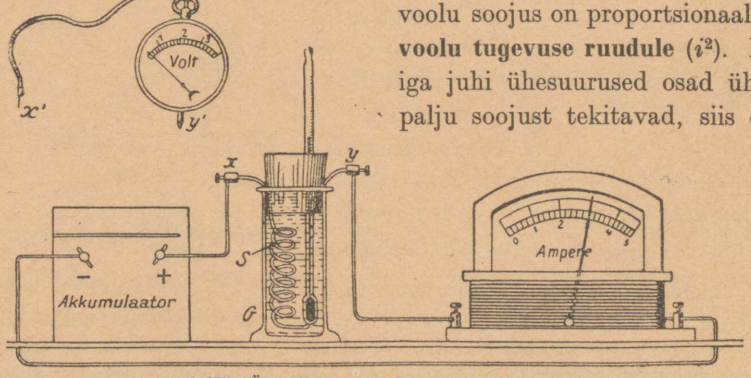


J. 274. Kuum-traadi ampermeeter.

El. vooluga sünnitatud soojust mõõtis esimeseks inglane Joule (1841), mispärast seda soojust ka **Joule'i soojuseks** kutsutakse.

2. Soojuse hulga mõõtmine. Iga traadi osa $x\,y$, millest elekter läbi voolab, mõjub kui väike **el. ahi.** Selle soojuse hulga leidmiseks pannakse spiraali keeratud voolu-juht vette, mille hulk kaalutud (J. 275).

Katse: esiteks lastakse traadist läbi (reostaadi abil) 1 Am voolu, kus juures vee temperatuur minutis, näit., 2^0 C võrra tõuseb. Siis lastakse 2 Am (3 Am . . .) ja saadakse, et temperatuur minutis $4 \cdot 2^0$ ($9 \cdot 2^0$, . . . jne.) tõuseb. Sellest järgneb väide: voolu soojus on proportsionaalne **voolu tugevuse ruudule** (i^2). Et iga juhi ühesuurused osad ühepalju soojust tekitavad, siis on



J. 275. Ühe Watt'i soojuslise väärtuse leidmine.

voolu soojus ühesuurusel voolu tugevusel proportsionaalne **takistusele** w. Sel põhjal on Joule'i valem voolu soojuse Q jaoks t sekundis järgmine:

$$Q = C \cdot i^2 \cdot w \cdot t \text{ kal.}$$

milles C kindel arv, mille suurus eelpool määratakse.

On x ja y vahel (J. 275) leitud pingevahe e V., siis võib Ohm'i seaduse põhjal ($i \cdot W = e$) antud valemit ka nii kirjutada:

$$\boxed{\text{Voolu soojus } Q = C \cdot E \cdot i \cdot t \text{ (kal.)}}$$

Joule näitas, et $C = 0{,}24$. — Tähendab, Joule'i järele leitakse sekundis tekkiva soojusehulga suurus, kui voltide arvu ampeeride arvuga korrutada ja iga **volt-ampeeri** ehk n. n. **Watt'i** jaoks 0,24 väikest kaloori võtta.

Seda, mida soojuseks võib muuta, nim. energiaks. **Volt'ide arvu korrutis Ampère'ide arvuga annab Watt'ide arvu ja ühes sellega elektri võimsuse** (= sekundis ärakulutatud energia). Sellepärast on

$$\boxed{\text{1 Watt} = 0{,}24 \text{ kal/sek}}$$

1 Watt'ile vastava soojuse väärtuse leiame J. 275 kujutatud katse korraldamisel.

a) Mõõdetakse voolu tugevus ampermeetris (i = 1,2 Am); leitakse voltmeetriga kohtade x ja y pingevahe (e = 3 Volt'i); äratarvitatud el. energia = 1,2 Am × 3 Volt'i = 3,6 Watt'i; 10 minutis, mis 600 sek, on kulu 600 × 3,6 = 2160 Watt'i.

b) **Saadud soojuse hulk.** Soojeneb 80 g vett 6,5° C võrra, siis omas vesi 80 · 6,5 = 520 väikest kaloori.

d) Lõpuks leiame **1 Watt** $= \frac{520 \text{ kal.}}{2160} =$ **0,24 kal** sekundis.

3. 1 Watt'i soojuse väärtusest 0,24 kal/sek, leidsid Weber ja Kohlrausch (1854) et,

$$\boxed{\text{1 Ampère} = 3000 \text{ miljoni el. hulga üksust sekundis.}}$$

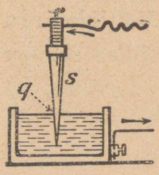
Ülesanded.

1. Elekter, tugevusega i = 56 Am, voolab vasktraadis, mille pikkus 212 m ja läbilõige 20 mm². Kui suur on traadis pingekaotus e ja energiakaotus v ja kui palju soojust tekib temas sekundis? (V. e = 9,9 Volt'i, energia tarvitamine v = 554 Watt'i, Q = 143 kal.)

2. Kui palju tekitab sekundis 12 Am tugev vool soojust raudtraadis, mille pikkus 12 m, läbimôôt 1,5 mm ja eritakistus 0,1 Ω? (V. 23,5 kal.)
3. Reostaadist, millel 36 konstantaanist keeru, iga keer 4 m pikk ja 2 mm² läbilôikes, läheb läbi 5 Am vool. Kui palju tekib sekundis soojust? (V. $Q = 216$ kal.)

§ 70. Elektri voolu soojuse tehniline tarvitamine.

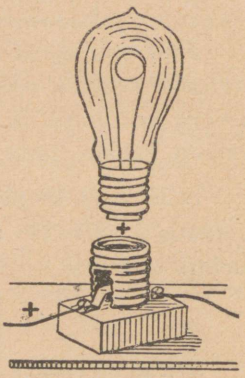
1. Ühes ja samas voolu ahelikus **soojenevad suurema takistusega *W* kohad rohkem,** kui kohad väiksema takistusega, mis ka valemist $Q = i^2 \cdot w \cdot t \cdot 0{,}24$ kal. järgneb. Katkestussäde (J. 276), mis tekib, näit., kontakti lahutamisel elavhôbedast (hôôgumise nähtus) on sellega seletatav.



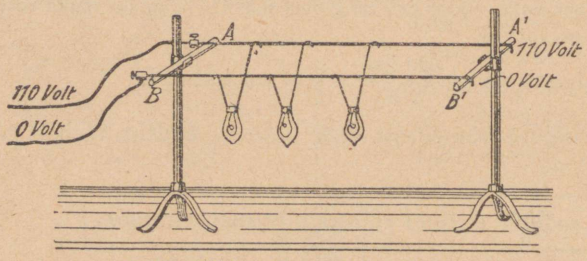
J. 276. Katkestussäde.

2. Tina-kaitsekorkides vôi tina-lamellides sulab tina, kui voolu tugevus teatud piirist üle läheb.

Katse: ühendatakse akkumulaatoriga 50 cm pikk lametta-niit, siis sähvatab see korra voolu ühendamisel ja sulab ära! Lühike ühendus! (Ettevaatust!)


J. 277. Hôôglamp pesaga.

3. Elektri hôôglampides on söest (vôi metallist) niit, mis elektri läbivoolamisel hôôguma hakkab; niit pannakse ôhust tühjendatud klaaspirni, et ärapôlemise eest kaitsta. Voolu juhitakse läbi klaasi plaatinast traadi tükikestega, sest et klaasi ja plaatina paisumiskoeffitsiendid ühesuurused. Hôôglambi leidis 1846 Göbel; Edison andis sellele 1879 a. tarvitatava kuju (J. 277).



J. 278. Hôôglampide paralleelne ühendus.

a) **Nôuetav pinge.** Hôôglambi niidi tulivalgeks kuumendamiseks on vaja teatud pinget, näit. 110 V. (55 akkumulaatori).

b) **Ühendus.** Voolu allikat, mille pinge 110 V., vôib terve rea hôôglampide jaoks tarvitada, kui lampe paralleelselt ühendatakse, nagu J. 278 näitab.

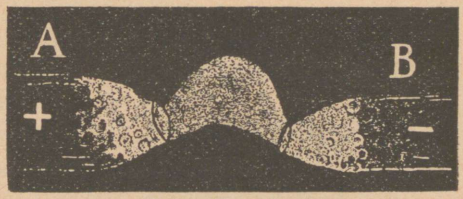
Katse: 110 V. pingega patarei poolused ühendatakse paljaste vasktraatidega *AA'* ja *BB'*, mille vahele seatakse ükskõik mis arv hôôglampe. Kôik lambid pôlevad korralikult. — Lastakse aga vool läbi lampide, mis üks teise järele ühendatud (näit. 2 lampi), siis lambid vaevalt hôôguvad.

d) **Tarvitamine eeltakistuseks.** Seatakse ahelikku kôrvu *n* pirni, millest iga üks ½ Am tarvitab, siis on peavoolu tugevus *n* korda 0,5 Am.

e) **Energia kulutamine.** ½ Am (16-küünlaline) söeniidiga pirn tarvitab 110 V. × ½ Am = 55 Watt'i, tähendab, iga küünla peale 55 : 16 ehk 3,44 Watt'i.

Metall-niitidega pirnid tarvitavad iga küünla peale ainult 0,5—1,1 Watt'i.

4. Kaartuli (J. 279). Kaartuli tekib kahe söe vahel, millest läbi voolab el. vool pingega vähemalt 40 V., kui neid kokku puudutakse ja siis vähe eemale (1—2 cm) tômmatakse (Davy kaarleek, 1808). Tekkiv leek seisab koos väga hôrendatud ioniseeritud tulisest ôhust ja juhib voolu sarnaselt hôrendatud gaasidele Geissler'i torudes.



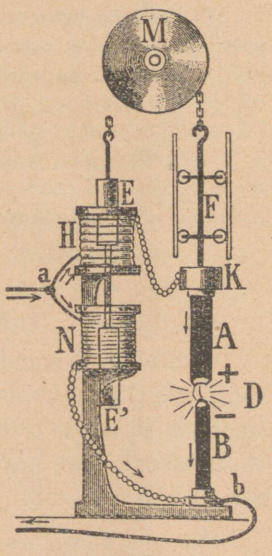
J. 279. Kaartuli.

a) Kaartule **kuumus** on umbes 3000° C, mispärast söe otsad, iseäranis positiivne, hiilgavaks tulivalgeks kuumenevad ja tugevat valgust annavad.

b) **Positiivne süsi pôleb** negatiivsest rutem ja temasse tekib kraateri kujuline auk. Sellepärast valitakse esimeseks paksem süsi. Süte parajat kaugust teine teisest reguleeritakse käte vôi iseseisva mehanismi abil.

Hefner-Alteneck'i **differentsiaal-lambis** (J. 280) ripub positiivne süsi *A* keti otsas, mis kinnitatud üle ploki *M* kahe teine teisega ühenduses oleva rauast silindriga *E* ja *E'*. Môlemad raudsilindrid ulatavad vastavatesse poolidesse *H* ja *N*. Raskus *K* hoiab pealmist sütt alumisega ühenduses (*F* on ôige sihi andmiseks söele *A*).

Punkti *a* juhitud vool hargub. (Voolu harunemine *a* ja *b* vahel.) Suurem osa läheb läbi peapooli *H*, millel môned paksud traatkeerud; sellepärast



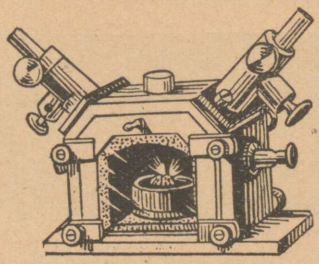
J. 280.
Differentsiaal-lamp.

tômbab pool H raudsilindri E endasse, ülemist sütt alumiselt vähe tôstes (tekib kaartuli). Mida suuremaks muutub vahe süte vahel, seda rohkem läheb läbi voolu kôrvalühendusest N, sest et takistus süte vahel punktis D suureks kasvab. Pool N tômbab omakord silindrit E' ja see on viimaks tômbega H ja E vahel tasakaalus, kuna süte vahel tarviline ulatus püsib.

d) **Eeltakistus.** Kaartulega lamp vajab ümmarguselt 40 V. Ühendatakse lamp vooluvôrguga, mille pinge 110 V., siis vaja vôrgu voolu eeltakistusega ühendada, mis pingevahe, s. o. $e = (110 - 40)$ V. oma kanda vôtaks.

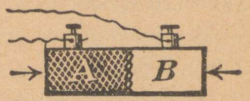
Näide. Peab lambist ja reostaadist 10 Am voolu läbi voolama, siis on $i = 10$ Am, $e = 70$ V. Valemi $i = e/W$ põhjal leiame, et W peab $= 7\ \Omega$.

e) **Energia kulutamine.** Kaartule valgustus on kunni 4000 küünalt tugev, millejuures 1 küünal umbes ⅓ Watt'i tarvitab.



J. 281. El. sulatamise ahi.

5. Elektri voolu soojuslist tegevust tarvitatakse kütmiseks, sulatamiseks, miinide süütamiseks jne.



J. 282. El. kokkusulatamine.

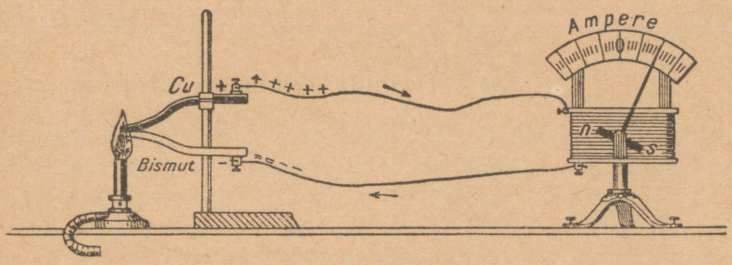
a) **Elektri sulatamisahjud** tarvitavad kaartule kuumust. Neis sulab isegi plaatina. Ehitus on näha J. 281. b) Elektri soojendajates tarvitatakse voolujuhtideks vilgukivile tekitatud ôhukest plaatina kihti (paksus 0,00025 mm) vôi grafiitpulbri kihti, mis segatud saviga ja karborundiga (krüptolplatted). Viimased annavad kuumust kunni 2000° C. d) Tahetakse kaks metalltükki A ja B (J. 282) kokku sulatada, siis surutakse nad kokku ja juhitakse neist tugev el. vool läbi (1000—2000 Am). Varsti hakkavad kokkupuutumise kohad hôôguma ja metall-tükid sulavad ühte.

§ 71. Termoelekter.

1. Seadus. Vôimalik on ka soojuse môjul elektrit saada. Seebeck leidis (1821): kui kahe isesuguse metalli kokkupuutuvaid otse kuumendada ja nende teisi otsi läbi galvanomeetri ühendada, siis tekib ühenduses el. vool, kus juures üks metallidest positiivselt, teine negatiivselt elektriseerub.

Sarnane ehitus avaldab môju kui Galvani-element, mispärast teda **termoelemendiks** nim. Saavutatud vool nim. **termovooluks**

(J. 283). Tarvitatakse termoelemendis vaske ja bismuti, siis on vask +, bismut — elekter. On puutumise koht soojem, kui vabad otsad, siis tekib vool ühes sihis, kui külmem, siis aga vastupidises sihis.

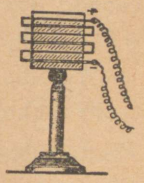


J. 283. Termovool.

2. Termoelektriline-rida. Metalle võib nii ritta seada, et kõrvu seisvate metallide kuumendamisel eelmine ikka + termoelektri, järgmine aga — termoelektri omab. Näiteks:

Antimoon	*Raud*	*Tsink*	*Vask*	*Tina*	*Neusilber*	*Bismut*
0	5	18,7	18,8	22,5	34,2	112

Termoelektri elemendi n. n. termoelektrilise jõu leidmiseks vaja leida tabelis antud vastavate arvude vahe, mis selle jõu suuruse Volt'i miljondikkulistes osades annab, s. o. elemendi elektromotoorne jõud siis, kui kokkujoodetud koha ja vaba otste temperatuuride vahe 1° võrra lahku läheb.



J. 284. Termosammas.

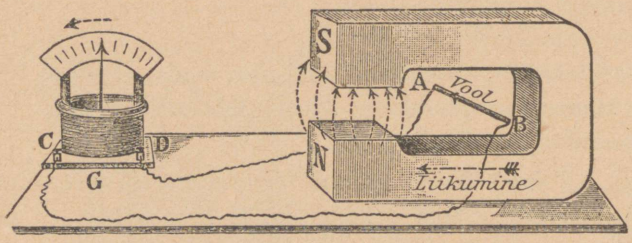
3. Termoelektri sambad (J. 284). Tugevama termoelemendi saamiseks ühendatakse üks teise järele suur hulk üksikuid termoelemente, mil viisil n. n. termosambad ehk-tulbad saadakse.

4. Vastupidine nähtus. Juhitakse isesuguse metallide jootekohast elektri vool läbi, siis **jahendab** vool jootkohta, kui ta sellessamas sihis voolab, kui termovool, mis selles joot-kohas soojendusel tekib (ja ümberpöördud). Seda nähtust nim. Peltier-effektiks (1834).

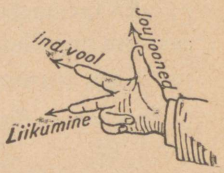
Induktsioon

§ 72. Induktsioon.

1. Faraday leidis (1831): liigub traat AB magneti väljas nii, et ta välja jõujooni lõikab, siis tekib temas elekter, kus juures vaba + elekter ühele poole (näiteks A) ja vaba — elekter teisele poole (B)



J. 285. Induktsioon.



J. 286.

voolab. Traadi AB otstes tekib pingevahe ja liigutatav traaditükk AB mõjub, kui väike Galvani-element (J. 285).

Traadis AB tekkivat voolu nim. **induktsioon-vooluks.** Sarnase voolu tekkimise nähtust nim. induktsiooniks.

Liigub AB teisele poole, siis pöörab ka induktsioon-vool oma sihi.

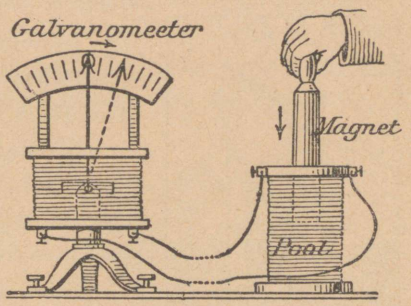
Järelkatsumiseks vaja hästi tundelist galvanomeetrit.

2. Töö tarvitamine. Juhitakse traadist AB elektrivoolu selles samas sihis, milles induktsioonvool tekkis, siis näeme, et traat selles-samas magneti väljas liigub vastupidi sihile, milles enne liikudes induktsioonvool tekkis. Sel põhjal on olemas **Lenz'i seadus:**

Induktsioon-vool tekib juhis siis, kui selle liikumise sihis tööd peab tegema.

3. Induktsioon-voolu sihi määramiseks on olemas parema käe seadus (J. 286). Parema käe pöial, näitaja ja keskmine sõrm seatakse ristjoones üks teisele. Näitab keskmine sõrm liikumise ja pöial jõujoonte sihti, siis näitab näitaja sõrm induktsioon-voolu sihti.

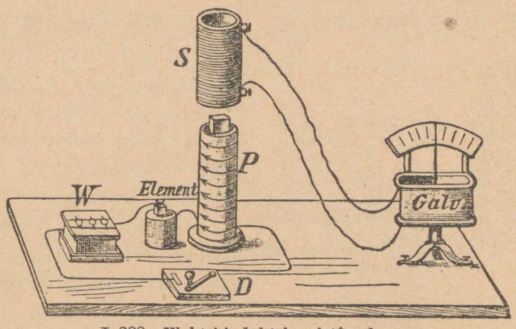
4. Induktsiooni nähtused. Induktsiooni näitamiseks hariliku galvanomeetriga (J. 287) tôugatakse magnet suure arvu traatkeerudega pooli, mis kaugemal oleva galvanomeetriga ühenduses.



J. 287. Magneti-induktsioon.

1. Sissetôugatava magneti jôujooned lôikavad pooli keere (galvanomeetri näitaja liigub ühele poole). Püsib magnet poolis paigal, siis langeb galvanomeetri näitaja nulli peale. Tômmatakse magnet välja, siis kaldub näitaja teisele poole.

II. **Elektromagnet** môjub paremini, kui magnet (*P*; J. 288). Selle juures vaja 2 pooli: a) primäär (alg-)-pool *P* paksu traadi keerudega ja rauast südamega, mida magneti välja tekitamiseks tarvitatakse. Selle välja omaduste muutmiseks ühendatakse ühte ahelikku voolu allik, reostaat ja voolu katkestaja; b) sekundäär (katte-)-pool *S* suure hulga ja sellepärast peene traadi keerudega, mida induktsiooni katsumiseks tarvitatakse ja sellepärast galvanomeetriga ühendatakse.



J. 288. Elektri-induktsiooni tôendus.

Induktsioon-vool tekib:

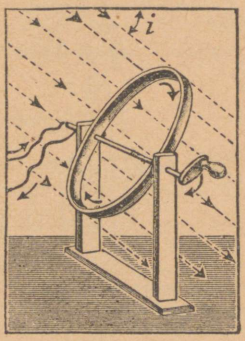
a) Magnetite vôi voolude **lähendamisel** ja **eemaldamisel,** nagu eespool.

b) Voolu **ühendamisel** ja **katkestamisel.** Pool *S* pannakse *P* peale (J. 288) ja ühendatakse järsku vool *D* abil. Kohe tekivad jôujooned ja lôikavad pooli *S* keere (näitaja liigub). Katkestatakse kiirelt, siis jôujooned lähevad tagasi ja jällegi lôikavad pooli *S* keere (näitaja liigub teisele poole).

d) Algvoolu **kôvendamisel** ja **nôrgestamisel.** (Näitamine reostaadi *W* abil.)

III. Vôetakse elektromagnetilt magnetkang ära, siis môjub **ainult primäär(alg-)-vool.** Tegevus on samasugune, kuid palju nôrgem (ka Faraday leidus). Sellepärast on olemas seadused:

a) **Lähendatakse, ühendatakse** või **kõvendatakse** primäär-voolu, siis ilmub sekundäär-juhis voolu tõuge **vastupidises sihis** primäär-voolule.



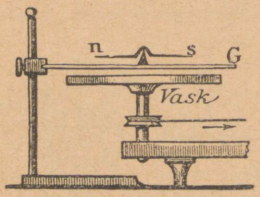
J. 289. Maa-induktor.

b) **Eemaldatakse, katkestatakse** või **nõrgestatakse** primäär-voolu, siis ilmub sekundäär-juhis voolu tõuge **primäär-voolu sihis.**

5. Maakera induktsiooniks nim. nähtust, kui vool tekib juhis, mis maakera magnet-välja jõujooni lõikab. (Induktsioon kaablites äikse ajal.)

Näide. Keerutatakse traat-rõngast (J. 289) horisontaal-teljel, mis idast lääne sihitud, siis lõikab ta maakera jõujooni ja annab voolu kord ühes, kord teises sihis.

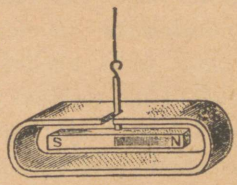
6. Foucault (Fukoo) **vooludeks** nim. induktsioon-voole, mis metall-massides tekivad, kui neid jõujooned lõikavad. Jõujooned saavad sel lõikumisel takistatud.



J. 290. Foucault voolud.

Arago katse (J. 290). Tiirleva vask-ketta kohal hakkab enne tiirlemist paigalolev magnet-nõel tiirlema ühes kettaga.

Kasutamine. Vasest kõikumiste sumbutajad galvanomeetrites (J. 291).



J. 291. Vase sumbutus.

Foucault voolude tagajärjel kuumenevad metall-massid tihti märksa. Faraday lasi vaskketast tiirelda tugeva magneti pooluste vahel; ketas kuumenes.

§ 73. Eneseinduktsioon.

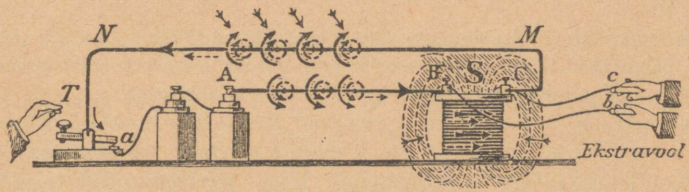
1. Põhjus. Iga voolujuht on jõujoontega piiratud. Hakkavad need mõnesugusel põhjusel (voolu katkestusel või kõvendusel) liikuma, siis lõikavad nad ka juhti, mille ümber tekkisid, ja sel põhjal tekib juhis eneses induktsioonvool. Nähtust nim. **eneseinduktsiooniks** ja tekkivat voolu **ekstravooluks.** Viimane tuleb peavoolule lisaks ühises või vastupidises sihis.

2. Katkestamise ja ühendamise ekstravool. Iseäranis tugev on nähtus voolu katkestamisel ja ühendamisel. Katkestamisel on ekstra-

vool peavooluga ühtepidi sihitud, ühendamisel aga vastupidi (tugevamaks saajale) peavoolule, mis selle tõttu nõrgeneb (Lenz'i seadus).

Ekstravool hoiab peavoolu kõikumiste eest (nagu hooratas aurumasinas).

3. Poolide tugev tegevus. Poolide eneseinduktsioon on suur (J. 292). Rauast tuum suurendab pooli jõujoonte arvu kunni 2000 korda, mispärast sarnased poolid suurt tegevust avaldavad.



J. 292. Eneseinduktsiooni tekkimine.

a) **Katse.** Katkestatakse J. 292 peavool, siis on tekkinud ekstravoolul võimalik ainult käepidemeist *b*, *c* läbi minna. Sedaviisi võib ennast elektriseerida.

b) **Elektriseerimine elektri-kellaga.** Ühendades ennast traatide kaudu el. kella (J. 226) klemmidega *A* ja *B*, siis lähevad kõrged ekstravoolud kõlisemisel kehast läbi ja sünnitavad liigete väristamise.

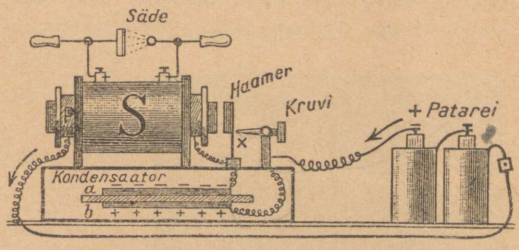
§ 74. Induktor.

1. Induktoril (Rühmkorff 1850) on kolm peaosa (J. 293):

a) poolide paar *P* ja *S* (primäär- ehk alg- ja sekundäär- ehk kattepool), millel tuumeks kimp raudtraate;

b) voolu katkestaja *x* patarei voolu jaoks;

d) paljudel ka kondensaator, mille platted katkestamise kohaga ühenduses.



J. 293. Induktor.

Käik. Nii tihti, kui voolu punktis *x* katkestatakse või ühendatakse, ilmuvad või kaovad rauast tuumes jõujooned, mis katte-pooli keere kord ühes, kord teises sihis lõikavad ja kiirelt sihivahetava induktsioon-voolu tekitavad. Vastava ehitusega induktoril võib tekkida nii suur elektromotoorne jõud, et elektroodide (katte-pooli otste) vahel säde tekib.

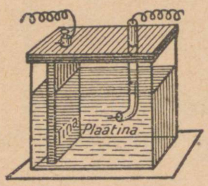
Puudus. Jõujooned lõikavad ka algpooli keere; sellepärast tekivad algpoolis voolu ühendamisel ja katkestamisel tugevad ekstravoolud, mis kiiret katkestamist punktis x takistavad: ühendamise ekstravool takistab sellepärast, et ta peavoolule vastu sihitud; katkestamise ekstravool aga tekitab punktis x sädeme (teeb õhu juhiks). Kahjuliku sädeme tekkimist kõrvaldatakse kondensaatori abil.

Kondensaatori lehed ühendatakse kontakti x puutumis-kohtadega (J. 293). Ta on paigutatud induktori alusesse ja seisab koos suurest hulgast stanniool-lehtedest, mis paraffineeritud paberiga üks teisest lahutatud.

Ekstravoolu + ja — elektrid voolavad kontakti katkestamisel kondensaatorisse ja seovad endid seal kunni lähema kondakti ühendamiseni.

Kondensaatoriga kindlustatud kiire katkestamise tagajärjel (punktis x) on algpooli katkestamisel poolis S tekkiva induktsioon-voolu elektromotoorne jõud märksa suurem, kui ühendamisel tekkival voolul.

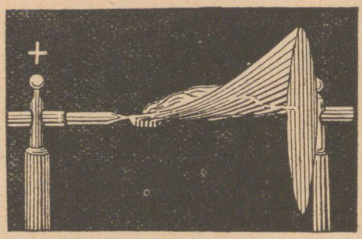
Punktis x tekkivad sädemed on kondensaatori tühjendamis-sädemed voolu ühendamisel, mis seda ühendamist segavad. Et poolis ainult katkestamise induktsioon-voolu elektromotoorne jõud tugev on, siis näitab pidevalt üks elektrood +, teine — elektri laengut. (Järelkatsumine elektroskoobiga.) Induktor, tähendab, täidab mõju-elektri masina aset.



J. 294. Voolukatkestaja.

2. Kondensaatori ei ole vaja, kui elektrolüütilist Wehnelt'i katkestajat tarvitatakse (J. 294).

See on vee lahutamise riist, milles katoodiks tinaplate ja anoodiks plaatinast nõel. (Plaatina nõel ulatab välja klaastorust, milles voolujuht asub.) Selle tarvitamine nõuab oma suure takistuse tõttu 80—100. V pinget, sellepärast annab ta aga sekundis kunni 1800 katkestamist, kuna harilikud Wagner'i haamrid kõigest 3—40 annavad.



J. 295. Leek-kaar.

Käik. Läbivoolav elekter lahutab vee; plaatinast nõela katavad kiirelt gaasi vullikesed (katkestamine), mis aga kohe üles kerkivad (ühendamine).

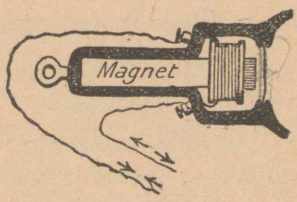
3. On vahetus-arv suur (vähemalt 110 sekundis), siis kujutavad sädemed elektroodide vahel leek-kaare, mille pilt J. 295. Jooniselt on näha, et + elekter palju kergemini oralt platte poole voolab, kui ümberpöördud.

4. Kondensaatori ei ole väikestes induktorites, mida elektriseerimiseks (faradiseerimiseks) tarvitatakse; neis kaetakse algpool liikuva valgest vasest kestaga, mille rohkema vôi vähema sissetôukamisega voolu tugevust muudetakse.

Põhjus. Vases ilmuvad Foucault voolud, mis jôujoonte liikuvust vähendavad (Lenz'i seadus).

§ 75. Telefon ja mikrofon.

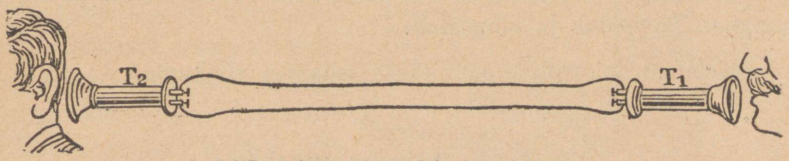
1. Telefon (J. 296; leidis Reis 1861 a., praktiliselt tarvitatavaks tegi Bell 1876 a.) seisab koos sirgest magnetist (pehmest rauast pooluse lisaga), mille ühele poolusele väike induktsioon-pool kinnitatud. Selle pooluse ette on seatud peale selle veel raudplekist plate. Kôik see ehitus on puust vôi eboniidist kestasse paigutatud.



J. 296. Telefon.

Bell näitas, et vôib telefoneerida kahe kuuldetoruga (telefoniga) ilma mingisuguse patarei tarvitamiseta. (J. 297.)

Käik. a) Räägitakse esimese telefoni raudplatte ees, siis hakkab see vônkuma: lähenedes poolusele tômbab plate selle jôujooni ene-



J. 297. Telefoneerimine 2 kuulde-telefoniga.

sesse; eemaldades saavad jôujooned jälle vabaks. Selle juures lôikavad jôujooned pooli keere, milles tekib **vahelduv** induktsioon-vool.

Kammertooni *a'* platte ees lauldes, vahetab vool oma sihi 435 korda. Miks?

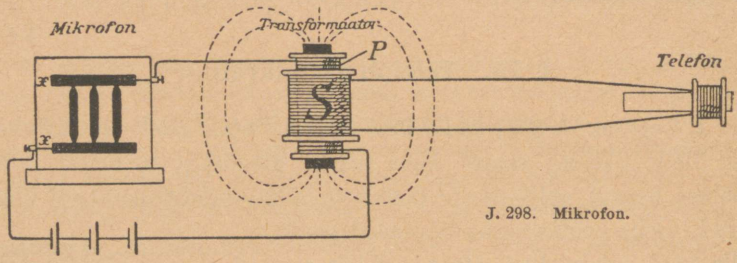
b) Nimetatud vahelduv vool **magnetiseerib** teise telefoni induktsioon-pooli kord ühes, kord teises sihis, mille tôttu teise telefoni magnet enese ees olevat raudplatet kord tugevamini, kord nôrgemini tômbab, platet sedaviisi vônkuma sundides (heliseb).

2. Mikrofon (J. 298). Praegusel ajal tarvitatavad telefonid on varustatud mikrofonidega (leidis 1878 a. Lüdtge, 1879 Hughes[juus]).

Ta seisab koos lauakesest, millele kaks söepakku x, x kinnitatud. Pakkude vahele on vabalt rida söepulgakesi seatud.

Uuemal ajal tarvitatakse ka karpi söeterakestega.

a) **Mikrofoni tegevuseks** on patarei (harilikult 6 V.) tarvis, mille ahelikku (nagu J. 298 näha) mikrofon ja transformaatori (poolide



J. 298. Mikrofon.

paar) algpool P seatakse. Algpooli peal olev teine pool S on kuulde-telefoniga ühenduses.

b) **Käik.** Räägitakse mikrofoni ees, siis hakkavad söepulgakesed vônkuma. Selle läbi muudetakse rütmiliselt x, x kontakti, mispärast kord rohkem, kord vähem voolu läbi läheb (pulseeriv alaline vool). Transformaatori jôujooned hakkavad liikuma, tungivad sekundäärpooli keerudest kord ühes, kord teises sihis läbi, ja tekitavad poolis S vahelduva voolu, mis juhete kaudu kuulde-toruni voolab ja selles magneti kôvendab ja nôrgestab.

Telefoni ankurplate sunnitakse sedaviisi vônkuma.

§ 76. Dünamomasin.

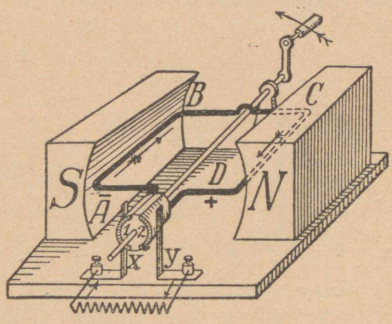
1. Dünamomasinat tarvitatakse tugeva voolu saamiseks suuremal môôdul. Tema ehitus pôhjeneb väitel, et traadi osas tekib vool nii pea, kui see magneti jôujooni lôikab. Selleks otstarbeks lastakse kohane traat-pool **(ankur)** tugeva magneti **(välja magneti)** pooluste vahel tiirelda. Voolu korjajateks on harjad, mis hôôruvad vastu väikest silindrit **(kollektor)**, millele on kinnitatud tiirleva ankru poolide traadiotsad, harilikult vask-lamellide kujul.

Ühe keeru $A\,B\,C\,D$ tiirlemine (J. 299). Keeru küljed $A\,B$ ja $C\,D$ lôikavad tiirlemisel jôujooni vastupidises sihis; neis tekkiv vool on vastupidi sihitud. Alaline (ühtepidi sihitud) vool kogutakse harjadega x ja y. Külgedes $B\,C$ ja $A\,D$ voolu ei teki, sest et nad jôujooni ei lôika.

Tähendab, dünamomasin on täiesti samati ehitatud, kui elektri mootor; ainult masina teljele on ümberajamiseks kinnitatud vänt vôi vôlv.

Ankru ümberajamine sünnib väikestes induktorites, mida telefonides kôlistamiseks tarvitatakse, käsitsi, suurtes elektri-valgustuse jaamades aurumasinatega vôi, kus vee jôud olemas, turbiinidega.

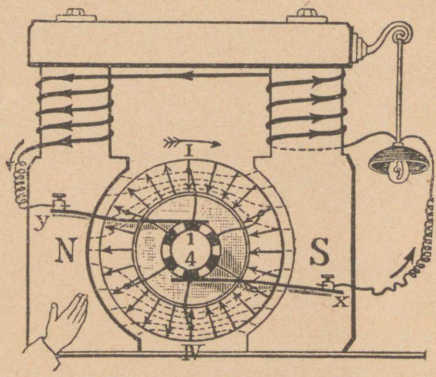
2. Gramme'i rôngaga dünamomasinas lôikavad jôujooned ainult rônga välisküljel olevaid keerude ääri, sest et raud-silinder siseruumist jôujooned kôrvaldab.



J. 299. Lamellide kollektor.

Käik. Tiirleval rôngal olevad keerud lôikavad jôujooni pooluse *N* ees ühes, pooluse S ees aga teises sihis. Rônga pooltes voolab elekter vastupidises sihis. Kohtamine sünnib punktis IV, millest harja *x* kaudu töötegemiseks juhitakse. Tagasivool sünnib punktis I.

3. W. Siemens'i **isetekitamise printsiip** (1867). Siemens'i järele ei tarvitse jôujooni tekitaja välja-magnet püsiv (permanent) olla, küllalt sellest, kui temas vähe (järeljäänud) magnetismi on. Esimesed ankru tiirlemised annavad sel juhusel nôrga induktsioon-voolu; juhitakse induktsioon-vool, nagu J. 300 näitab, üle välja-magneti *NS* harude, siis saab magnet ikka tugevamaks, mis omakord ankrus tekkiva induktsioon-voolu tugevust tôstab. Sarnane vastastikkune tugevamaks tegemine kestab senni, kunni elektromagnet oma suurema tugevuseni jôuab.

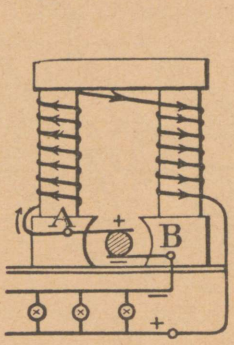


J. 300. Gramme'i dünamomasin.

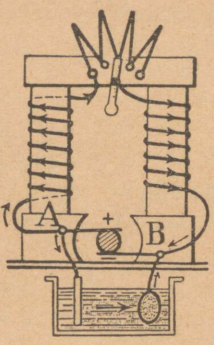
4. Dünamomasinate kujud. Selle järele, kuidas magneti ümber ankrus tekkiv vool juhitud, jagatakse dünamomasinad liikidesse:

a) **järkjärgulise tekitamisega** dünamo (J. 301), kui kôik ankru vool välja-magneti ümbert läbi käib; b) **paralleel**(kôrvu)**-tekitamisega**

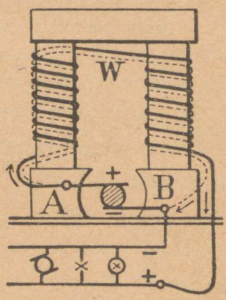
dünamo (J. 302), kui magneti poolid ankru vooluga harjade kaudu kôrvu ühendatud. Sarnased dünamod on iseäranis siis kasulikud, kui väline takistus muutlik; kôrvalühendusesse seatakse reostaat,



J. 301.



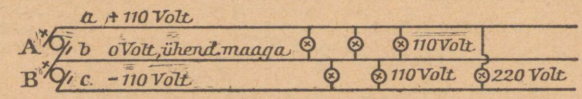
J. 302.



J. 303.

millega takistusi taandatakse; d) dünamo, kus järkjärguline ja paralleelne tekitamise viisid ühendatud, mille tôttu klemmide pinget vôib muutmata hoida (J. 303).

5. Ühendamine. Ühendus dünamomasinatega sünnib niisama, kui elektri elementidega. Tarvitatavam on kolmik-juhi ühendus (J. 304), milles kahe masina isenimeliste harjadega ühendatud



J. 304. Kolmik-juhi ühendus.

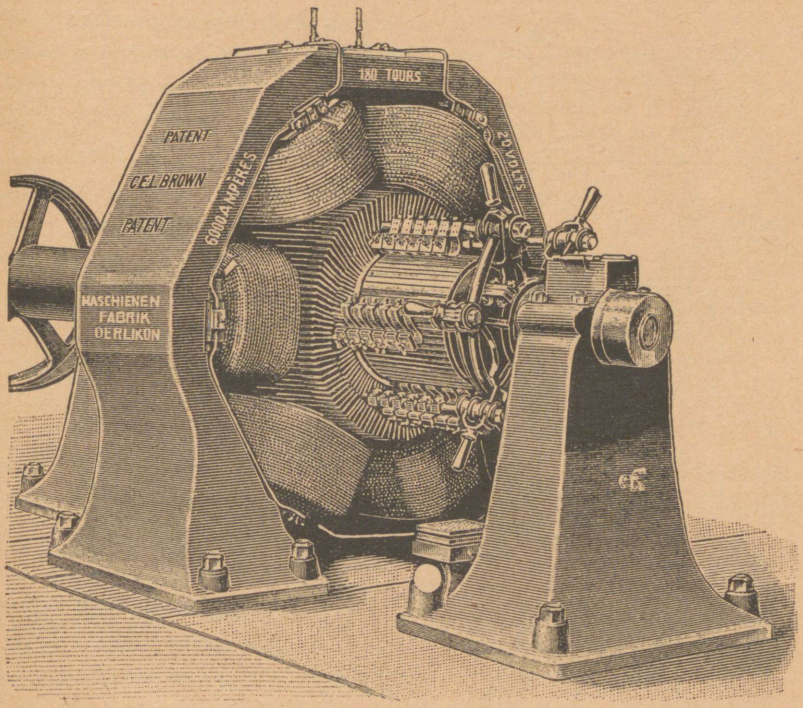
keskmine traat maasse juhitud. Tarvitatavas kohas on juht kolmes harus. Vôetakse voolu keskmisest, mis maaga ühendatud, ja ühest teisest juhist, siis on ühe masina pinge (näiteks 110 V.); vôetakse aga voolu kahest äärmisest, siis on pinge kahekordne.

Ülesanne.

Mitu hobu-jôudu on turbiinil, mis J. 305 vanema ehitusega dünamomasina käima paneb, kui hôôrumise kaotust 10% arvatakse? Vaja tähele panna arvusid, mis masinale märgitud. (V. Dünamo effekt $= e \cdot i = 20 \cdot 6000$ Watt $= 120000 : 736 =$ umbes 163 PS; turbiini effekt $= 163$ PS $+ {}^1/_9 \cdot 16{,}3$ PS $= 181{,}1$ PS). Et joonisel kujutatud dünamo vorm vanem, järeldame sellest, et magnet-alus vähe rauda sisaldab. (Edison 1890.)

§ 77. Vahelduva voolu dünamomasin.

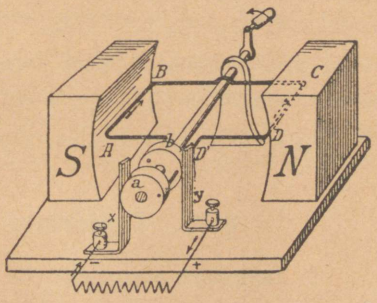
1. Tundemärk. Vahelduva vooluga dünamomasinat tunneb ära kohe sellest, et temas harjad kahte teine teisest isoleeritud rôngast hôôruvad (ühe lamellide kollektori asemel; J. 306).



J. 305. Vanema ehitusega dünamomasin.

Joonisel 307 on môlemad rôngad r_1 ja r_2 kontsentriliselt üks teise sisse joonistatud, et joonis selgem oleks.

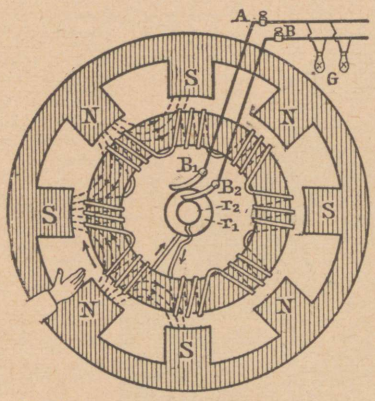
2. Käik. Tiirlemisel lôikavad pooli-traadid jôujooni pôhjapooluse ees ühes, lôunapooluse ees teises sihis ja sellepärast tekib traadis vool kord ühes, kord teises sihis, n. n. vahelduv vool.



J. 306. Vahelduva vooluga dünamomasin.

3. Suure vaheldumise arvu (frekvents) saame, kui magnet-alust varustame ühe paari pooluste

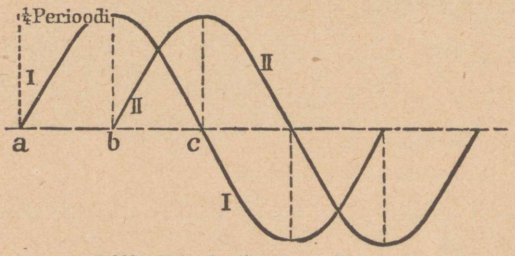
asemel mitme paariga (J. 307), mille magnetiline jõud iseseisvalt alalise-voolu allikaga tekitatakse. Sel juhusel kannab ankur vastava arvu traatpoole, mis tärnikujuliselt korraldatud. On pooluste arv n ja käib ankur sekundis n' korda ringi, siis vahetab vool sekundis sihti $n \cdot n'$ korda.



J. 307. Suure vaheldumise arvuga masin.

4. Aeg, milles vahelduv vool jälle oma kõrgema tugevuse kätte saab, nim. voolu **perioodiks.** Vahelduva voolu elektromotoorse jõu käiku kujutab J. 308 kõverjoon I.

5. Mitmekordne vahelduvvool. Masina (J. 307) ankru esimeste poolide vahele mähitakse samapalju samasuguseid poole, mis esimestest täiesti isoleeritud. Uue mähise otsad peavad eraldi kollektoril olema (mis ka kahest isoleeritud rõngast koos seisab). Sarnane masin annab korraga kaks ühesugust vahelduvat voolu. Voolu käigu pilt on samasugune, kui esimeselgi, ainult ¼ perioodi võrra edasi tõugatud (J. 308, II).



J. 308. Kahe faasilise voolu diagramm.

a) Sarnane kombinatsioon kahest vahelduvast voolust, kus ühe tugevus sel momendil kõige suurem on, kui teisel null, nim. **kahefaasiliseks vooluks.**

b) Kolmefaasiline vool seisab koos kolmest ühesugusest vahelduvast voolust, mis üks teise suhtes ⅓ perioodi võrra edasi on nihutatud.

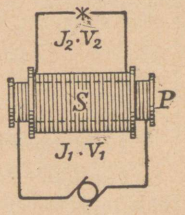
Sarnased voolude kombinatsioonid nim. pöörd-vooluks.

§ 78. Umformer ja töö edasiandmine.

1. Transformaatoriteks ehk **umformeriteks** nim. aparaate, mille kaudu suure pingega aga väikese tugevusega voole väikese pingega,

aga suure tugevusega vooludeks muudetakse, ehk ümberpöördud. On olemas a) alalise ja b) vahelduva voolu umformerid.

a) Alalise voolu transformaator on sisuliselt harilik Gramme'i mootor, mille ankur kaetud kahe mähisega (punasega ja rohelisega), mis ühenduses kahe isesuguse harjade paariga.



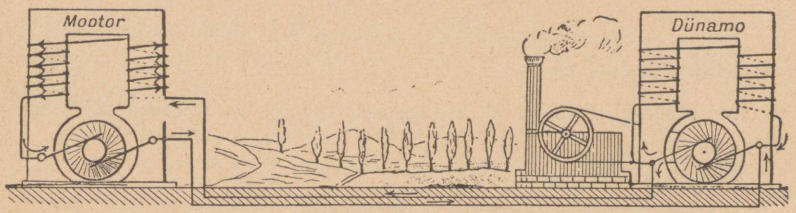
Dünamomasin.

J. 309. Transformaator.

Käik. Juhitakse vool, mida vaja muuta, läbi punase mähise, siis hakkab ankur tiirlema. Ühes sellega môjub masin rohelise mähise peale kui dünamomasin, s. o. selle mähise otsad annavad alalise voolu. — On rohelisi keere 10 korda punastest rohkem, siis lôikavad rohelised jôujooni 10 korda rohkem ja neis on elektromotoorne jôud 10 korda suurem vôrreldes punaste klemmide pingega.

b) Vahelduva voolu transformaatorid seisavad koos kahest üks teise sisse käivast poolist *P* ja *S* (J. 309).

Dünamomasinast pooli *P* juhitud vahelduv vool indutseerib vahelduva voolu poolis *S*. Môlemate kohta on teada, et nende töötegemise vôime ühe-



J. 310. Töö ülekandmine.

väärtusline, s. o.: $E_1 \cdot J_1$ (Watt) $= E_2 \cdot J_2$ (Watt). On teises poolis peente keerude arv suur, siis indutseerub vool kôrge pingega ja sellepärast väikese tugevusega.

Sarnased vôimalused on väga tähtsad elektri jôu kasutamises.

2. Töövôimaluse ülekandmine kauge maa peale. On vaja tugevat voolu kaugemale juhtida, siis peab juhtide kuumendamise ärahoidmiseks väga pakse traate (kange) tarvitama. Kauge maa peal läheb sarnane sisseseade palju maksma. Sellepärast transformeeritakse elektri jaamas vool vahelduvaks vooluks, millel kôrge pinge, selle vastu aga nôrk tugevus ja mille edasijuhtimiseks peened traadid kôlbavad. Sarnase juhi külge puutumine on aga elukardetav (J. 310).

Mehaanika I osa.
Kindlate kehade mehaanika

§ 79. Absoluutne môôdustik.

1. Mehaanika kirjeldab jôudude môju kehade peale.

Harilikult hakkavad kehad jôudude môjul liikuma. Vahest on keha peale môjuvad jôud tasakaalus, siis seisab keha paigal. Vahest jaguneb keha jôudude môjul osadeks.

2. Cm-gr-sek süsteem. Mehaanikas tuleb mitmesuguseid suurusi môôta, nagu liikuva keha massi, teed, aega, kiirust, jôudu jne. Môôtmistel on selgunud, et kôiki suurusi võib môôta kolme üksuse abil: cm kui pikkuse, gr kui massi ja sek kui aja üksusega.

Seda sentimeeter-gramm-sekund-süsteemi (C-G-S-süsteem) nim. **absoluut-môôdustikuks.**

Môôdustikuks tarvitatud massigrammi (gr) ei pea vahetama jôugrammiga (g).

§ 80. Ühtlane liikumine.

1. Keha liikumine seisab selles, et ta oma kohta teiste kehade suhtes muudab.

Viimased kehad arvatakse selle juures paigalseisvateks. On aga ka need liikvel, siis nim. keha liikumist suhteliseks (relatiivseks) ümbritsevate kehade suhtes. Päike nagu liigub taevas kaart mööda. (Oleme harjunud arvama, et maakera paigal seisab.)



J. 311. Raamatu kukkumine.

2. Lihtsam liikumine on ühtlane, milles keha võrdsetel aegadel võrdse tee ära käib. Kiiruse c môôduks on aja üksuses ärakäidud tee. Tähendab, kiiruse leiame, kui jagame kehaga ärakäidud tee s ajaga t, mis ärakäimiseks tarvitati:

$$\text{kiirus} = \frac{\text{tee}}{\text{aeg}} \quad \text{ehk} \quad c = \frac{s}{t}$$

Kiiruste tabel

Jalakäija	1,7 m/sek	Hääl	333 m/sek
Kiirsõidu hobune	12 m/sek	Maakera	30 km/sek
Kirja-tuvi	40 m/sek	Posti aurik	10 sõlme
Automobiil kunni	25 km/sek	(=10 merepenikoormat tunnis)	
Granaat	400 m/sek	[1 merepenikoorm = 1852 m]	
Maru	20–50 m/sek	Reisijate aurik	18 sõlme
Reisijaterong	7 m/sek	Kiir-aurik	23 sõlme
Kiirrong ümmarguselt	24 m/sek		

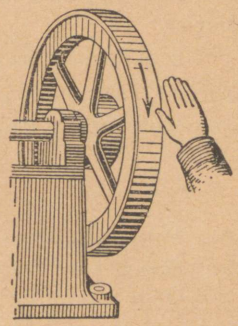
3. Tee valem. On keha kiirus c, siis jõuab ta sekundis c teeüksust edasi ja t sekundis, tähendab,

$$s = c \cdot t$$

4. Püsivuse seadus (inertsus). Newton (1670) seadis üles esimeseks liikumise põhiseaduseks järgmise väite: **Iga keha püsib paigal** ehk on **ühtlases sirgjoonelises** liikumises senni, kunni mõni jõud ei sunni teda oma olekut muutma. Seda seadust nim. püsivuse ehk inertsuse seaduseks.

I. Paigal olevad kehad püüavad paigal püsida, mida tõendavad järgmised näited:

a) Seisvas vankris istuja kaldub tahapoole, kui vankrit järsku edasi tõmmata (järelkatse laual raamatuga J. 311). Kinnitus-punkt hakkab liikuma, kuna pea paigal püsida püüab. — b) Laual (papil) olevat pliiatsit võib laua liikumisele vastupidi paremale ja pahemale poole veeretada. — d) On pudeli suule paks paber pandud ja selle peale just suu kohal paras raha asetatud, siis langeb raha pudelisse, kui paber kiirelt vahelt ära tõmmata.



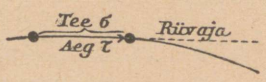
J. 312. Hooratas.

II. Liikuvad kehad püüavad liikumist jätkata.

Näited. a) Horisontaalsel hõõrumiseta pinnal peaks tõugatud keha ikka edasi liikuma ühtlaselt ja kahanemata kiirusega. — b) Hooratas (J. 312). — d) Rattasõitja teab, et jalgu võib pedaalidelt ära võtta, kui ratta liikumine hoos. — e) Raudteevaguni järsku seismajäämisel kalduvad kõik seesistujad ettepoole.

5. Jõud. Muudab keha liikumise sihti või kiirust, siis järeldame, et tema peale jõud mõjub. Tähendab, jõud on liikumise muudatuse põhjus.

6. Muutlik kiirus. Liigub keha oma liikumise teel mõnes kohas kiiremini, teises tasemini, siis ei ole liikumine ühtlane ja liikumise kiirus leitakse kas keskmiselt, või järgmisest vaatlusest: on väikese ajaga τ ärakäidud tee σ, siis on kiirus $c = \frac{\tau}{\sigma}$ (J. 313).



J. 313. Momendi kiirus.

Ülesanded.

1. Kui suur on kiirus a) ekvaatori punktil (ekv. pikkus = 40 miljoni m)? b) punktil, mis geogr. laiusel 52° 33′? d) aurikul, mis maa 3647 merepenikoormat Hamburi ja New-York'i vahel 6 päeva 13 tunni 31 min. ära sõidab? (V. 463 m/sek; 281,5 m/sek; 23,15 sõlme.)
2. Palju aega tarvitab kiirrong 120 km peale, kui tema kiirus 25 m/sek on? Palju aega tarvitab aurik 120 merepenikoorma edasi jõudmiseks, kui ta kiirus 23 sõlme? (V. 1 *t.* 20 m; 5 *t.* 13 m.)

§ 81. Kiirenev liikumine.

1. Liikumine nim. kiirenevaks, kui kiirus kasvab.

Näited: pliiatsi langemine kaldpinnal. — Raudteerongi liikuma hakkamine.

2. Kiiruse kasvamist 1 sekundis nim. **kiirenduseks** a. Muutub kiirus v_1 t sekundis v_2 peale, siis leitakse sekundi kiirendus a, kui kiiruse muutmist $(v_2 - v_1)$ ajaga t jagatakse:

$$\boxed{\text{kiirendus } a = \frac{v_2 - v_1}{t}}$$

Valemi tuletamisel on arvatud kiiruse kasvamine kindla suurusena, kuna see tõepoolest nii ei ole.

On a eitav suurus, siis liikumise kiirus kahaneb ja liikumist nim. **kahanevaks.**

3. Liikumine nim. ühtlaselt kiirenevaks (või kahanevaks), kui kiirus igas sekundis **kindla suuruse** a võrra kasvab (või kahaneb).

On keha kiirendus a teada, siis leiame ka tema lõpukiiruse v ja ärakäidud tee s t sekundi pärast.

a) **Lõpukiirus** v. Olgu algkiirus c. See kasvab igas sekundis $\pm a$ võrra, s. o. t sek. pärast kasvab ta $c \pm a \pm a \pm a \ldots \pm a$, millest järgneb valem:

$$\boxed{v = c \pm at}$$

Märkus: märk — on kahaneva liikumise jaoks.

b) **Tee *s*.** Kehaga t sek. ära käidud tee võrdub teele, mille ära käib t sek. ühtlaselt liikuv keha, mille kiirus keskmiselt $\frac{v+c}{2}$ võrdub.

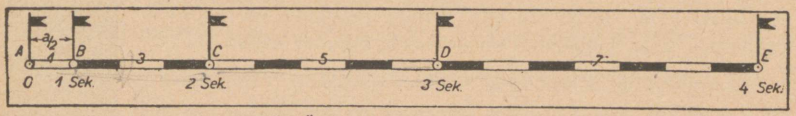
Selle keha tee võrdub $s = \left(\frac{v+c}{2}\right) \cdot t$, ehk asetades v väärtuse, saame

$$s = \frac{c+c+at}{2} \cdot t, \quad \text{ehk} \quad \boxed{s = c \cdot t + \frac{a}{2} \cdot t^2}$$

4. Võrdub algkiirus *c* nullile, siis maksavad järgmised valemid:

$$\boxed{v = a \cdot t}, \qquad \boxed{s = \frac{a}{2} \cdot t^2}$$

$t = 1, 2, 3, 4 \ldots$ sekundi pärast on lõpukiirused $v = a, 2a, 3a, 4a \ldots$ jne. ja tee $s = a/2 \cdot 1, a/2 \cdot 4, a/2 \cdot 9, a/2 \cdot 16, \ldots$ Joonisel 314 kujutatakse ärakäidud teid. Seda teede pilti lähemalt uurides, leitakse sarnase liikumise **neli tunnust:**



J. 314. Ühtlaselt kiirendatud liikumine.

a) 1, 2, 3, 4 ... sekundis ära käidud **koguteed** suhtuvad, kui üks teisele järgnevad ruut-arvud 1 : 4 : 9 : 16 : ...

b) Üks teisele järgnevates sekundites ärakäidud **tee osad** suhtuvad, kui üks teisele järgnevad paarita arvud 1 : 3 : 5 : 7 : 9 : ...

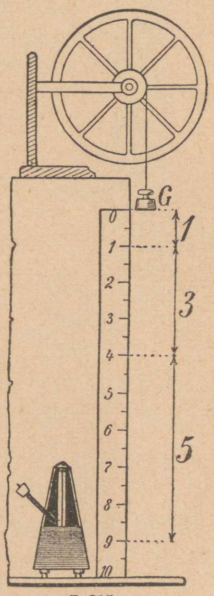
d) **Igas sekundis kasvab ärakäidud tee** osa a võrra.

e) **Esimeses sekundis ära käidud tee** võrdub $a/2$.

Valitakse aja üksuseks $\tau = 1/n$ sek, siis võrdub tee kasvamine sekundis $\Delta = a \cdot \tau^2 = a/n^2$.

5. Ühtlaselt kiirenevat liikumist näitab **katse hoorattaga** (J. 315).

Hooratta teljele on mähitud niit, mille otsa raskus M kinnitatud. Ratast lahti lastes langeb raskus M pikkamisi maha. Metronoom seatakse nõnda, et langev raskus 1 dm võrra langeb, kui 10 takti löödud. Siis on langemine 20 takti pärast 4 dm, 30 takti löögiga 9 dm jne. Langemise teede vahekord on 1 : 4 : 9.



J. 315.

6. Põhjus. Eelmine katse näitab, et ühtlaselt kiireneva liikumise põhjuseks on alaline jõud (massi M kaal), tähendab, **alaline jõud tekitab alalist kiirendust.**

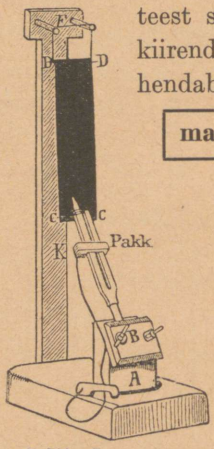
§ 82. Vaba langemine (kukkumine).

1. Liikumise viis. Keha langeb vabalt, kui teda vabalt (algkiiruseta) maapeale kukkuda lastakse. Liikumine peab olema ühtlaselt kiirenev, sest et langeva keha peale alaline (maapinna läheduses) raskuse jõud mõjub.

2. Langemise kiirenduse suuruse a) leidis **Galilei** kuulsaks saanud katsetega kallakile langenud Piisa tornist (1610).

Ta mõõtis kivi langemise tee 1, 2, 3 sek. pärast ja leidis väärtused 5 m, 20 m, 45 m. Nende vahekord on 1 : 4 : 9. Tähendab, vaba langemine on ühtlaselt kiirenev liikumine.

Langemise kiirendus, mida tähega g märgitakse, on arvuliselt kaks korda esimesel sekundil ärakäidud teest suurem, tähendab 10 m. Langemise kiirendust nim. maakera kiirenduseks; tähendab,



J. 316. Langemine.

maakera kiirendus g = umbes 10 m

b) Kiirendust g leitakse laboratooriumis tahmase platte abil, mida vônkuva häälehargi ees langeda lastakse (J. 316). Nôelaga varustatud häälehark kujutab laineid, mille pikkuste vahekord suhtub, kui 1 : 3 : 5 (J. 317).



J. 317.

On häälehargi vônkumise aeg $\tau = {}^1/_{50}$ sek ja esimeste 6 laine kogupikkus $s = 14{,}2$ cm, siis saame valemist $s = g/2 \cdot (6\,\tau)^2$ väärtuse g = umbes 980 cm.

d) Täpsem g väärtus leitakse pendli vônkumiste abil. § 109 järele maksab pendli kohta lihtne valem:

$$\text{vônkumise aeg } t = \pi \sqrt{\frac{\text{pendli pikkus}}{\text{maakera kiirendus } g}}.$$

Katse: lastakse vônkuda niit-pendel, mille pikkus $l = 99{,}4$ cm. Leitakse, et vônkumise aeg on 1 sekund. Asetades leitud arvud, saame $g = 981$ cm.

Pendli katsete abil leitakse, et maakera kiirendus igas kohas ühesuurune ei ole. Pariisis on ta 981 cm, ekvaatoril 978 cm, nabadel 983 cm.



J. 318. Langetoru.

3. Valemid. Vaba langemise kohta saime niimoodi kaks valemit:

I. $\boxed{v = gt}$ II. $\boxed{s = {}^1/_2 gt^2}$, $\boxed{g = 9{,}81\ \mathrm{m}}$

Need valemid on täpselt maksvad ôhuta ruumis, sest ainult ôhuta ruumis langevad kôik kehad ühesuguse kiirusega. Seda näidatakse toruga (J. 318), millest ôhk välja pumbatud ja kuhu udu sulg ja metall-rahatükk asetatud.

Langedes ôhus, tihendavad kehad oma ees ôhku, mis vastu rôhub ja liikumist takistab (ôhu takistus).

a) Valemitest I ja II saame, kui t ühest välja arvame ja teise asetame (elimineerime) ($v^2 = g^2 t^2 = 2gs$), et $v = \sqrt{2gh}$, kus h langemise kôrgust s tähendab.

b) Oletades, et kiirus iga langemise aja sekundis g vôrra kasvab, leiame, et $t = v/g = \sqrt{2h/g}$. Saame valemid:

$\boxed{\text{lôpukiirus } v = \sqrt{2gh}}$ $\boxed{\text{langemise aeg } t = \sqrt{2h/g}}$

§ 83. Otse alla-ja ülesvisatud keha liikumine.

1. Otse allavisatud kehal kasvab antud algkiirus c igas sekundis g vôrra. Selle pärast maksavad valemid:

I. $\boxed{v = c + gt}$ II. $\boxed{s = ct + {}^1/_2 gt^2}$

2. Otse ülesvisatud kehal kahaneb algkiirus c igas sekundis g vôrra. Selle pärast on sel juhusel valemid järgmised:

I. $\boxed{v = c - gt}$ II. $\boxed{s = ct - {}^1/_2 gt^2}$

Keha tôuseb nii kaua, kunni $v = o$. Sellepärast leiame I valemist, et tôusuaeg $T = c/g$. Asetades seda II valemisse, leiame tôusukôrguse $H = c^2/2g$.

Asetades valemites I ja II t asemele $t = 2T = 2c/g$, s. o. kahekordse tõusuaja, leiame, et

$$v = -c \qquad \text{ja} \qquad s = o,$$

s. o. keha kaugus lähtekohast on null ja keha lõpukiirus selles punktis võrdub algkiirusele vastupidises sihis. Sellepärast on olemas väide: a) **keha tarvitab ülestõusmisel niisama palju aega, kui allalangemisel ja omab allalangedes endise (alg-) kiiruse.**

b) Et lähtekohaks iga tee punkt võib olla, siis on veel teine väide: keha lõikab tõusmisel ja langemisel ühte ja sama horisontaali ühesuguse kiirusega.

Ülesanded.

1. Missuguse algkiirusega vaja rahatükk üles visata, et ta otse laeni ($h = 4$ m) tõuseks? (V. $c = 8{,}86$ m.)
2. Mitme sekundiga langeb kivi 100 m kõrgelt tornilt alla? (V. 4,5 sek.)
3. Maja kõrgus on 20 m. Missuguse kiirusega vaja kivi visata, et ta nii kõrgele tõuseks. (V. 19,8 m.)
4. Kivi langeb kaevandusse. Langemise mürts kuuldub 2 sek. pärast. Kui sügav on kaevandus? (V. $s = 18{,}67$ m.)

§ 84. Jõud ja kiirendus.

1. Jõu valem. Alaline jõud sunnib keha liikuma alalise kiirendusega, mispärast kiirenduse a kaudu leida võib mõjuva jõu suuruse. Selgub, et jõu suurus keha massist oleneb.

a) Jõud P on (ühesugustel kiirendustel) proportsionaalne **massile M.**

b) Jõud P on (ühesugustel massidel) proportsionaalne **kiirendusele a.**

Mõlemast seadusest, mida harilikult lange-masinal (vaata 4 punkt) järelkatsutakse, leitakse valem:

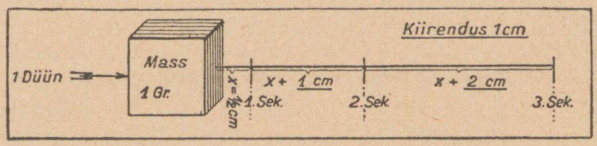
Jõud = mass korrutatud kiirendusega ehk $\boxed{P = M \cdot a}$

Näide. a) Tõukavad 10 töölist raudteevagunit, siis omab see suurema kiirenduse, võrreldes sellega, kui vagunit ainult 5 töölist tõukaksid. — b) Tahetakse raskele kehale niisamasugune kiirendus anda, kui kergele antud, siis peab vastavalt rohkem jõudu tarvitama, sest et rasket keha mitmeks kergeks kehaks võib lahutada.

2. Düüniks nim. jõudu, mis sunnib 1 gr massi liikuma kiirendusega 1 cm sekundis. Tee kasvamine sekundis võrdub 1 cm (J. 319).

Füüsikas mõõdetakse jõudu ainult düünides, aga mitte gramm-massi kaaluga, mis koha järele muutlik.

3. Gramm-massi kaalu maakera isesugustes kohtades leitakse valemist $P = M \cdot a$, kui $M = 1$, $a = g$. Saame: $P = g$ (düüni), s. o. massi 1 gr kaalub koha järele nii palju düüne, kui suur selles kohas maakera kiirendus sentimeetrites.



J. 319. Düüni tegevus loomulikus suuruses.

Tähendab, massi M (gr) kaal võrdub antud kohas maakera kiirenduse mõjul

$$\boxed{G = M \cdot g},$$

millest näha, et massi kaal muutlik.

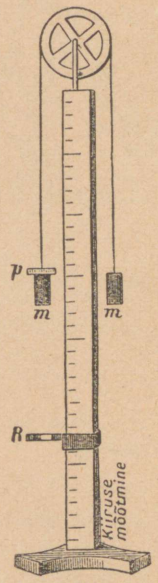
4. Kiirenduse seaduse järelkatsumiseks tarvitatakse lange-masinat (J. 320). Selle peaosaks on ratas, mis peaaegu hõõrumiseta tiirleb. Üle ratta käib niit, mille otsad massi tükkidega varustatud.

a) On massid võrdsed, siis püsivad nad paigal (või liiguvad tõukel ühtlaselt).

b) Pannakse ühele lisakaal p peale, siis tekib kiirenev kolme massi liikumine. Siis on tegevust avaldav jõud $P = p \cdot 981$ düüni, liikuv mass $M = (m + m + p)$ gr. Otsitav kiirendus

$$a = \frac{\text{jõud}}{\text{mass}} = \frac{p \cdot 981}{m + m + p} \text{ (cm/sek}^2\text{)}$$

On, näiteks, $m = 490$ g, $p = 2$ g, siis peab kiirendus 2 cm olema. Seda katsutakse langemise tee mõõtmisega ($s = \frac{1}{2} a t^2$) 1, 2, 3... sekundil.



J. 320. Langemasin.

Langemasin lubab ka **lõpu-kiirust järelkatsuda,** milleks liikuv rõngas R. Selle ülesandeks on lisakaalu p järsk äratõstmine, kui mass $(m + p)$ temast läbi läheb. Pärast seda liiguvad massid $m + m$ inertsuse mõjul, s. o. ühtlaselt lisakaalu äravõtmise momendil omatud kiirusega v. Kiirust v võib aluse astmikul järgmisel sekundil ära lugeda (kui tee!).

5. Tehniliseks massi-üksuseks on 9,81 kg mass. Eelpool olevate valemite põhjal omab see üksus 1 kg jõu mõjul kiirenduse 1 m sekundis. Valemid

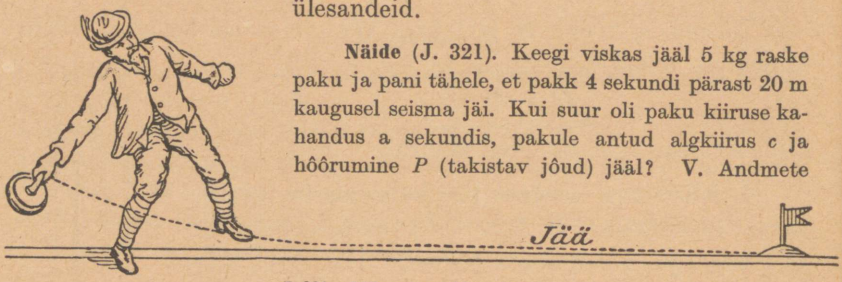
$$\boxed{P = M \cdot a} \text{ ja } \boxed{a = \frac{P}{M}}$$

kõlbavad samal kujul, kui jõudu kg, massi tehnilises massi-üksuses ja kiirendust m/sek mõõdetakse.

6. Liikumise valemid. Tähendab, vaba massi M peale mõjuva alalise jõu kohta on maksvad kolm valemit:

$$a = \frac{P}{M} \qquad v = c \pm at \qquad s = \frac{v + c}{2} \cdot t$$

Nendega võib lahendada kõiki sellele liikumisele kuuluvaid liikumise ülesandeid.



J. 321. Liikumine hõõrumisega.

Näide (J. 321). Keegi viskas jääl 5 kg raske paku ja pani tähele, et pakk 4 sekundi pärast 20 m kaugusel seisma jäi. Kui suur oli paku kiiruse kahandus a sekundis, pakule antud algkiirus c ja hõõrumine P (takistav jõud) jääl? V. Andmete põhjal on $s = 20$ m, $t = 4$ sek, $v = 0$ (pakk jäi lõpuks seisma), $M = \frac{5}{9{,}81}$ = ümmarguselt 0,5 tehnilist massi-üksust. Kolme antud valemi järgi saame:

$$\text{I. } a = \frac{P}{0{,}5}; \quad \text{II. } 0 = c - a \cdot 4; \quad \text{III. } 20 = \frac{c}{2} \cdot 4.$$

Neist järgneb: III-st $c = 10$ **m/sek**, II-st $a = 2{,}5$ **m/sek²**, I-st $P =$ 1,25 kg.

Ülesanded.

1. Missuguse kiirenduse omab 1 cm³ alumiiniumi ($s = 2{,}5$ g/cm³), kui tema peale jõud $P = 100$ düüni mõjub?
2. Vankri peale mõjub jõud 40 kg. Vankri mass 800 kgr ja hõõrumine on 4 % rõhumisest. Kui suur on kiirendus? (V. Mass = $^{800}/_{9{,}81}$ tehn. massi-üksust; liikumise jõud $P = 40 - 32 = 8$ [kg], tähendab, $a = P/M = 0{,}098$ m.)
3. Langemasinal ripuvad pahemal 201 g, paremal 399 g. Leida kiirendus ja ärakäidud tee 6 sekundi pärast?

§ 85. Liikumise energia ($^1/_2 Mv^2$).

1. Liikumise energiaks nim. liikuvate kehade võimet tööd teha, kui nad teiste kehadega kokku puutuvad. Töö tegemisel keha kiirus kahaneb. Langeb keha kiirus nullini, siis on tema liikumise energia ära tarvitatud.

Töö all mõistetakse (§ 8) mõjuva jõu P korrutist teega s, mille ulatusel jõud oma tegevust avaldab: $\underline{A = P \cdot s.}$

Seda tööd võib kolme liikumis-valemi põhjal välja arvata.

Peab keha (näiteks, kuul, mis seinast läbi läheb; J. 322) teel s alaliselt kasvavast jõust P üle saama, kus juures keha kiirus V-lt v peale langeb, siis saame 3 järgmist võrrandit:

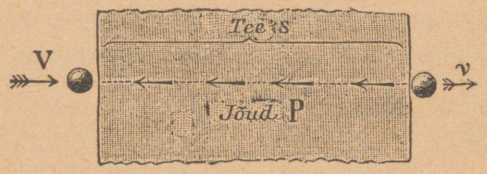
I $\boxed{P = M \cdot a}$ II $\boxed{v = V - at}$ III $\boxed{s = \left(\frac{V+v}{2}\right) \cdot t}$

Töö $P \cdot s$ leidmiseks asetame sellesse valemisse P väärtuse I-st ja s väärtuse III-st, saame $P \cdot s = M \cdot a \cdot \frac{1}{2}(V + v) \cdot t$. Asetame saadud valemis at väärtuse II-st: $at = V - v$, saame, et töö $P \cdot s = \frac{1}{2} M (V + v)(V - v)$ ehk

$$\boxed{P \cdot s = {}^1/_2 M V^2 - {}^1/_2 M v^2}$$

Kui $v = 0$, siis kujutab $\frac{1}{2} MV^2$ keha kogutöö võimet ehk liikumise energiat.

Liikumise energiat nim. ka hooks ehk kineetiliseks energiaks, ehk Leibnizi järele elavaks jõuks.



J. 322.

Saadud valemist järgneb: **liikumise energia kahanemine võrdub kehaga tehtud tööle.**

Näide. Õhust läbi lennanud 20 kg raske suurtüki kuuli kiirus väheneb 500 m-lt 400 m peale. Kui suure töö tegi kuul õhu takistuse võitmiseks? V. Kuuli mass = 20 : 9,81 = umbes 2 tehn. üksust.

a) Liikumise energia algul: $\frac{1}{2} M v^2 = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 500^2 = 250000$ (mkg).

b) Liikumise energia lõpul: $\frac{1}{2} M v^2 = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 400^2 = 160000$ (mkg).

Kahanemine = 90000 mkg, mis on otsitav töö. 160000 mkg tööd võib kuul veel teha.

2. Liikumise energia kasvamine. Tõukavad töölised raudteevagunit, siis hakkab vagun tööliste töö $P \cdot s$ mõjul kiiremini liikuma. Arutades endiselt saame väite: **liikumise energia kasvamine võrdub kehadel tehtud tööle.**

3. On jõud P muutlik, siis arvatakse, et väikestel tee ulatustel s_1, s_2, s_3 ... võib jõudusid P_1, P_2, P_3, ... muutmatuks pidada. Liikumise energia muutus moodustub üksikutest väikestest muudatustest. Nõnda saame, et $\frac{1}{2} M V^2 - \frac{1}{2} Mv^2 = P_1 \cdot s_1 + P_2 \cdot s_2 + P_3 \cdot s_3 + \ldots$ s. o. tehtud tööde summale.

Ülesanded.

1. Kui suur on liikumise energia:
   a) püssikuulil, mille mass 100 gr ja kiirus 1200 m/sek? (V. 72000 mkg.)
   b) raudteevagunil, mille kaal 4 tonni ja kiirus 5 m/sek? (V. Umbes 5096,8 mkg.)
2. Raudteerong, mille $M = 400$ tonni vähendab liikumist (tormase abil) 1 km (s) peal, kahandades kiirust 7 m 4 m peale sekundis. Kui suur oli hôôrumine R? (V. Kaotatud liikumise energia = 672783 mkg = $R \cdot s$; tähendab $R = ?$)
3. Kui suur töövôimsus on vee voolul, mille läbimôôt $q = 5$ m² ja kiirus 1 m/sek? (1 sek läheb läbi 5 m³ = 5000 kg vett kiirusega 1 m). (V. 3,4 PS.)
4. 75 kg raske mees vôttis jääl hoogu, mille kiirus oli 3 m/sek ja libises 20 m kaugusele. Kui suur oli äratarvitatud liikumise energia B ja hôôrumine R jääl? (V. $B = 34{,}4$ mkg = $R \cdot s$; $R = 1{,}72$ kg.)

§ 86. Energia alalhoidmine.

1. Energiaks nim. kehade vôimet tööd teha. Sarnane vôime on

a) **liikuvatel kehadel** nende liikumise energia $B = \frac{1}{2} M V^2$ puhul;

b) **pingulolevatel kehadel,** millesse töö tagavara kogutud. Nende kohta öeldakse, et neil on **oleku energia** (potentsiaalne energia).

Oleku energiaks on töö, mida vaja teha, et keha sellesse olekusse seada.

Surutakse tugev vedru kokku ja kinnitatakse selles olekus vedru otsad nööriga, siis on tükk tööd tehtud, mis kokkusurutud vedrusse tagavaraks pandud.

See töö vabaneb nii pea, kui takistus möödunud. Pingulolev vibu viskab noole kôrgele. Tagavara energiat nim. oleku-energiaks.

Näited. Kivi, mille kaal G kg, tôstmiseks h m kôrgusele vaja $G \cdot h$ mkg tööd teha. Sarnane töö on ülestôstetud kivis tagavaral. Lastakse kivi kukkuda, siis vôib ta sellega tööd teha. — Iga maja telliskivi paigalepanemise tööd arvestades, saame ülevaate majasse tagavaraks kogutud energiast, mis selle kokkuvarisemisel vabaneks.

2. Lihtne energia moondumine on näha massi M (kaal $G = Mg$) kukkumisel. Langeb keha h vôrra, siis kahaneb oleku energia $G \cdot h$ vôrra. Teisest küljest aga on keha liikumise energia kasvanud. Et $v = \sqrt{2gh}$, siis on liikumise energia:

$$B = \tfrac{1}{2} M v^2 = \tfrac{1}{2} M \cdot 2gh = (Mg) \cdot h = G \cdot h,$$

s. o. samaväärtusline, kui kaotatud oleku energia. Sellepärast on olemas väide: **oleku energia kahanemisele vastab samasuurune liikumise energia kasvamine.**

3. Energia alalhoidmise väide. Robert Mayer (1840) ja pärast teda Helmholtz ja Joule seadsid esimestena selgesti üles väite: **kui palju ühes energia kujus kaotatakse, nii palju teises energia kujus võidetakse.**

Sarnasteks energiateks peetakse kõige pealt soojust S (§ 17). Sarnased on ka hääle H, magnetismi M, elektri E, keemiline K ja valguse V energiad (Helmholtz 1847). Kui veel oleku energiat 0-ga ja liikumise energiat L-ga tähendame, siis on tõeline keha energia kõigi eelpool nimetatud energiate summa W:

$$W = O + L + S + H + M + E + K + V + ?,$$

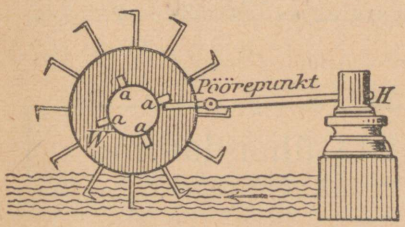
kus küsimuse märk veel tundmatuid energia vorme tähendab.

Kõik looduse nähtused on ainult energia kujude moondumised.

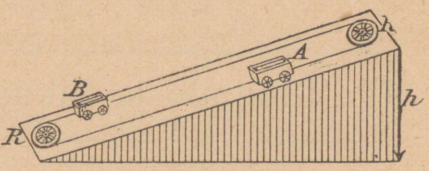
Vee voolamisel mägedest mereni kahaneb vee oleku energia ja kasvab tema liikumise energia. Jõe kohin ei ole muud, kui väikese osa vee langemisel vabanenud liikumise energia edasiandumine õhule. Paneb jõgi **vesirattaid** (turbiine) käima, siis moondub jõest hargunud energia elektriks, mida omakord valguseks (kaartuli), soojuseks (elektri sulatamis-ahjud), keemiliseks energiaks (vee lahutamine) muuta võib. Küsimusele, kust see energia alguse saab, on vastus: vee kõrgest olekust. Selle oleku tekitab aga soojuse energia, mida päike alalõpmata kiirgab. Soojus aurutab merest vett, tõstab selle auru kujul üles ja muudab ta oleku energiaks.

4. Olemas olevate energia allikate kasutamine.

a) **Vee langemise energiat** (allikal, jões, voolus, kosel) juhitakse vesirattaile ja turbiinidele, millega veskid, haamer-ehitused (J. 323), saeveskid,



J. 323. Lihtne haamer-ehitus.

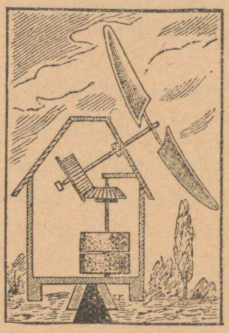


J. 324. Traat-raudtee.

dünamomasinad käima pannakse. — Ära seletada traat-raudtee (J. 324). Vaiksel mereveel ei ole mingisugust kasutoovat energiat, sest et igas tema osakeses miinimum oleku energiat peitub.

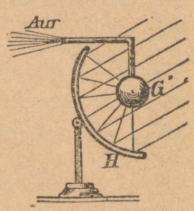
b) **Tuule energiat** kasutatakse tuuleveskil (J. 325). Liikumata õhumerel ei ole, nagu mereveelgi, kasutoovat energiat.

d) **Päikese kiirgamise energiat** võib kasutada aurumasinate käimapanemiseks ehk termoelektri saamiseks. (Suurte nõgus-peeglite abil koondatakse päikese kiired tulipunkti asetatud aurukatlale; J. 326.)



J. 325. Tuuleveski.

e) **Mõõna ja tõusu energiat** (R. Mayeri leitud) kasutatakse Ameerikas, viimasel ajal ka Euroopas. (Tõusu ajal juhitakse merevesi selleks ehitatud ruumi ja kasutatakse siis kui ülestõstetud vee oleku energiat.)



J. 326. Päikese kiirgamise kasutamine.

f) **Süte energia.** Eespool olevad energiad on meie käes kasutada peaaegu maksuta, süte energia läheb aga kalliks maksma. Peale selle on 800 a. pärast, Siemens'i arvamise järele, Euroopa sütetagavarad ära kasutatud. Siis jääks inimsoo kasutamiseks ainult a, b, d, e all olevad energiad.

Ülesanded.

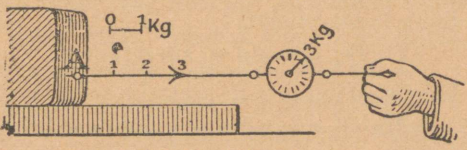
1. Sada telliskivi, mille kaal G ja kõrgus h, laotakse üks teise peale. Kui suur on samba oleku energia? [V. $L = G(h + 2h + \ldots + 99h) = 4950 \cdot G \cdot h$.]
2. Vihmahulk, mis $H = 1$ km kõrgusel olevast pilvest maapinnale $q = 10$ km^2 sadas, oli $h = 4$ mm suur. a) Kui suur oli pilve oleku energia? b) Suur on liikumise energia kaotus 1 gr kohta, kui vihma tilgad kõigest $u = 10$ m/sek kiirusega maha langevad? Kui suur on see kaotus terve pilve kohta? Kui suur on selle juures tekkinud soojus? (1 Kal. = 427 mkg). [V. a) 40000 mil. mkg. b) 0,995 mkg; 39800 mil. mkg; 93,42 mil. Kal.]
3. Kujutame R. Mayeri (1842) järele, et 1 m paks maakera kiht (erikaal $s = 2$) $h = 1000$ m võrra tõuseb. Missugune hulk Q tekib soojust, kui see kiht endisesse olekusse tagasi langeb? Palju tõuseb temperatuur t, kui soojus samasse sihti jääb? (Erisoojus $c = 0{,}2$, maakera raadius $R = 6370$ km.) (V. $t = 11{,}74^0$ C.)

Jõudude ja liikumiste ühendamine

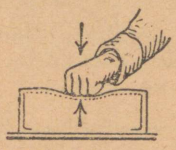
§ 87. Kahe jõu ühendamine.

1. Jõu kujutamine (J. 327). Jõul on kolm tundemärki: rakenduspunkt, siht ja suurus. Kujutatakse jõudu noolega, mida rakenduspunktist jõu sihis tõmmatakse ja mille pikkus jõudu jõu-üksuses mõõdab.

2. Kaks vastupidi sihitud kuid võrdset jõudu, mis ühte punkti rakendatud, on tasakaalus. (Tõendus sümmeetria printsiibi abil.)



J. 327. Jõu kujutamine.

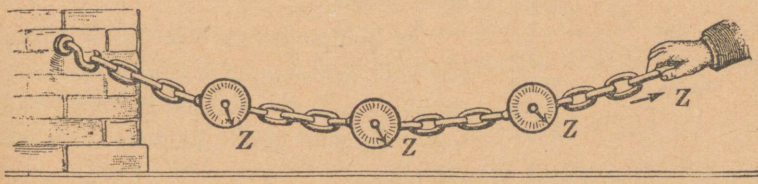


J. 328. Vastutegevus.

Kui jõud keha ei liiguta, siis peame oletama, et teda võrdne vastujõud tasakaalus hoiab (J. 328). Newton'i seaduse järele öeldakse lühidalt: paigal olevatel kehadel

tegevusele vastab võrdne vastutegevus

Näiteks. Kui pehmele toolile istuda, siis avaldab vedru vastutegevust raskusele. — Kas võib sõiduriistas olles aidata hobusele vedada? — Sel samal põhjal on keti (mille enese kaal arvesse ei võeta) pinge Z igas punktis ühesuurune ja nimelt, tõmme = vastutõmbele (J. 329).



J. 329. Pingevõrdus ketis.

3. Kaht jõudu x, y, mis ühes sihis mõjuvad, võib asetada ühe jõuga R (resultant). a) Mõjuvad x, y, n. n. komponendid, ühes sihis, siis on $R = x + y$.

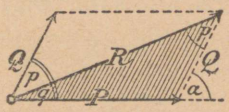
b) On nad aga vastupidi sihitud ja x suurem, kui y, siis $R = x - y$.

4. Rakenduspunkti edasikandmine. Jõu rakenduspunkti võib kehas jõu sihis vabalt edasi kanda.

Näiteks, vedurit võib rongis kas ette, taha ehk keskele paigutada.

5. Kahe jõu P ja Q resultant (keskjõud), kui jõud mõnesuguse nurga all ühte punkti on rakendatud, leitakse Stevin'i (1624) järele: jõudude peale ehitatakse n. n. jõudude parallelogramm, mille diagonaal sihi ja suuruse poolest ongi P ja Q resultant.

Koosinuslause põhjal leiame joontega kaetud kolmnurgast (J. 330):



J. 330. Resultant.

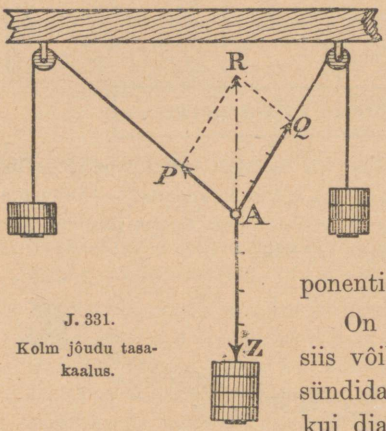
$$R = \sqrt{P^2 + Q^2 + 2PQ\cos\alpha}.$$

Siinuslause põhjal:

$$P : Q : R = \sin p : \sin q : \sin\alpha.$$

Esimesest leitakse R; asetades selle väärtuse teise võrrandisse, leiame resultandi nurgad p ja q komponentidega.

Katseline järelkatsumine sünnib J. 331 näidatud kujul. Kolm jõudu P, Q, R on punktis A tasakaalus; tähendab, P ja Q mõjuvad niisama, kui jõud R, mis jõuga Z vastupidi võrdne. Joonistades mitmel juhusel saadud jõu pikkused P, Q, $R = Z$, leitakse, et noolte otsad P, Q, R punktiga A parallelogrammi kujutavad.

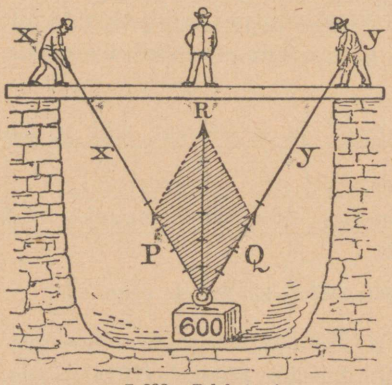


J. 331. Kolm jõudu tasakaalus.

6. Jõu R lahutamine. Resultandi asemele võib jälle kaks osajõudu P ja Q (komponenti) saada, mida nim. jõu lahutamine komponentideks.

On komponentide P ja Q sihid antud, siis võib lahutamine ainult ühes mõttes sündida, nimelt ehitatakse resultandi, kui diagonaali peale jõudude parallelogramm, mille küljed antud sihis.

Näide. Kaks töölist X ja Y peavad raskuse R = 600 kg üles tõstma (J. 332). Nurk nööride vahel kinnituspunktis on 60°. Kui suure jõuga peab iga tööline tõmbama? V.: üks tööline peaks selle raskuse ülestõstmiseks 600 kg jõudu tarvitama. Seda



J. 332. R lahutamine.

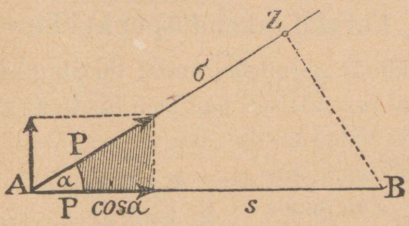


J. 333. R lahutamine.

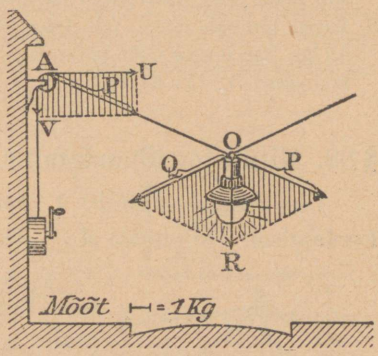
kujutatakse noolega R, mille pikkus 6. Tõmmates R otsast nööridele paralleel-jooned, saadakse jõudude parallelogramm. P ja Q mõõtmine an-

nab pikkuse 3,5; tähendab, iga tööline peab tõmbama jõuga 350 kg. (Suurem kui pool!)

7. Jõu töö, kui jõu siht keha liikumissihiga nurga sünnitab (J. 333). Mõjub jõud R keha peale mitte liikumise võimaluse sihis (nurga all), siis lahutatakse jõud kaheks teine teisega ristjoones olevaks komponendiks W ja D, millest tõmme W liikumise sihis



J. 334. Jõu P töö.



J. 335. Kaarlamp.

ja rõhumine D sellele ristjoones (normaalselt) on.

$$W = P \cdot \cos\alpha \qquad D = P \cdot \sin\alpha$$

Ainult komponent W mõjub liigutavalt ja teeb tööd. On tee s, siis võrdub tehtud töö

$$A = W \cdot s = P \cdot (s \cdot \cos\alpha) = P \cdot \sigma \text{ (J. 334)},$$

s. o. mõnesuguse nurga all mõjuva jõu töö leitakse, kui jõu peale ärakäidud teed projekteeritakse ja seda projektsiooni kui jõu liikumise teed vaadeldakse.

Tarvitamine viltu-sihis tehtud töös. Tõstetakse mõni raskus P ühest kõrgusest teise, mis h võrra kõrgemal, siis on tehtud töö $P \cdot h$, selle peale vaatamata, kas liikumine ristjoones, viltu ehk ükskõik missugust kõverat teed mööda sündis.

Ülesanded.

1. Joonistada järgmised jõudude parallelogrammid ja mõõta R, $\sphericalangle p$, $\sphericalangle q$:

$P = 5$ kg	5 kg	5 kg	5 kg	5 kg	8 kg	250 g
$Q = 3$ kg	3 kg	3 kg	3 kg	3 kg	4 kg	370 g
$\sphericalangle \alpha = 60^0$	90^0	120^0	150^0	180^0	90^0	60^0

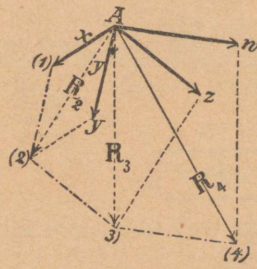
Miks R alati väiksem on kui P ja Q summa?

2. Ojasse on kinnitatud lootsik kahe nööri abil. Nöörid on teine teisel pool kaldal ja kujutavad vee sihiga igaüks $\sphericalangle 30^0$. Nööri asetatud dünamomeeter näitab mõlemalt poolt 50 kg. Kui suur on vee rõhumine lootsiku peale?

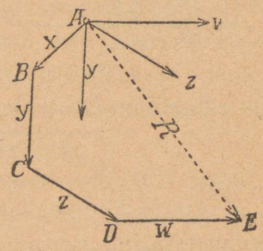
3. Kaartule lamp (J. 335), mis 10 kg raske, ripub kahe traadi otsas, mille vahel nurk 150°. Kui suur tõmme on traatidel?
4. Kolm meest tõmbavad rõnga külge kinnitatud köisi jõuga $P = 20$ kg, $Q = 30$ kg, $S = 40$ kg. Missuguseid nurki kujutavad nöörisihid silmapilgul, kui need jõud üks teisega tasakaalus.
5. Keegi tõmbab nööri, mis seinasse löödud naela külge kinnitatud, jõuga 45 kg, kus juures nöör põrandaga nurga 45° sünnitab. Kui suur on tõmbe komponent? (V. 34 kg.)

§ 88. Mitme jõu ühendamine, kui neil rakenduspunkt ühine.

Ühendamine sünnib: **1. Jõudude parallelogrammi tarvitamise kordamisel.** On punkti A (J. 336) rakendatud, näit. neli jõudu x, y, z, w, siis vähendatakse neid enne kolme peale, x ja y nende resultandiga R_2 asetades. — Ühendades R_2 ja z resultandiga R_3, saadakse kolme asemel kaks: R_3 ja W, mis omakord lõpuresultandi R_4 annavad.



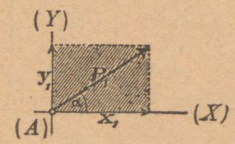
J. 336. Mitme jõu ühendamine.



J. 337.

2. Jõudude hulknurga abil (J. 337). Seatakse jõudude x, y, z, w, nooled ridastiku üks teise otsa, nende sihti muutmata jättes, ja ühendatakse lõpupunkt algus- (rakendus-) punktiga. Saadud hulknurka nim. jõudude hulknurgaks ja külg AE ongi otsitav resultant.

3. Lahutamise abil (J. 338). Iga jõud P lahutatakse ristjoones olevateks komponentideks y ja x, mis täisnurkse koordinaatide süsteemi telgedele X ja Y langevad (koordinaatide algus on rakenduspunktis). $x = P \cdot \cos \alpha$, $y = P \cdot \sin \alpha$.



J. 338. Lahutamine.

Siis ühendatakse kõik komponendid teljel X ja teljel Y ja saadud kahest jõust leitakse resultant ja tema siht α telje X suhtes:

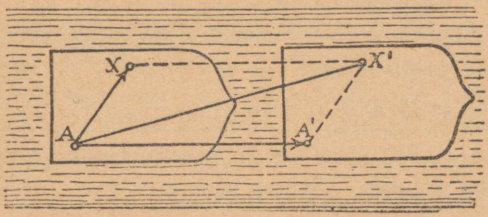
$$\boxed{R^2 = X^2 + Y^2}; \qquad \boxed{tg\,\alpha = \frac{Y}{X}}$$

Kui jõudusid tarvis tasakaalu seada, siis vaja rakendada resultandile R vastupidises sihis võrdne jõud R'.

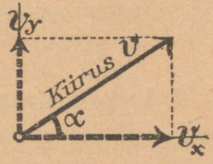
§ 89. Liikumiste ühendamine.

Liikumised saavad samati **parallelogrammi lause** põhjal kokku pandud (Newton 1670).

Näide. Isik liigub laeva lael (J. 339) A-st punkti X (esimene liikumine), tarvitades selleks, näit. 6 sek. Laev liikus selle aja jooksul tee AA' (teine liikumine). 6 sek. pärast seisab isik punktis X'. Sellesse punkti jõuab isik ka



J. 339. Liikumise parallelogramm.



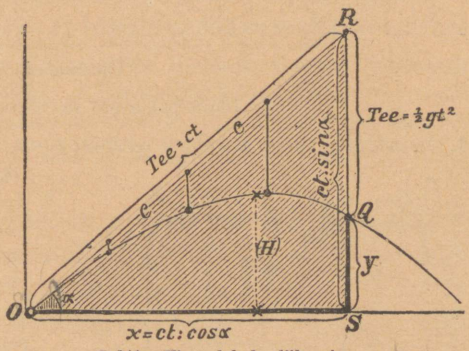
J. 340. Kiiruste ühendamine.

siis, kui laeva ja isiku liikumine üks teise järele sünnivad. Tõeline isiku liikumine sünnib parallelogrammi diagonaali AX' mööda. Sarnaselt ühendatakse ka liikumise teed, kiirused ja kiirendused. — Näiteks, J. 340, võrdub saadud kiirus $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$.

§ 90. Viltu viske.

1. Viltu viske seisab koos kahest liikumisest. Esimeses sihis peab liikuma keha, mis visatud kaalus sihile nurga α all, ühtlaselt temale antud algkiirusega c **(1. liikumine)**. 2. Teises sihis peab ta langema **(2. liikumine)**.

Keha koha t sek. pärast leiame, kui mõlemaid liikumisi üks teise järele sündida laseme. Viske sihis on t sek. järele tee pikkus $OR = ct$ (J. 341). Vastav langemine $RQ = \frac{1}{2} gt^2$.

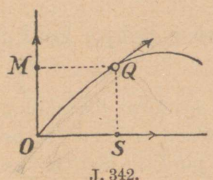


J. 341. Visatud keha liikumine.

Kolmnurgast ORS saame keha koha koordinaadid t sek. järele: $x = OR \cdot \cos a = ct \cdot \cos a$; $y = RS - RQ = ct \cdot \sin a - \frac{1}{2} gt^2$.

Liikumise tee on parabool. Tee võrrandi saame, kui saadud valemitest t elimineerime (kõrvaldame). Tõelises liikumises vähendab õhu takistus mõlemaid koordinaate. Tõeline liikumise tee nim. ballistiliseks kõverjooneks.

2. Tee määramine teisel viisil. Kiirus c lahutatakse horisontaalseks komponendiks $c \cdot \cos \alpha$ ja vertikaalseks komponendiks $c \cdot \sin \alpha$. On S ja M (J. 342) keha Q projektsioonid horisontaal- ja vertikaalteljele, siis saame:



J. 342.

a) projektsioon S liigub kaalus sihis ühtlaselt kiirusega $c \cdot \cos \alpha$;

b) projektsioon M tõuseb, kui kiirusega $c \cdot \sin \alpha$ ülesvisatud keha. Sellepärast saame, nagu ennegi,

$$\text{I. } x = (c \cdot \cos \alpha)\, t \quad \text{II. } y = (c \cdot \sin \alpha)\, t - {}^1/_2\, g t^2.$$

3. Viske seadused. a) Keha tõuseb ülespoole senni, kunni tõusukiirus $c \sin \alpha - g t$ nulliks muutub. Sellest saame:

$$\textbf{tõusuaeg } T = (c \cdot \sin \alpha) : g.$$

b) Selle aja T jooksul võrdub omatud viskekõrgus $H = {}^1/_2\, g\, T^2$, mis vastab koordinaadile y; tähendab, $\textbf{viskekõrgus } H = {}^1/_2\, g\, T^2 = (c^2 \sin^2 \alpha) : 2g.$

d) Viskekaugus on horisontaalse projektsiooni tee keha ülestõusmise ja allalangemise aja jooksul, s. o. $t = 2\,T$. Sellepärast:

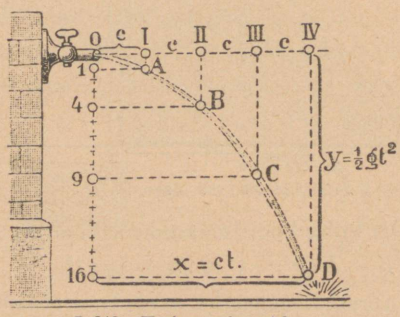
$$\textbf{viskekaugus } W = (c \cdot \cos \alpha) \cdot 2\, T = (c^2 \sin 2\alpha) : g.$$

Viske- (lennu-) kauguse maksimumi saame, kui $\sin 2\alpha = 1$, s. o. kui $2\alpha = 90^0$; $\alpha = 45^0$.

Ülesanded.

(Õhu takistust ei võeta arvesse.)

1. Joonistada viske parabool mitmesuguste kaldnurkadega, kui algkiirus c üks ja sama on.



J. 343. Horisontaalne viske.

2. Joonistada liikumise parabool, kui keha horisontaalselt (kaalus) visatud. Leida keha koordinaadid. (V. $x = c\,t$, $y = {}^1/_2\, g\, t^2$.)

3. Kui suur on algkiirus c horisontaalselt väljavoolaval veel (J. 343), mis H sügavusel w kaugusele pritsib?

(V. $C = w\sqrt{2\,g/H}$).

4. Poiss viskas 60° all algkiirusega 40 m/sek kivi üle maja. Kus on kivi 2 sek, 5 sek. pärast? Kui kaua ja kui kõrgele H tõusis kivi? Kui kaugele W lendas kivi? (V. $x_2 = 40$ m;

$y_2 = 49{,}66$ m, $x_5 = 100$ m, $y_5 = 50{,}6$ m; $T = 3{,}5$ sek, $H = 61{,}2$ m; $W = 141{,}25$ m.)

5. Suurtükk saatis lendu kuuli kiirusega 400 m/sek 30^0 all horisondile. Mitme penikoorma kaugusele langes kuul maha? (1 penikoorm = 7,415 km.) (V. W = umbes 1,90 penikoormat.)

§ 91. Kaldpind.

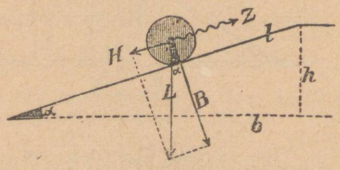
1. Kaldpinnaks nim. füüsikas igat pinda, mis horisontaal-pinnaga nurga sünnitab (näit. laud kald olekus, mäkke viiv tee, katus, jõevool).

Joonistatakse kaldpinda, kui täisnurkse kolmnurga hüpotenuusi. Kolmnurga külgi nim.: b aluseks, h kõrguseks ja l pikkuseks.

Suhe h/l ehk $\sin\alpha$ nim. tõusuks (kaldeks).

Tee tõusmist märgitakse, näit. raudteel. On tahvlil kirjutatud: tõus 1 : 1000, see tähendab, 1000 m peale tõuseb tee 1 m võrra.

2. Jõu lahutamine. Kaldpinnal oleva keha peale mõjub loodis sihis keha kaal L (J. 344); et keha selles sihis aga liikuda ei või, lahuneb kaal L kaheks komponendiks:



J. 344. Jõu L lahutamine.

a) komponendiks H, mis paralleelne kaldpinnale (tõrjub keha alla); b) komponendiks B, mis ristjoones kaldpinnale (rõhub keha vastu kaldpinda).

On kaldenurk α, siis $\underline{H = L \cdot \sin\alpha;\ B = L \cdot \cos\alpha.}$

a) On vaja raskust kaldpinnal kinni hoida, siis peab tõmme Z vähemasti võrduma H, kui hõõrumist ei oleks. Keha ülestõmbeks on vaja jõudu, mis suurem, kui $H + R$, milles hõõrumine R valemi $R = \mu \cdot B$ (§ 8) järele leitakse.

b) On hõõrumine R suur ja takistab keha liikumist pinnal, siis peab allatõmbeks tarvitama jõudu $Z' = R - H$.

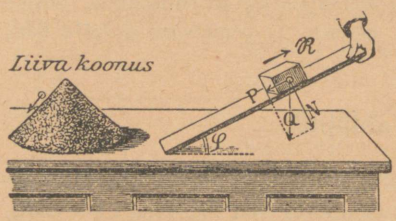
3. Hõõrumis-nurk. Kriiditükk ei veere kaldpinnast alla, kui kaldumine väike. Seame aga kaldpinna järsumalt, siis leiame kord niisuguse oleku, milles kriit just alla veerema hakkab. Vastavat kaldpinna nurka φ nim. hõõrumis-nurgaks, mille abil hõõrumise koeffitsiendi μ välja võib arvata valemi järgi $\boxed{\mu = \operatorname{tg}\varphi}$. Selle kaldenurga juures võrdub hõõrumine komponendile H; sel põhjal:

$$\mu = \frac{\text{hõõrumine } R}{\text{rõhumine } B} = \frac{H}{B} = \operatorname{tg}\varphi \quad \text{(J. 345)}.$$

Küsimus: kui järsu võib liiva hunniku teha? V. Kui liiva hõõrumis. koeffitsient liiv/liiv = 0,84, siis on külgede vaheline nurk $\varphi = 40^0$ (J. 345)

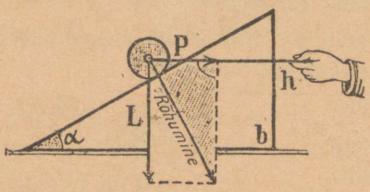
4. Keha raskust L võib kaldpinnal lahutada paralleelselt alusele ja ristjoones kaldpinnale. Alusele paralleelse komponendi tasakaalus hoidmiseks vaja jõudu P (J. 346), mis võrdub

$$P = L \cdot tg\,\alpha.$$

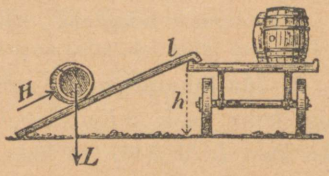


J. 345. Hõõrumis-nurk.

5. **Tarvitamine.** Kaldpinda tarvitatakse iseäranis suurte raskuste L tõstmiseks väikese jõuga H $(= L \sin \alpha)$ (näit. vankrile, laevale, vagunisse). Tööd aga sarnasel tõstmisel ei võideta.



J. 346. P on paralleelne alusele.



J. 347.

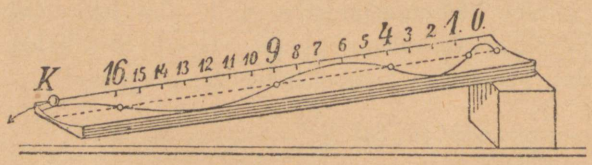
Otse raskust üles tõstes on töö $A = L \cdot h$ (J. 347). Kaldpinna abil tõstes aga $A' = H \cdot l = L \cdot \sin \alpha \cdot l = L \cdot h$. Tähendab, $A = A'$.

Ülesanded.

1. Järgmistel kaldpindadel: a) $l : b : h = 5 : 4 : 3$, b) $l : b : h = 37 : 35 : 12$, d) $l : b : h = 2 : 1{,}73 : 1$ välja arvata pinnalt allatõrjuv komponent H, rõhumine B kaldpinnale ja tõmme Z, kui hõõrumine 8% ja raskus $L = 740$ g. (V. $H = 444$ g, $B = 592$ g, $Z = 491{,}36$ g.)
2. 250 tonni raske raudteerong liigub mööda teed, mille tõus 2‰, s. o. 2 : 100. Suurt jõudu selleks vaja, kui hõõrumine 1½% kaalust on? (V. 8,75 t.)

§ 92. Langemine ja viske kaldpinnal.

1. **Liikumise viis** (J. 348). Tolmuga kaetud kaldu seatud renni mööda lastakse alla langeda kerake. Kerakese lahti laskmine sünnib renni keskjoonest vähe kõrval (ääre pealt), et kera allalangemisel võnkuvasse liiku-



J. 348. Langerenn.

misesse sattuks. Langemise tee on lainetav joon, nagu J. 348 näha. Joone uurimine näitab, et langemise teed 1, 2, 3, 4, . . . aja üksuses, kui 1:4:9:16: . . . suhtuvad (ühtlaselt kiirendatud liikumise tundemärk). Galilei kald-renn oli 6 m pikk.

2. Kiirendus kaldpinnal on vähem, kui vabal langemisel; ta on kõigest $g \cdot \sin \alpha$.

Tõendus. Nagu raskust L, võib ka kiirendust g lahutada komponentideks paralleelselt ja ristjoones kaldpinnale. Viimane mõju ei avalda. Esimene aga on $a = g \cdot \sin \alpha$.

3. Kehade langemisel kaldpinnal (hõõrumist ei võeta arvesse) maksavad võrrandid:

I. $\boxed{\text{kiirendus } a = g \cdot \sin \alpha}$ II. $\boxed{v = at}$ III. $\boxed{s = {}^1/_2 at^2}$

Lõpukiirus. II ja III leitakse (t elimineerides) $v = \sqrt{2as} = \sqrt{2g \cdot \sin \alpha \cdot s} = \sqrt{2gh}$, s. o.: langeb keha punktist O kaldpinda mööda punkti A, siis on lõpukiirus niisama suur, kui keha otse kõrguselt O alla langeks.

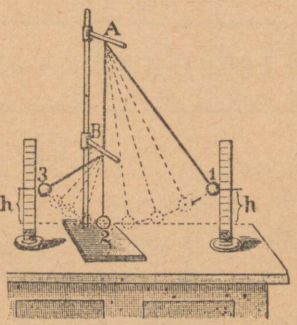
Kõverat joont mööda alla langedes, omab keha samasuuruse lõpukiiruse v, kui ta kõrguselt h vabalt alla langeks. (Kõverat joont võib nõnda kujutada, nagu seisaks ta koos väikestest sirgjoontest, mida kui kaldpindu võib vaadelda.)

4. Kaldpinda mööda ülesvisatud kehade liikumise valemid on:

$\boxed{a = g \cdot \sin \alpha}$, $\boxed{v = c \pm at}$, $\boxed{s = ct \pm {}^1/_2 at^2}$

Liikumine on sarnane otse ülesvisatud keha liikumisele, mispärast ka sel juhusel viske seadused maksavad.

5. Võnkuv-liikumine kõverjoonel. Keha kiirus on $v = \sqrt{2gh}$, kui ta kaldpinda mööda kõrguselt h alla langeb. Lastakse keha selle kiirusega teist kaldpinda mööda edasi üles liikuda, siis tõuseb ta viske seaduse järele endisele kõrgusele h (hõõrumine!). Et kaldpinna vormi sugugi arvesse ei võeta, siis on see väide ka kõverjoontel maksev.



J. 349. Galilei pendli katse.

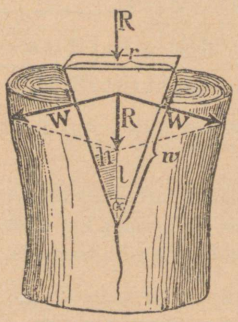
Ära seletada Galilei pendli-katse (J. 349). Ühesugustel kõrgustel on kerakese liikumise kiirused võrdsed.

Ülesanded.

1. Langerennil (l = 4 m, h = 30 cm) lastakse kerake alla. Mitme sek. jõuab ta alla? Missuguse kiirusega? (V. 3,3 sek, 243 cm/sek.)
2. Kaks ühesugust kaldpinda on katuse moodi kokku pandud ($l : b : h$ = 5 : 4 : 3). Harjale on seatud rull, millest nöör üle jookseb. Nööri otsa on kinnitatud üheltpoolt raskus h_1 = 50 g, teiselt — h_2 = 60 g. Kuhu poole liiguvad raskused ja kui suur on tee 10 sek. pärast? (V. s = 2675 cm.)
3. Kelguga lastakse alla lumega kaetud mäest, mille kalle 30°. Koorem ja kelk kaaluvad 80 kg. Õhu takistus ja hõõrumine võrduvad 23 kg. Kui palju tarvitatakse aega 500 m tee sõitmiseks? (V. 22 sek.)

§ 93. Kiil.

1. Kiil on kõvast ainest kolmetahuline prisma. Teda tarvitatakse lõikamiseks või lõhkumiseks. Pea külge rakendatud jõud R lahuneb (J. 350) kaheks ühesuuruseks jõuks W, W, mis kiili (paledele) tahudele w ristjoones. On kiili nurk α, siis saame sarnastest kolmnurkadest $R : W = r : w$ ehk $W = \frac{R}{2} : \sin \alpha$. Tähendab, lõhkumise tegevus on seda suurem, mida teravam kiil (habemenuga).



J. 350. Talv.

Töö moondumine: tungib kiil l võrra edasi, siis on tehtud töö $R \cdot l$. Kiili tahud tungivad edasi h võrra, nende töö võrdub $2 \cdot (W \cdot h)$. Need mõlemad tööd on võrdsed, kui meelespidada, et $h = l \cdot \sin \alpha/_2$.

Isesuguste rakenduspunktidega jõud

§ 94. Jõud ühes tasapinnas.

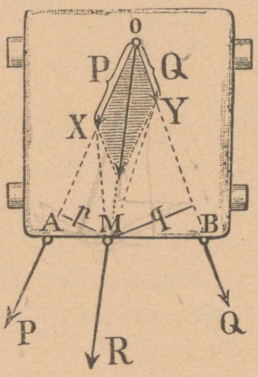
1. Kahe jõu P ja Q **resultant,** kui mõlemad jõud ühes tasapinnas asuvad ja kindla keha isesugustele punktidele rakendatud, leitakse väite põhjal, et rakenduspunkti võib jõu sihis ümber paigutada.

Jõu nooled P ja Q (J. 351) kantakse nende sihtide lõikumispunkti ja leitakse resultant R parallelogrammi lause põhjal. Saadud resultanti võib leitud sihis, näit. punkti M paigutada.

2. Jõu P pöörde momendiks D punkti M suhtes nim. füüsikas jõu P korrutist vastava jõu õlaga p. **Jõu õlaks** nim. pöörde punkti M ristjooneline kaugus p jõust. Tähendab,

$$\boxed{\text{pöörde moment} = \text{jõud} \times \text{jõu õlaga} = P \cdot p}$$

Selle järele, kas jõud punkti ümber tunninäitaja sihis või vastu pöörub, loetakse pöörde momenti positiivseks või negatiivseks.



J. 351. P ja Q resultant.

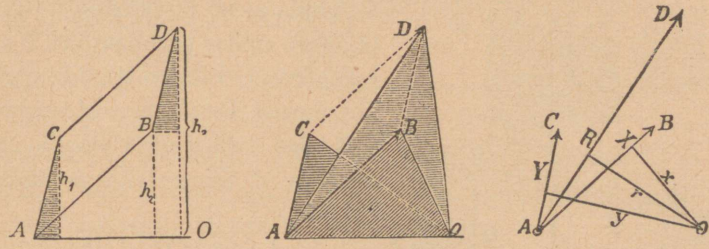
3. Komponentide pöörde momendid nende resultandi punkti M suhtes on $P \cdot p$ ja $Q \cdot q$. Need suurused võrduvad kahekordsetele kolmnurga pinna suurustele, kui kolmnurga aluseks on P või Q ja tipp M. Nendel kolmnurkadel on ühine alus OM ja ühesuurune sellele alusele vastav kõrgus, sellepärast on kolmnurgad pindvõrdsed ja

$$P \cdot p = Q \cdot q$$

(pöörde siht ei ole arvesse võetud),

s. o. **jõudude P ja Q pöörde momendid punkti M suhtes on vastastikku võrdsed.**

4. Resultandi pöörde moment vabalt võetud punkti O suhtes võrdub komponentide pöörde momentide summale (J. 352).



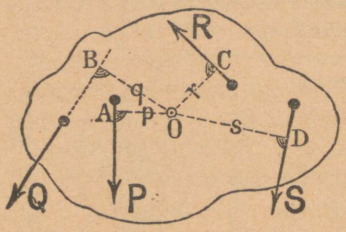
J. 352. Resultandi pöörde-moment.

Olgu $ABDC$ parallelogramm, AO sirgjoon, mis punktist O läbi läheb. Punktidest C, B ja D ristjooni h_1, h_2, h_3 sirgjoonele AO lastes, saame nende vahel järgmise suhe $h_3 = h_1 + h_2$ (1 joonis). Saadud ristjooni ühise alusega AO kolmnurkade kõrgusteks pidades (2 joonis), leiame, et

$$\triangle \overline{AO}D = \triangle \overline{AO}C + \triangle \overline{AO}B$$

Kujutab AC (3 joonis) jõudu P ja AB jõudu Q, siis on AD nende resultant R. On p, q, r nende jõudude kaugused punktist O, siis võib kolmnurkade suurust ka $\frac{1}{2} Pp$, $\frac{1}{2} Qq$, $\frac{1}{2} Rr$ abil kujutada, sellepärast saame $Rr = Pp + Qq$.

5. Tarvitamine kangil. Kangiks nim. kindlat keha, mis telje ümber pööruda võib ja mille külge jõud rakendatud. Võib juhtuda niisugune seis, kus kõik rakendatud jõud P, Q, R, S ... (J. 353) tasakaalus.



J. 353. Üldine kang.

Kang on tasakaalus, kui kõikide jõudude pöörde momentide algebraline summa nullile võrdub (Arhimeedes, 212 a. en. Kr.).

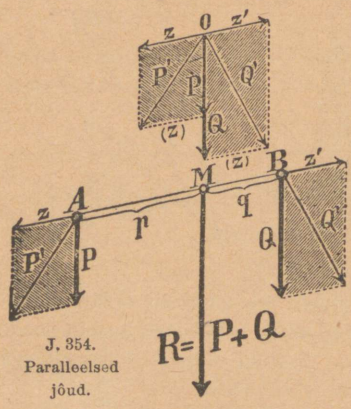
Tõendus. Kui üksikute momentide summa null, siis on ka resultandi pöörde moment $R \cdot r$ null; see võib olla ainult siis, kui kas $R = 0$, s. o. et mingisugune jõud ei mõju, ehk $r = o$, s. o. et resultant läheb pöörde punktist läbi. Kummagil juhusel ei avalda resultant tegevust.

Kangi seadust väidetakse ka nii: kang on pöörde suhtes tasakaalus, kui pöörde momentide summad tunninäitaja peri ja vastu sihis võrdsed.

Nende seaduste maksvust paralleelselt sihitud jõududele tõendatakse eraldi, sest et antud viisid seda ei võimalda.

§ 95. Paralleelsete jõudude ühendamine.

1. Resultandi leidmiseks tarvitatakse järgmist kunstlist võtet.



J. 354. Paralleelsed jõud.

Rakendatakse punktides A ja B (J. 354), milles parallel-jõud P ja Q rakendatud, kaks vastupidi sihitud ühesuurust lisajõudu $z\ z'$ sirgjoone AB sihis. (See on võimalik, sest et z ja z' teine teist tasakaalus hoiavad.)

Jõud P, z ja Q, z' ühendatakse parallelogrammi lause põhjal ja saadud resultandid kantakse punkti O (sihtide lõikepunkti). Selles punktis lahutatakse P' ja Q' endisteks komponentideks. Komponendid z ja z' on tasakaalus, komponentide P ja Q resultant võrdub aga

$$\underline{R = P + Q.}$$

Komponendi rakenduspunkti M leidmiseks sirgjoonel AB, võtame kaks paari sarnaseid kolmnurke, mis pahemal ja paremal pool MO; saame

$$\left.\begin{array}{l} \text{pahemalt } p : \overline{MO} = z : P \\ \text{paremalt } q : \overline{MO} = z : Q \end{array}\right\} \text{jagades } \underline{p : q = Q : P.}$$

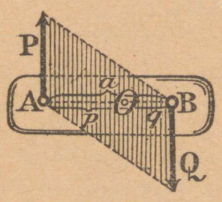
ehk $P \cdot p = Q \cdot q$, s. o. komponentide pöörde momendid punkti M suhtes on ka sel juhusel vastastikku võrdsed.

Sellest järgneb **väide:**

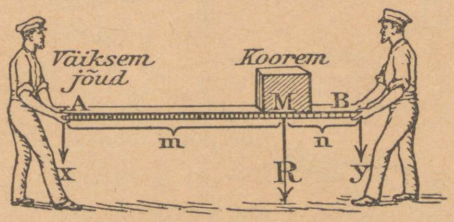
Kahe ühtepidi sihitud paralleelse jõu resultant on sihitud selles samas sihis, võrdub nende summale ja on rakendatud punkti, mis jagab antud jõudude rakendus-punktide kauguse sisemiselt vastuproportsionaalselt komponentidele.

2. On jõud P ja Q **vastupidi sihitud,** siis leitakse vastava ehituse abil, et $R = P - Q$ ja et punkt M jagab AB väliselt vastuproportsionaalselt jõududele ehk nii, et P ja Q pöörde momendid võrduvad.

3. Erand (J. 355). Kaks ühesuurust, kuid vastupidi sihitud paralleeljõudu $P\downarrow$ ja $Q\uparrow$ sünnitavad n. n. **jõu-paari.** (Näiteks, jõud



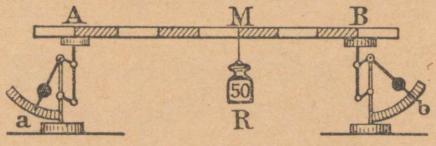
J. 355. Jõu-paar.



J. 356. R lahutamine.

magnet-nõela poolustel.) Kaht niisugust jõudu ühendada ei saa. Nende pöörde moment iga punkti O suhtes nende tasapinnas võrdub jõudude peale ehitatud parallelogrammi pinna suurusele.

4. Lahutamine. Jõudu R (J. 356) võib ümberpöördult jälle kaheks paralleelseks komponendiks lahutada. Selleks on olemas võrrandid: $R = P + Q$ ja $P : Q = q : p$.



J. 357. R lahutamine.

Näide: kaks töölist A ja B (J. 356) kannavad laual raskust R = 120 kg nii, et AM = 1,4 m ja BM = 0,7 m. Kui suurt jõudu tarvitab kumbki?

(R lahutatakse kaheks paralleel-komponendiks P ja Q, mis punktidesse A ja B rakendatud: $P : Q : 120 = 0{,}7 : 1{,}4 : 2{,}1$, millest $P = 40$ kg, $Q = 80$ kg.) Katseliselt võib raskuse R lahutamist kahe väikeste kirjakaalude abil korraldada (J. 357).

§ 96. Kang.

1. Kangi tarvitatakse raskuse tõstmiseks. Lihtsamal juhusel on kangiks paindumata latt, millel kindel pöörde- või toetuspunkt. Ühe kangi otsa on rakendatud jõud, teise raskus (J. 358).

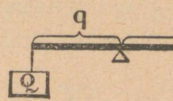


J. 358. Kang.

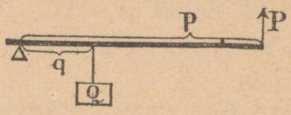
2. Kangi kujud. Tehnikas tarvitatakse kahepoolset, ühepoolset ja nurkkangi.

a) **Kahepoolsel** kangil (J. 359) on pöördepunkt jõu ja raskuse rakenduspunktide vahel (poekaalud, tangid, käärid).

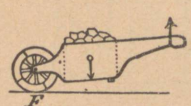
b) **Ühepoolsel** kangil (J. 360) on jõud ja raskus ja nende pöörde õlad ühelpoolpöördepunktist (käru; J. 361; leivalõikamise masin, aer). Mõjub raskus allapoole, siis peab jõud ülespoole sihitud olema ja ümberpöördud.



J. 359. Kahepoolne kang.



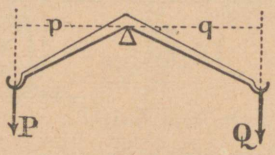
J. 360. Ühepoolne kang.



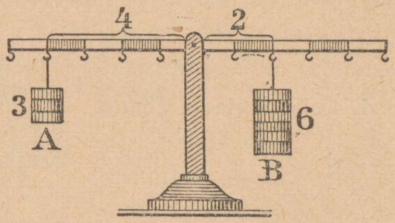
J. 361. Käru.

d) Nurk-kangi (J. 362) saame, kui kangi latt on käänatud, ehk kui jõu ja raskuse sihid nurga tekitavad (nagu kellatõmbel või pidemis; J. 97).

3. Kangi seaduse katseline tõendus sünnib järgmiselt. Ripu-



J. 362. Nurk-kang.

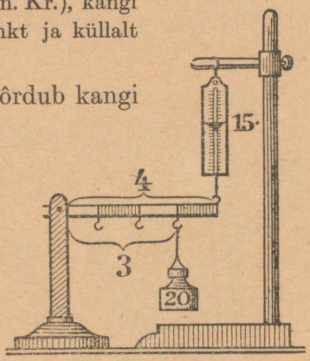


J. 363. Kangi seaduse katsumine.

tatakse raskused (J. 363) kangi külge, arvatakse mõlemalt poolt pöörde momendid välja ja võrreldakse saadud resultaate. Leitakse,

et kang on tasakaalus, kui **jõu korrutis jõu õlaga = raskuse korrutisele raskuse õlaga.**

Jõud 3 õlal 4 on tasakaalus raskusega 6 õlal 2, sest et $3 \cdot 4 = 2 \cdot 6$ (J. 363, 364). Katsetes märgatakse, et mida pikem õla, seda väiksem võib olla jõud. Sellepärast ütles ka Arhimeedes (212 a. en. Kr.), kangi seaduse ülesleidja: "Andke mulle kindel punkt ja küllalt pikk kang, siis kergitan maakera paigast".



J. 364. Ühepoolne kang.

4. Rõhumine kangi pöördepunktis võrdub kangi peale mõjuvate jõudude resultant-jõule.

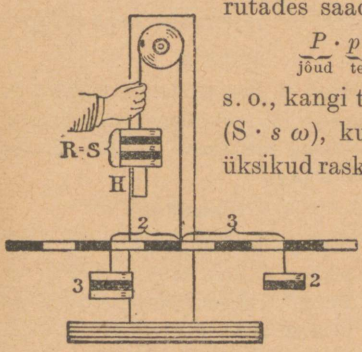
Põhjus: ei läheks resultant pöördepunktist läbi, siis peab kang pööruma; ta on aga tasakaalus. **Katse** (J. 365): tõstetakse kang pöördepunktist üles, siis on selleks vaja jõudu, mis võrdub rakendatud raskuste summale (+ kangi raskus).

5. Kangi töös võitu ei ole (J. 366). Hoiab jõud S teised jõud P, Q, R tasakaalus, siis peab olema võrdus $Pp + Qq + Rr = Ss$.

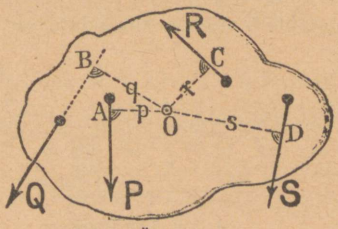
Pöörub kang väikese nurga ω võrra, siis kujutavad punktist O jõududele lastud ristjoonte alused tee pikkusi $p\omega, q\omega, r\omega, s\omega$. Korrutades saadud kangi võrdust ω — ga, saame

$$\underbrace{P \cdot p\omega}_{\text{jõud tee}} + \underbrace{Q \cdot q\omega}_{\text{jõud tee}} + \underbrace{R \cdot r\omega}_{\text{jõud tee}} = \underbrace{S \cdot s\omega}_{\text{jõud tee}}$$

s. o., kangi tarvitades peab nii palju tööd tegema ($S \cdot s\omega$), kui palju üksikud raskused P, Q, R, mida kang liikuma paneb, kogusummas nõuavad.



J. 365. Kang.



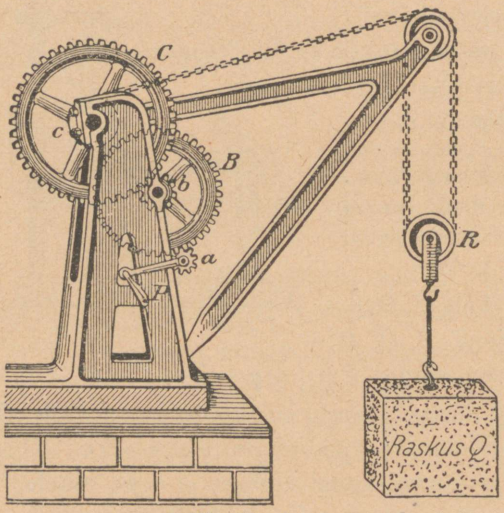
J. 366. Üldine kang.

Tähendab, töös võitu ei ole, võib aga jõudu suuresti vähendada, kui kangile pikk õla antakse.

6. Mehaanika kuld-seadus. Väide, et tööd ilmaski võita ei saa, et **jõu töö = raskuse (takistuse) tööle,** on maksev kõigis masinates, kui hõõrumist arvesse ei võeta, mispärast seda väidet mehaanika kuldseaduseks nimetatakse.

Lühidalt öeldakse; mida jõus võidetakse, seda tuleb tee pikkusele juurde lisada, või jõu korrutis jõu teega = raskuse korrutisele raskuse teega. See seadus on iseäranis lihtne juhus energia alalhoidmise seadusest. Ta maksab täielikult ainult hõõrumise puudumisel; hõõrumise tõttu on harilikult jõu töö raskuse tööst alati suurem.

Mehaanika kuldseaduse tarvitamine **tõstekraanis** (J. 367).

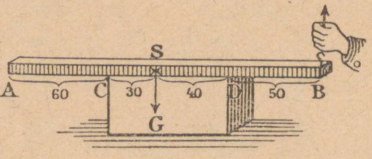


J. 367. Tõste-kraan.

Näide. Nähtakse näit., et tööline raskuse 10 cm kõrgusele tõstmiseks vändaga P 8 ringi teeb. On vända ringipikkus 3 m, siis liikus vänt 24 m, ehk 2400 cm; sel juhusel on jõu tee 240 korda raskuse teest suurem, tähendab, tööline tarvitas jõudu P kõigest $^1/_{240}$ raskuse jõust Q.

7. Kui füüsikalise kangi kaal arvesse võetakse, siis kujutatakse teda jõuga, mille rakenduspunkt keha raskuspunktis.

Näide. 8 kg raske kang AB lamab, nagu J. 368 näidatud, kastil CD. Kui suurt jõudu on vaja latiotsa B tõstmiseks? (V.: sel juhusel pöörub kang punkti C ümber, tähendab, on ühepoolne kang, mispärast $P \cdot 120 = 8 \cdot 30$; $P = 2$ (kg).



J. 368. Lati tõstmine.

Ülesanded.

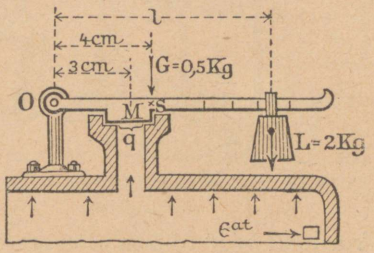
1. Kahepoolse kangi õla peale, mille pikkus 57 mm, mõjub jõud $x\downarrow$ = 249 g. Kui suur on teise õla peale pandud raskuse $y\downarrow$ = 38 g õla, kui kang tasakaalus? (V. 373,5 mm.)
2. Missugust rõhumist saadakse kangil 18 cm kaugusel pöördepunktist, kui 72 cm kaugusel jõuga 5 kg mõjutakse? (V. 20 kg.)
3. Kahepoolse kaaluta kangi peale mõjuvad jõud: pahemalt poolt $K\downarrow$ = 3 kg, $L\downarrow$ = 5 kg, $M\uparrow$ = 2 kg, mille õlad a = 20 cm, b = 30 cm, c = 45 cm, paremalt poolt jõud $P\downarrow$ = 5 kg, $Q\uparrow$ = 1 kg, $R\downarrow$ = 6 kg, õladel p = 15 cm, q = 35 cm, r = 40 cm. Leida: a) asejõud mõlemalt poolt õlal 1; b) kuhu poole kang pöörub, d) missugune jõud x õlal 50 cm seda pöörumist võib takistada? (V. $x = 3^1/_5$ g, paremp.)

Füüsikaline kang.

4. 2 m pika kangi AB külge, 10 cm kaugusel otsast A, on kinnitatud 100 kg raske anum. a) Kui suurt jõudu x peab raskuse tõstmiseks kangiotsa B juures tarvitama? (V. 5 kg.) b) Kuidas muutub vastus, kui kangi raskus 2 kg arvesse võetakse? (V. 6 kg.)

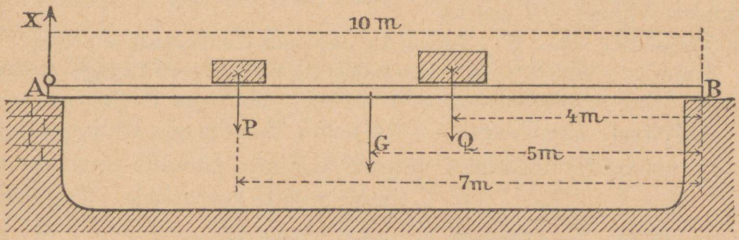
5. 2,2 m pika ja 6 cm² läbilõikega puust ($s = 0{,}5$) lati otsas A ripub raskus 5 kg. Missuguses punktis peab latti toetama, et kang tasakaalus oleks? (V. 12,8 cm otsast A.)

6. **Kaitse-ventiil** (J. 369) peab 6 at aururõhumisel (s. o. kui rõhumine iga ventiili pinna q ruut-cm peale 6 kg) avanema. Kangi raskus $G = 0{,}5$ kg. Raskuspunkti S kaugus toetuspunktist O on 4 cm. Rõhutav pind $q = 2$ cm², selle keskpunkti M kaugus kangi toetuspunktist O on 3 cm. Kuhu vaja nihutav raskus $L = 2$ kg seada? (V. $l = 17$ cm kaugusel punktist O.)



J. 369. Kaitse-ventiil.

7. 10 m pika ja 16 · 24 cm² läbimõõtus palgi (J. 370; $s = 0{,}5$) peale, mis otsadega A ja B peale najab, mõjuvad 3 m kaugusel punktist A raskus



J. 370. Leida rõhumine punktides A ja B.

$P = 600$ kg, ja 4 m kaugusel punktist B raskus $Q = 400$ kg. Kui suur on rõhumine otsadel A ja B. (Näpunäide: kui punktist A palki tõsta, siis on pöördepunktiks B.)

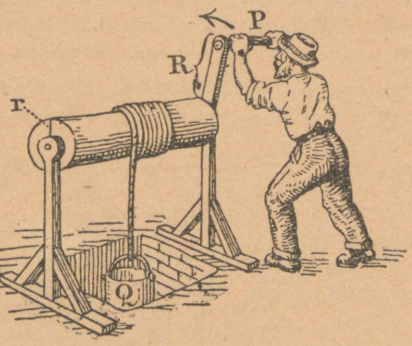
8. Tänava-raudteevaguni raskus on 1400 kg, pikkus $AB = 5$ m, kaugus telgede vahel 1,6 m. Kas jõuavad kaks meest vagunit otsast B tõsta, kui nende tõstejõud 150 kunni 200 kg on. (V. Ja.)

9. 2 m pika kangi AB küljes ripuvad kaks isikut X ja Y, kelle raskused 60 ja 80 kg; $AX = 60$ cm, $BY = 90$ cm. Kui suurt rõhumist avaldavad need isikud kangi otste peale? (V. 78 kg, 62 kg.)

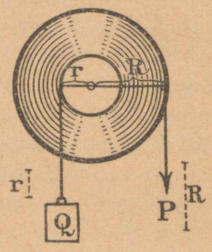
§ 97. Pöör (vinn) ja rataste ühendus.

1. Nurk-kangi tarvitatakse pööras (ehk vinnas; J. 371). See on ümmargune võlv, mis ümberajamiseks varustatud kontsentrilise suu-

rema rattaga vôi vändaga. Vôlvi küljes ripub tôstetav raskus Q; jôud P môjub ratta (vôi selle kodara) peale. Pöör on tasakaalus,



J. 371. Vinn.

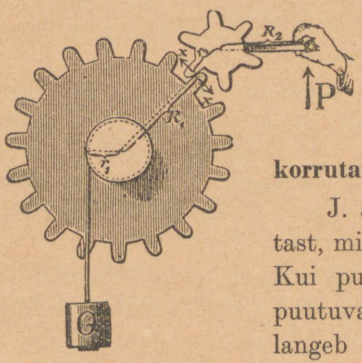


372. Pöör.

kui jôud $\times$ jôu ôlaga = raskus $\times$ raskuse ôlaga. Ôladeks on ratta ja vôlvi raadiused R ja r (J. 372). Saame $P \cdot R = Q \cdot r$, millest järgneb: $\boldsymbol{P = \left(\frac{r}{R}\right) \cdot Q}$. Tähendab, pööral tarvitatav jôud on raskusest vähem r/R korda.

Vôrrandi $P \cdot R = Q \cdot r$ leiame ka mehaanika kuld-seaduse pôhjal: Kui vôlv pöörub 57^0, siis tôuseb raskus Q r vôrra ja jôud P langeb R vôrra. Saame: raskus $\times$ raskuse teega $Q \cdot r$ = jôud $\times$ jôu teega $P \cdot R$.

2. Rataste ühenduses on mitu pööra ühendatud. Üldjôu vähendamine pöörade ühendusel vôrdub üksikute pöörade jôuvähendamise suhete korrutisele. Tasakaalu tingimiseks on



J. 373. Hammasrattad.

$$\textbf{Jôud } \boldsymbol{P = \underbrace{\left(\frac{r_1}{R_1}\right)}_{1\text{ ratas}} \cdot \underbrace{\left(\frac{r_2}{R_2}\right)}_{2\text{ ratas}} \cdot \ldots}$$

korrutatud raskusega Q.

J. 373 on kujutatud kaks hammasratast, mille hambad üks teise vahele käivad. Kui punktis, kus môlemad rattad kokku puutuvad, vaherôhumise x kujutame, siis langeb ühendus kaheks liht-pööraks, mille tasakaaluks järgmised kaks tingimist saame:

1 pöör: $x = (r_1/R_1) \cdot Q$; II pöör: $P = (r_2/R_2)\, x$, millest

$$\boldsymbol{P = \left(\frac{r_1}{R_1}\right) \cdot \left(\frac{r_2}{R_2}\right) \cdot Q.}$$

Märkus: kellade mehanismis on jõud ja raskus vahetatud: üleskeeratud vedru mõjub lühema õla peale, ja rattad on selleks, et liikumise kiirust vähendada.

Ülesanded.

1. Pööra (vinna) võlvi raadius on r, vända raadius R. Mitu töölist jõuga à Z kg tõmbejõuga on vaja, et raskust Q tõsta?

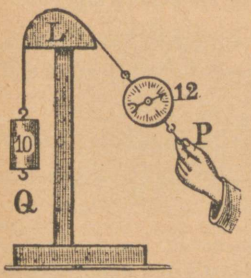
Raadius r =	Vända R =	Raskus Q =	Tõmme Z =	Vastus
1) 10 cm	100 cm	900 kg	30 kg	3 meest
2) 5 „	80 „	1,6 t	25 „	4 „

2. On J. 373 olevatel hammasratastel Z_1 ja Z_2 hammast, siis on $P = r_1/R_2 \cdot Z_2/Z_1 \cdot Q$. Tõendada?

3. Mäe kallakule ($l : b : h = 37 : 35 : 12$) on kinnitatud pöör, mille $r = 20$ cm ja $R = 1$ m. Missuguse jõuga võib selle pööra abil raskust $L = 10$ t kallakut mööda üles tõsta, kui hõõrumine 20 %.

§ 98. Köis, plokk, plokkide süsteemid.

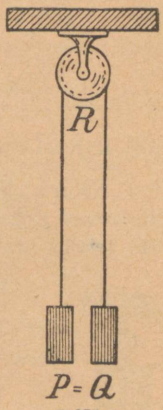
1. Köis on kõige lihtsam masin; ta on jõu rakenduspunkti ülekandmiseks; jõu suuruses ei muuda ta midagi, sest nagu § 87 selgitatud, on nööri pinge igal kohal (nööri kaalu arvesse ei võeta) muutmata. (Tõmme = vastutõmbele.)



J. 374. Köie pinge muutus.

Juhitakse nöör mõnest kehast üle (J. 374), siis on pinge jõupoolsel nööril suurem, kui raskuspoolsel, sest et nööri ja keha vahel tekkiv hõõrumine vastu töötab.

2. Plokk (keri) on kõige väiksema hõõrumisega nööri juhtkeha.



J. 375. Kindel plokk.

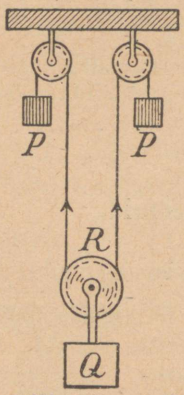
Ta seisab koos ümmargusest kettast, mis oma teljel kergesti tiirleb ja mille ääre sees nööri jaoks renn on. Telg on paigutatud kahvlisse, mis harilikult kongsuga varustatud.

a) On konks palgi külge kinnitatud (J. 375), siis nim. plokki **kinniseks plokiks.** Tasakaalus on nööride pinged mõlemalt poolt võrdsed, millest järgneb ka raskuste võrdsus, s. o. **jõud võrdub raskusele** ($P = Q$).

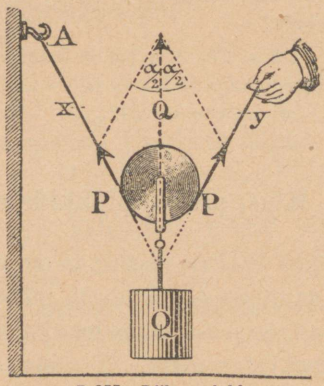
b) Ripub raskus ploki kongsu otsas (J. 377), siis nim. plokki **liikuvaks plokiks.** Raskus jaguneb jõudude parallelogrammi lause järele mõlema nööri osadele, millel plokk ripub ($P = Q/_2 : \cos \alpha/_2$).

On nöörid paralleelsed, siis mõjub iga nööri peale pool raskust. $P = Q/_2$. (Ploki kaalu tuleb ka raskuseks arvata.) (J. 376.)

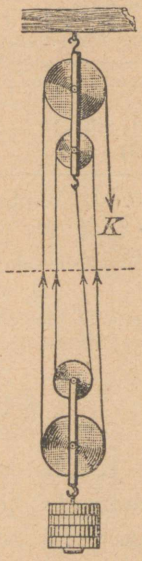
3. Harilikus plokkide süsteemis (J. 378) on ühendatud kahele kahvlile 2, 3 või rohkem plokke;



J. 376. Liikuv plokk.



J. 377. Liikuv plokk.



J. 378. Harilik plokkide süsteem.

üks kahvel on kinnitatud kongsuga palgi, teine raskuse külge.

Nööri käik algab kinnise kahvli kongsult, käib kordamisi alumistest ja ülemistest plokkidest üle ja lõpeb töölise käes. — Ühises kahvlis võivad plokid üks teisega kõrvu (J. 379) või üks teise all olla.


J. 379.

On alumises kahvlis n plokki, siis jaguneb rippuv raskus Q $2n$ nööri peale; tähendab, tööline peab üle saama pingest $\underline{P = Q/2n.}$

Töö. Tõuseb raskus h võrra, siis lühenevad iga $2n$ nööritükki h võrra. Tööline peab maha kerima $h \cdot 2n$. . Nõnda saame ka siin võrrandi: raskus × raskuse teega = jõud × jõu teega, sest et

$$Q \cdot h = (h \cdot 2n)\, Q/2n.$$

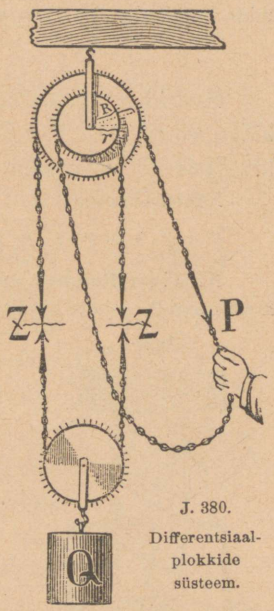
Selgitada: plokkide raskuse ja hõõrumise mõju. Nael, millele plokk kinnitatud, kannab tõmmet $Q + P$.

4. Vaheline (differentsiaalne) plokkide süsteem (J. 380) on hammastega pööra ühendus (otsteta) ringketi abil liikuva plokiga. Selles süsteemis jaguneb raskus Q (liikuva ploki mõjul) kahte ossa

Z, Z, millest üks pööral töölisele kaasa tõmmata aitab. Pöör on tasakaalus, kui $P \cdot R + Z \cdot r = Z \cdot R$, millest saame (sest et $Z = Q/2$)

$$P = Q \cdot \frac{R - r}{2R};$$

ehk $P : Q = (R - r) : 2R$. Tähendab, tasakaalus suhtub jõud raskusele nii, kui pööra raadiuste vahe oma suurema läbimõõdule.



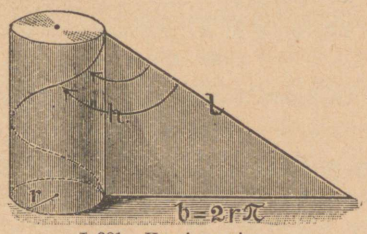
J. 380. Differentsiaalplokkide süsteem.

§ 99. Kruvi.

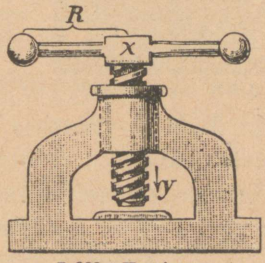
1. Kruvi on kangi (kruvipea) ühendus kitsa kaldpinnaga, mis keerdtrepi sarnaselt kruvi värtna ümber käib.

J. 381 näitab kruvijoone tekkimist. Kaldpinna kõrgust nim. kruvi käiguks. Kruvijoont mööda lõigatakse kruvi silindrile kas kolmnurksed või neljakandilised keerud ja saadakse sedaviisi teravad (kinnitus-) või tömp- (liikumis-) kruvid (J. 382).

Kruvimutter. Ühe-, mitmekäiguga, pahem-, parempoolne kruvi.



J. 381. Kruvi saamine.



J. 382. Kruvipress.

Kruvi keeramisel liigub raskus L kaldpinda mööda üles, nagu J. 383 näitab. Selle juures rõhub raskus jõuga Q kaldpinda horisontaalses sihis; kruvipea külge rakendatud jõud P hoiab kruvi tasakaalus.

Tasakaal on, kui P pöörde moment (kruvipea ümber raadiusega R) võrdub Q momendile (kruvi värtnal raadiusega r), s. o. kui $P \cdot R = Q \cdot r$. Et

$$\frac{Q}{L} = \frac{\text{kõrgus}}{\text{alusega}} = \frac{h}{2\pi r}, \text{ saame } P \cdot R = L \cdot \frac{h}{2\pi r} \cdot r = \frac{L \cdot h}{2\pi},$$

mida harilikult nii kirjutatakse:

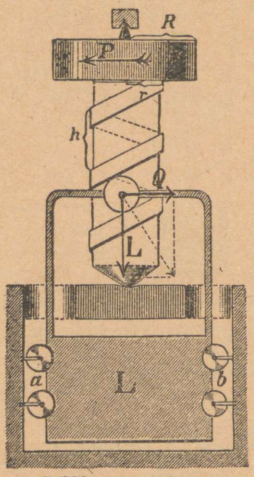
$$\underbrace{P}_{\text{jõud}} \cdot \underbrace{[2\pi R]}_{\text{tee}} = \underbrace{L}_{\text{raskus}} \cdot \underbrace{[h]}_{\text{tee}}$$

Keerub kruvipea korra ringi (tee $2\pi R$), siis tõuseb raskus kruvikäigu võrra (h). Tähendab, saadud võrrand näitab, et : jõu P töö kruvipea küljes võrdub raskuse Q tööle kruviotsal (igal keeramisel).

Näide. On pressil $R = 20$ cm, $h = 5$ mm, rõhumine pea küljes 1 kg, siis on

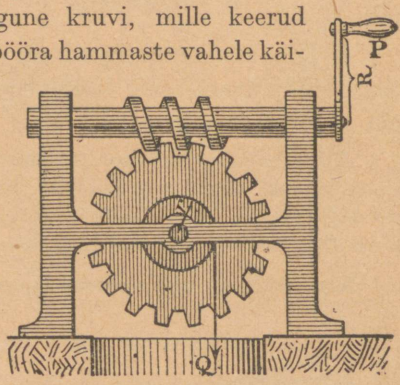
$$Q \cdot h = P \cdot 2\pi R, \text{ millest } Q = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3{,}14 \cdot 20}{0{,}5} = \mathbf{251{,}2\ (kg).}$$

Kruvi **tarvitatakse:** suurte rõhumiste tekitamiseks (kopeerimine, rahapress, kruustangid), asjade kinnitamiseks (laua kruvid), paksuse mõõtmiseks (mikromeeterkruvi); laevakruvi laeva vees edasi tõukamiseks; propeller aeroplaanidel.



J. 383. Kruvi skeem.

2. Lõputa (otsatu) kruvi (J. 384). See on niisugune kruvi, mille keerud hammaspööra hammaste vahele käivad. Teda tarvitatakse suurte raskuste tõstmiseks (näit. kaanali vesiväravad).



J. 384. Lõputa kruvi.

On rattal (J. 384) Z hammast, siis peab vänta Z korda pöörama, et raskus $2\pi r$ võrra tõuseks. Sel põhjal on töö võrrand:

$$\underbrace{P}_{\text{jõud}} \cdot \underbrace{2\pi R}_{\text{tee}} \cdot Z = \underbrace{Q}_{\text{raskus}} \cdot \underbrace{2\pi r}_{\text{tee}}, \text{ millest } P = Q \cdot \left(\frac{r}{R} \cdot \frac{1}{Z}\right)$$

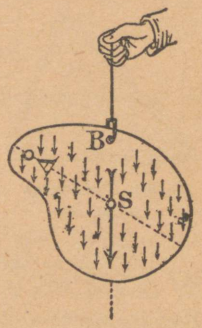
On $r/R = {}^1/_{10}$, $Z = 100$, siis saame $P = {}^1/_{1000}\ Q$.

Ülesanded.

1. Pressi (J. 383) kruvikäik $h = 5$ mm, kruvipea raadius $R = 80$ cm. Tööline tarvitab kruvipea keeramiseks $P = 15$ kg jõudu. Kui suure jõuga Q pressib kruviots alusele pandud asja peale? (V. $Q = 15072$ kg.)
2. Lõputa kruviga (J. 384) vaja $Q = 960$ kg raskune vesivärav üles tõsta. Suurt jõudu P peab tarvitama tööline, kui keeramise vända raadius $R = 80$ cm, võlvi (millele raskus kinnitatud) raadius 10 cm ja hammasrattal 120 hammast? (V. $P = 1$ kg.)

§ 100. Raskuspunkt.

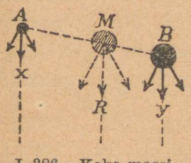
1. Raskuspunkti mõiste. Raskuspunkti leidmine on tähtis näide paralleelsete jõudude ühendamisel. Tõmbab maakera keskpunkt massi M ligi, siis mõjub see tõmbejõud iga massi osakese m peale jõuga mg (J. 385). Neid jõude võib paralleelseteks pidada, sest et mass maakera keskpunktist kaugel. Nende resultant R võrdub keha kogukaalule. Punkt S, kuhu see resultant rakendatud, nim. massi **raskuspunktiks.** Kuidas mass ka ei pööruks, on resultant ikka samasesse punkti S rakendatud. Võib omale ettekujutada, nagu oleks kogu keha mass temasse koondunud (keha masside keskpunkt).



J. 385. Raskuspunkt.

2. Toetamine raskuspunktis. Kui raskuspunktis S kujutame jõule R vastujõu R' ($R' = R$), siis hoiab see tõmbejõu tegevust tasakaalus. Tähendab, raskuspunktis toetatud keha püsib paigal igas olekus.

Igat sirgjoont, mis punktist S läbi läheb, nim. **raskusjooneks.** Toetatakse keha raskusjoone sihis, siis jääb keha paigale.

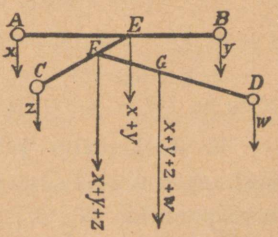


J. 386. Kaks massi.

3. Toetamine mõnes teises punktis. Toetatakse keha mõnes teises punktis, siis pöörub keha senni, kunni raskuspunkt kõige madalamale jõuab. Sellepärast, leiame praktikas keha raskuspunkti, kui teda kahes punktis üles riputame ja raskusjooned ära määrame.

4. Lihtsamad juhused. a) Kahe massipunkti A ja B raskuspunkti leiame, kui nende vahelise kauguse jagame vastuproportsionaalselt massidele (J. 386).

On R raskuste x, y resultant, siis rakendub ta ikka punkti M, kaldugu ühendusjoon AB maakerale kuidas tahes, sest et x ja y ei muutu. A ja B punktide raskust võib nulliks arvata, kui punktis M massi raskusega $A + B$ kujutame.

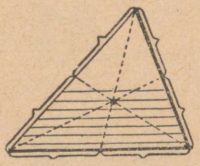


J. 387. Mitu massipunkti.

b) Mitmele massipunktile A, B, C, ... leitakse keskpunkt, kui massid üks teise järele ühendatakse, s. o. otsitakse enne masside A ja B keskpunkt E, siis saadud punkti E ja massi C keskpunkt jne. (J. 387.)

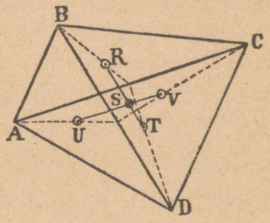
d) Raskuspunkti leidmine kehadel, millel lihtne geomeetriline kuju, on tihti lihtsate võtete abil võimalik. (Geomeetriline raskuspunkt.)

Ühetaolise joone (lati) geomeetriline raskuspunkt on keskpaigas, parallelogrammi raskuspunkt diagonaalide lõikepunktis, kolmnurga raskuspunkt küljepoolitajate lõikepunktis. (Tõendus: lõigatakse kolmnurk joonteks paralleelselt ühele küljele; nende raskuspunktid on joonel, mis neid poolitab; siis lõigatakse △ joonteks paralleelselt teisele küljele; J. 388.)



J. 388. Kolmnurga raskuspunkt.

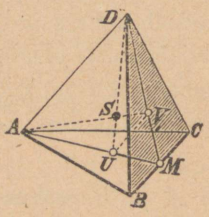
Nelinurga raskuspunkt leitakse selle jagamisel kolmnurkadeks (J. 389).



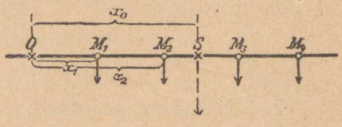
J. 389.

a) Tõmmatakse diagonaal ja leitakse kolmnurkade raskuspunktid R ja T. Oleksid R ja T ühesuurused, siis seisaks raskuspunkt S nende keskpaigas. Harilikult seda ei ole; kuid S peab RT peal lamama. b) Teine diagonaal jagab nelinurga kolmnurkadeks, mille raskuspunktid U ja V. — S on RT ja UV lõikepunktis.

Kolmetahulise püramiidi raskuspunkt lamab raskusjoonel DU alusest ¼ raskusjoone kõrgusel (J. 390). (DU käib läbi tipust ja aluse raskuspunktist.) On U aluse ABC raskuspunkt, siis on DU püramiidi raskusjoon. (Tõenduseks jagatakse püramiid paralleelselt alusele peenikesteks plateteks; nende raskuspunktid on DU peal.) On edasi V tahu BCD raskuspunkt, siis on AV teine püramiidi raskusjoon. Mõlemad raskusjooned lõikuvad punktis M.



J. 390. Püramiidi raskuspunkt.



J. 391. Raskuspunkti leidmine arvutamise teel.

1. $UV = \frac{1}{3} AD$ (sest $UM = \frac{1}{3} AM$ ja $VM = \frac{1}{3} DM$).

2. Kui aga $UV = \frac{1}{3} AD$, siis on kolmnurkade UVS ja DAS sarnasuse tõttu ka $US = \frac{1}{3} SD$ (ja $VS = \frac{1}{3} AS$; tähendab, $US = \frac{1}{4} DU$).

5. Raskemates juhustes leitakse raskuspunkt moment-lause abil. a) Kui ühel sirgjoonel, mis punktist 0 läbi käib, on x_1, x_2, ... massipunktide M_1, M_2, ... kaugused (J. 391) ja x_0 raskuspunkti S kaugus punktist 0, siis saame väite põhjal § 94, 4 antud juhusel:

raskuspunkti S asetatud **kogumassi** pöörde moment = üksikute masside pöörde momentide summale.

Punktide raskuste $(M\,g)$ jaoks leiame sellepärast võrrandi:

$$\underbrace{x_0\,[(M_1\,g) + (M_2\,g) + \ldots]}_{S\text{ moment}} = \underbrace{x_1\,(M_1\,g)}_{M_1\text{ moment}} + \underbrace{x_2\,(M_2\,g)}_{M_2\text{ moment}} + \ldots$$

ehk kui g ära jätta:

$$x_0 = \frac{\Sigma\, M \cdot x}{\Sigma\, M}$$

(Märk Σ tähendab summat.)

Kui $\Sigma\, M\, x = 0$, siis punkt 0 ongi raskuspunkt.

b) On x ja y massiosakeste M koordinaadid **tasapinnas,** siis on raskuspunkti koordinaadid

$$x_0 = \frac{\Sigma\, M x}{\Sigma\, M}; \qquad y_0 = \frac{\Sigma\, M y}{\Sigma\, M}$$

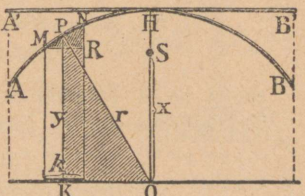
Näpunäide tõenduseks: raskuse sihti arvatakse esiteks paralleelselt X-teljele, siis paralleelselt Y-teljele ja leitakse, nagu eespool neil juhustel, pöörde momendid alguspunkti 0 suhtes.

d) On massi osakesed ruumi mahutatud, saame

$$x_0 = \frac{\Sigma\, M \cdot x}{\Sigma\, M}, \qquad y_0 = \frac{\Sigma\, M y}{\Sigma\, M}, \qquad z_0 = \frac{\Sigma\, M z}{\Sigma\, M}$$

milles x, y, z massiosakeste M koordinaadid ja x_0, y_0, z_0 raskuspunkti S koordinaadid.

6. Tarvitamine. a) Ringjoone kaare AB (J. 392) raskuspunkti S leiame, kui välja arvame selle punkti momendi diameetri suhtes, mis pingjoonele (kõõlule) AB paralleelne.



J. 392. Ringjoone kaar.

Osakese MN moment on: $\overline{MN} \cdot y$. Sarnastest kolmnurkadest MNR ja POK järgneb, et $y : r = MR : MN$, ehk $\overline{MN} \cdot y = MR \cdot r = k \cdot r$. Tähendab, osakese MN moment on $k \cdot r$.

Kõigi osakeste momente kokku arvates, saame, et kaare moment $= r\,(k_1 + k_2 + \ldots) = r$ korrutatud pingjoonega AB.

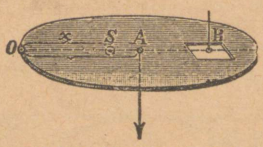
Saadud moment peab võrduma raskuspunkti S momendile, sest et kaare AHB mass raskuspunkti on koondatud. Sellepärast: $x \cdot$ kaar $AHB = r \cdot$ pingjoon AB, millest $x = r \cdot \frac{\text{pingjoon}\,AB}{\text{kaar}\,AB}$. Ringi poolkaare jaoks on $x = \frac{2}{\pi} \cdot r$.

b) Ringi sektori raskuspunkti saame, kui üles leiame kaare raskuspunkti, mis raadiusega $\frac{2}{3}\,r$ kujutatud.

Juhatuseks. Sektor jagatakse väikesteks sektoriteks, mida kui kolmnurki võib vaadelda. Nende raskuspunktid lamavad kaares $A'B'$, mille raadius $\frac{2}{3}r$.

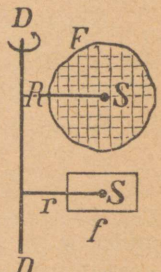
Ülesanded.

1. 19,6 cm pikk traaditükk käänatakse täisnurgaks, mille üks külg $l_1 = 11{,}2$ cm ja teine $l_2 = 8{,}4$ cm pikk. Raskuspunkt? (V. 3 cm kaugusel pikema külje keskpunktist.) Üldisel kujul, kui A külje l_1 keskpaik:
$$SA = \frac{l_2}{2(l_1 + l_2)} \cdot \sqrt{{l_1}^2 + {l_2}^2}.$$
2. Joonistamisega leida trapetsi pinna raskuspunkt.
3. Kepile AB, mis 20 gr raske ja 40 cm pikk, on viis pärlit à 10 gr seatud. Pärlite kaugused punktist A on 5, 10, 19, 27, 35 cm. Missugusesse punkti võib koondada pärlite ja kepi massid? ($x = 19{,}4$ cm, punktist A arvates.)
4. Sigari kastilt on kaas ära võetud; leida kasti raskuspunkt, kui kasti servade mõõdud $h = 8$ cm, $b = 12$ cm, $l = 24$ cm? (V. $x = h^2(b + l) : (2hb + 2hl + lb) = 2{,}67$ cm kõrgusel.)
5. Silindrilise võlvi, mille pikkus $l = 4$ m ja raskus $G = 40$ kg, otstele on kinnitatud rattad $G_1 = 100$ kg ja $G_2 = 60$ kg rasked. Kus on raskuste keskpunkt? (V. Keskpaigale, kui pöördepunktile, saadakse võrrand: $(G_1 + G_2 + G) \cdot x = (G_1 - G_2) \cdot l/2$, millest $x = 0{,}4$ m).



J. 393. Isesihilised jõud.

6. Näide paralleelsete isesihiliste jõudude jaoks. Ringisarnasest kettast (J. 393) on ruut välja lõigatud; vaja leida ülejäänud osa raskuspunkt S. [V. Ülejääk võetakse kui ketta A ja ruudu B vahe. Esimese raskuspunkt on $A\downarrow$, ruudu raskuspunkt aga $B\uparrow$ (ülespoole sihitud). Kui S ülejäägi raskuspunkt ja O vabalt võetud pöördepunkt, siis peab olema $x \cdot (A - B) = a \cdot A - b \cdot B$ jne.]



J. 394. Guldin'i seadus.

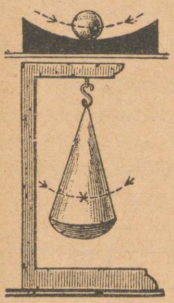
7. Guldini seaduse tõendamine: pöörub pind F telje ümber, siis võrdub saadud pöördkeha ruumala pinna F korrutisele raskuspunkti S teega. [Juhatus: a) otsekohene tõendus täisnurkse pinna f kohta, kui selle küljed a ja b on üks paralleelne ja teine ristjoones pöörde teljele; b) vabalt võetud pind F lahutatakse väikesteks täisnurgelisteks pindadeks; koguruumala võrdub nende summale. Väite tarvitamine: raskuspunkti moment = massiosakeste momentide summale.] (J. 394.)

§ 101. Tasakaal ja kindel seis.

1. Kolm tasakaalu juhust. Toetatud ja seega langemise eest kaitstud kehalt ei ole veel igakord ära võetud igasugune liikumise võimalus.

Raskuspunkti oleku järele on sarnasel kehal kolm isesugust tasakaalu olekut:

a) **Kindel (stabil) tasakaal,** kui raskuspunkt kõige madalamas olekus ja ta iga oleku muutusel kõrgemale peab tõusma (J. 395). Kohalt ära tõugatud tuleb ta mõne edasi-tagasi võngu järele endisele kohale tagasi.

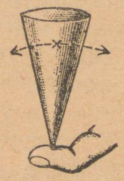


J. 395. Kindel tasakaal.

Näited: kera kausis; rippuv lamp; kella pendel; isetõusev klaasike.



b) **Mitte-kindel (labil) tasakaal,** kui raskuspunkt kõige kõrgemas olekus ja ta iga oleku muutusel alanema peab (J. 396). Väike oleku muudatus sunnib keha langema.



J. 396. Mitte kindel tasakaal.

Näited: kepi püstihoidmine näpu peal, mis väikesel vääratusel kukub; niisama kera, mida teise kera pinnale seatakse, jne.



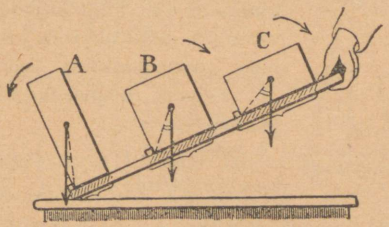
d) **Ükskõikne (indifferent) tasakaal,** kui raskuspunkt mingisugusel liikumisel maakerale läheneda ei saa (J. 397). Keha jääb igas olekus, mis temale antakse, paigale.



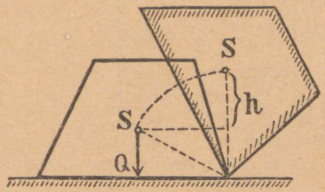
J. 397. Ükskõikne tasakaal.

Näited: ratas, mis teljel tiirleb. Kera horisontaal-pinnal. Iga keha, mille pöördetelg raskuspunktist läbi läheb.

2. Kindla seisu tingimised (stabiliteet). Iga alus ei hoia keha langemise eest. Seda on näha J. 398, millelt saame väite: keha seis on kindel, kui raskuspunktist läbi tõmmatud loodjoon läbi läheb aluspõhja pinnast. On see loodjoon väljaspool — langeb keha ümber.



J. 398.



J. 399. Töö.

Kindla seisu jaoks on küllalt kolmest toetuspunktist (kolme jalaga laud, alus jne.). Nende punktidega piiratud pinna ase mõjub kui täispind.

Kindla seisu môôduks on töö $Q \cdot h$, mida vaja teha keha ümberlükkamiseks, s. o. kindlast tasakaalust mitte kindlasse seada (J. 399). h on raskuspunkti kôrguse vahe oleku muutumisel.

Ülesanded.

1. Liivakivist kantik (erikaal = 2), mis 1 m³ suur, vaja ümber keerata; kui suur on tema kindla seisu môôt? [V. Töö $= Q \cdot (\frac{1}{2}\sqrt{2} - \frac{1}{2}) = 414$ (mkg).]
2. Miks on prismalise platte kindel seis isesugustes sihtides isesugune?
3. Kuubiline kast, mille servad a ja raskus G, on pooleni veega täidetud. Kui suur on töö, mida vaja teha, et kasti nii palju kui vôimalik serva peale kallutada? (Külgede paksust ei vôeta arvesse.) Kui kôrgel on lôpuks raskuspunkt?

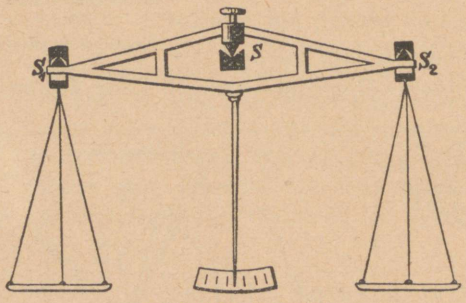
Kang-kaalud

§ 102. Ühepikkuste ôladega kaalud.

1. Katsumine. Katsutakse kaalusid harilikult kahes môttes, a) kas nad on ôiged, b) kas nad on tundelikud.

a) **Kaalud on ôiged:**

1. kui nende ôlad täpselt ühepikkused (katsutakse ühesuguseid kaalu-vihte taldrekute peale pannes),
2. kui kang tasakaalus horisontaalne (näitaja järele),
3. kui kaalud kindlas tasakaalus, s. o. kui kangi raskuspunkt M allpool pöördepunkti S asub (J. 400).



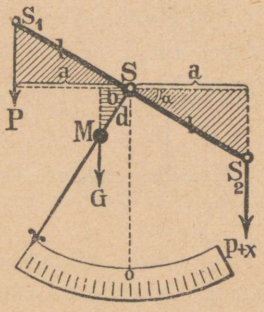
J. 400. Keemia kaalud.

Keemia ehk analüüsi kaalude kangil on kolm terasest tera S, S_1, S_2, millest kaks äärmist kaalude taldrekute kinnitamiseks, kuna keskmine, vastupidi sihitud tera, kaalude toetuspunktina agatist vôi terasest nôguslôike sisse juhitud on.

b) Kaalud nim. tundelikkudeks, kui nende näitaja ühe taldreku vähemagi ülekaalu (paberitükikese) olekul nähtavalt kôrvale kaldub. Tähtis on teada seda ülekaalu x, mis vastab näitaja kôrvalekaldumisele ühe môôdulaua pügala vôrra.

x leidmine. Ühele poole raskust x juurde lisades, tôstame kaalude raskuspunkti M kôrgemale (J. 401). Kangiraskus G on raskuspunkti rakendatud. M kauguse terast S märgime d-ga. Kang on tasakaalus, kui $x \cdot a = G \cdot b$, millest

$$x = \frac{G \cdot b}{a} = \left[\frac{G \cdot d}{l} \cdot \operatorname{tg} \alpha\right].$$



J. 401. Ülekaal.

Peab x väike olema, siis vaja valida G ja b väikesed, aga a suur, s. o.:

Kaalud on seda tundelikumad, mida pikem ja kergem kang ja mida ligemal ta raskuspunkt pöörde-punktile.

Valem. On näitaja pikkus Z, kangi poolpikkus L, skaala pügala laius δ, siis on ligikaudu $\operatorname{tg} \alpha = \frac{\delta}{Z}$; järjelikult: ühele pügalale vastab raskus

$$x = \frac{d \cdot \delta}{L \cdot Z} \cdot G.$$

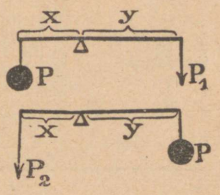


J. 402. Reiter.

2. Täpsemateks môôtmisteks tarvitatakse n. n. reiterit (J. 402), 1 sentigrammi $= {}^1/_{100}$ g $= 10$ mg raskune kokkukeeratud traadituk.

Tarvitamine. Kangi ôla on jaotatud kümneks ühepikkuseks osaks; reiterit seatakse nende osade peale senni, kunni kang tasakaalu jääb. On reiteri kaugus pöördepunktist 1, 2, ... 10, siis vôrdub tema tegevus 1, 2, ... 10 mg taldrekul.

3. Kaalumine kaaludega, mis ôiged ei ole. Sel juhusel kaalutakse kaks korda (kahekordne kaalumine). Esiteks seatakse keha P ühele taldrekule ja leitakse tema kaal P_1, siis teisele ja leitakse kaal P_2. Ôige kaal on $P = \sqrt{P_1 \cdot P_2}$. (J. 403.)



J. 403. Kahekordne kaalumine.

Tôendus. On x ja y ôlad, siis

1. kaalumisel $P \cdot x = P_1 \cdot y$
2. kaalumisel $P \cdot y = P_2 \cdot x$

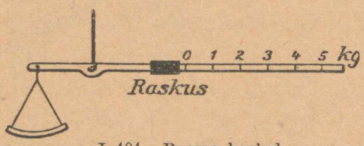
Korrutades: $P^2 x y = P_1 \cdot P_2 x \cdot y$

millest $\boldsymbol{P = \sqrt{P_1 \cdot P_2}}$.

Et harilikult P_1 vähe lahku läheb P_2, siis vôib geomeetrilise keskarvu asemel ligikaudne aritmeetiline vôtta : $P = {}^1/_2 (P_1 + P_2)$. Miks?

§ 103. Kiirkaalud. Kümnend-kaalud.

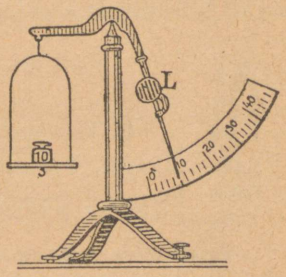
1. Rooma-kaalud suuremate raskuste jaoks kujutavad enesest sirget kangi, mille lühemale otsale taldrek ja pikemale otsale edasi-tagasi liikuv raskus kinnitatud (J. 404).



J. 404. Rooma kaalud.

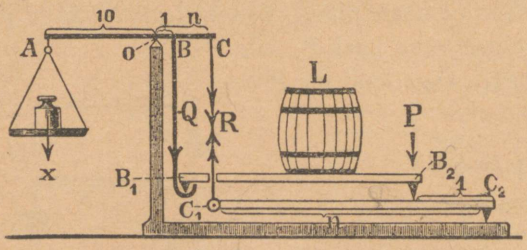
Kaalumine. Pannakse asi taldrekule, siis kasvab selle pöörde moment. Tasakaaluks vaja raskus kaugemale seada, et ka tema pöörde moment kasvaks. Pikema õla peal olevate mõõdu arvude järele võib kaalutava raskuse teada saada. (Margapuu.) — **Märkus.** Mõõdulaua osad on ühepikkused. (Tõendus?)

2. Kirja-kaaludes tarvitatakse nurk-kangi taldrekuga ja raskusega L (J. 405). Raskuse panemisel taldrekule tõuseb raskus L, mis temaga ühenduses oleva näitaja abil mõõdulaual kaalutava raskuse suuruse näitab.



J. 405. Kirja-kaalud.

3. Kümnend-kaalud (J. 406; detsimaal kaalud), millega suuri raskusi kaalu kümnendik-osades kaalutakse. Neis on ühendatud kolm kangi. Kahepoolne kang $A\ O\ B\ C$ (toetuspunkt O) kannab ühelpool õlal "10" kaalutaldrekut, teiselpool õladel 1 ja n tõmbevardaid Q ja R. (Tähelepanna: 10, 1, n on ainult suhte arvud.) Varras R kannab alumisel otsal ühepoolset kangi $C_1 C_2$, mille toetuspunkt C_2. Vardal Q ja kangil $C_1 C_2$ toetub n. n. sild $B_1 B_2$, millele kaalutav raskus asetatakse.



J. 406. Kümnend-kaalud.

Vaja tähele panna, et kangide jaotused on: kahepoolsel $10:1:n$, ühepoolsel $1:n$. - Vastavalt 3 kangile saame kolm võrrandit.

1. **Sild.** Raskus L jaguneb kaheks paralleelseks komponendiks P ja Q; sellepärast $L = P + Q$.
2. **Ühepoolne kang.** Jõud P mõjub õlal "1" allapoole, varda R tõmbepinge õlal "n" aga ülespoole. Tasakaal on, kui $P \cdot 1 = R \cdot n$.

3. Kahepoolne kang (toetuspunkt 0). See on tasakaalus, kui

$$x \cdot 10 = Q \cdot 1 + R \cdot n = Q + P = L.$$

Sellest on näha, et $x = {}^1/_{10}\ L$, olgu raskus L sillal kus kohal tahes.

Nende kaalude eesomaduseks on, et sild kôigil vôimalikkudel liikumistel ikka paralleelselt tôuseb ja langeb.

Tôendus. Tôusevad B ja B_1 ühe cm vôrra, siis tôusevad C ja C_1 n cm vôrra. Tôuseb aga C_1 n cm vôrra, siis tôuseb B_2 ainult 1 cm vôrra. Sedaviisi tôusevad B_1 ja B_2 ühevôrdselt, s. o. 1 cm.

4. Suurte raskuste kaalumiseks (näit. raudtee-vaguni) tarvitatakse sajandik-kaalud, kümnend-kaalude asemel. Nende ehitus on sarnane kümnend-kaaludele.

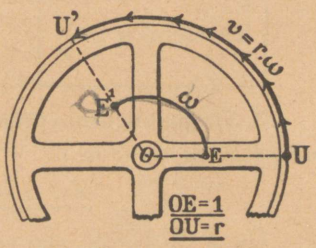
Tiirlemine

§ 104. Nurga-kiirus ω.

1. Ühtlaselt tiirleva keha **nurga-kiiruseks** ω nim. punkti kiirust üksuse kaugusel tiirlemise teljest (J. 407).

Punktis U, mis teljest kaugusel r, on

kiirus $v = r \cdot \omega$.



J. 407. Nurga-kiirus.

2. Valem. Tee, mis üksus-punkt E ühel tiirul teeb, on 2π. On tiiru aeg T, siis saame

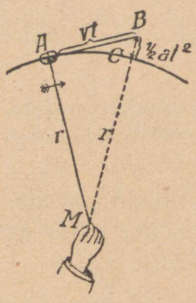
$$\text{nurga-kiirus} = \frac{\text{tee}}{\text{aeg}} \quad \text{ehk} \quad \omega = \frac{2\pi}{T}$$

Teeb ratas sekundis n tiiru, siis on ühe tiiru aeg $T = 1/n$ sek, ja $\omega = 2\pi n$. Tähendab, nurga-kiirus vôrdub tiirude arvule 1 sekundis korrutatud 2π-ga.

§ 105. Ühtlane ringjooneline liikumine.

1. Kesktômbe(tsentripetaal)-jôu tarvidus. Liigub keha ringjoont mööda, siis püüab ta püsivuse tôttu iga silmapilk edasi liikuda

sirgjooneliselt riivasjoone sihis (näit. A-st punkti B; J. 408). Et keha ikka ringjoonel hoida, siis peab tema peale mingisugune tõmme mõjuma. Seda tõmmet nim. **kesktõmbe-jõuks.**



J. 408.

2. Ringjooneline liikumine seisab koos kahest liikumisest, sarnaselt viskele:

a) keha peaks edasi liikuma riivasjoone sihis kiirusega v. (Tee t sek. $AB = v \cdot t$.)

b) keha peaks liikuma kesktõmbe-jõu sihis. (Sel põhjal langeb ta t sek. $BC = \frac{1}{2} a t^2$ võrra keskpunkti M poole.)

On C jälle ringjoonel, siis maksab riivasjoone lause $AB^2 = BC \cdot (BC + 2r)$; BC, mis suludes, võib läbimõõduga $2r$ võrreldes hoopis tähtsusetaks pidada, kui aeg t väike. Asetades AB ja BC väärtused, saame võrrandist $AB^2 = BC \cdot 2r$, et

$$\tfrac{1}{2} a t^2 \cdot 2r = (vt)^2, \text{ millest } a = \frac{v^2}{r}.$$

On M liikuva keha mass, siis võrdub nõuetava kesktõmbe-jõu suurus $Z = M \cdot a$.

Kiirendus $a = \dfrac{v^2}{r}$	**Kesktõmbe-jõud** $Z = M \cdot \dfrac{v^2}{r}$ (I. valem)

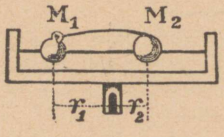
3. Nurga-kiiruse ω mahutamine valemisse. § 104 järele $v = r \cdot \omega$, mispärast $a = v \cdot \omega$ ja

$$\underline{Z = (M \cdot r) \cdot \omega^2} \text{ (II. valem).}$$

On T tiiru aeg, siis $\omega = 2\pi/T$, mispärast ka

$$\underline{Z = (M \cdot r) \cdot (2\pi/T)^2} \text{ (III. valem).}$$

Katse. Lastakse nööriga ühendatud massid M_1 ja M_2 vardal nii tiirelda, et neil tiiru aeg ühesuurune (J. 409), siis on tasakaalus momendid $M_1 r_1$ ja $M_2 r_2$ võrdsed, s. o. mõlemad massid tiirlevad oma raskuspunkti ümber.



J. 409.

4. Kesktõuke (tsentrifugaal)-jõud? Arvatakse, et kui, näiteks, keerutada kivi nööri otsas (J. 408), siis mõjub kivi käe peale tõmbejõuga, mis käest avaldatud tõmbejõule Z võrdub. Seda tungi nimetati enne põgenemis- ehk tsentrifugaal-jõuks. See aga, millest meie

kivi kinnihoidmisel üle saame, ei ole jôud, vaid on keha püsivuse takistus, et teda sirgjoonelisest liikumisest kôrvale juhtida.

Niidi katkemisel kaob kesktôuke-jôud silmapilk ja keha liigub (viimast) riivasjoont mööda. — Selguse mõttes peetakse aga kesktôuke-jôu mõistest kinni.



J. 410. Kaldumine sissepoole.

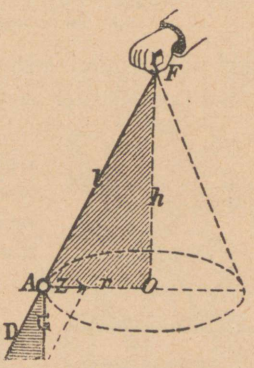
5. Kaldumine sissepoole. Vastuseismiseks oma keha raskusega kesktôuke-jôule peavad, näit. jooksja, ratsutaja suurematel kumerustel sissepoole kalduma (J. 410). Sarnase sissepoole kaldumise tekitamiseks raudtee kumerustel seatakse välisrööbas sisemisest kôrgemale (J. 414). — Sissepoole kaldudes mõjub keha raskus kesktôuke-jôule vastu.

Näide. Hobune, mis $G = 120$ kg kaalub, jookseb kiirusega $v = 8$ m/sek ringi mööda, mille raadius $r = 20$ m. Kui suuresti peab ratsanik sissepoole kalduma?

V.: $M = 12$ tehn. massi üksust; tähendab, $Z = \frac{12 \cdot 8^2}{20} = 38{,}4$ (kg).

Hobune peab oma raskusega 120 kg selle väljapoole sihitud tôuke 34,4 kg tasakaalus hoidma. (See on siis, kui Z ja G resultant ristjoones hobuse seljale.) Kaldumise α saame: $\operatorname{tg} \alpha = Z/G = 0{,}32$, s. o. $\alpha = 18^0$.

6. Koonus-pendel (J. 411) seisab koos raskest kerakesest, mis niidi otsas ringjoont mööda ühtlaselt liigub. Selle ringjoone kesktômbe-jôud Z on kerakese raskuse G komponent: $Z = G \cdot \operatorname{tg} \alpha$.



J. 411. Koonus-pendel.

Raskus G lahuneb kaheks jôuks: D — niidi pinge, mis pendli liikumise peale mõju ei avalda, ja Z raadiuse sihis. Et $G = Mg$ ja $\operatorname{tg} \alpha = r/h$, siis saame, $Z = Mr \cdot g/h$.

Kesktômbe-jôu II valemi ($Z = Mr\omega^2$) järele peab tegur g/h nurga-kiiruse ω ruut olema; sellepärast

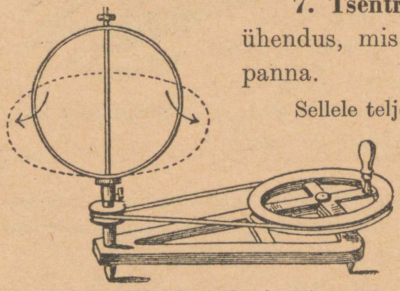
$$\omega = \sqrt{g/h}.$$

On T tiiru aeg, siis peab teisest küljest $\omega = 2\pi/T$. Nendest kahest ω väärtusest järgneb, et

$$\boxed{\text{vôngu välde } T = 2\pi\sqrt{\frac{h}{g}}}$$

Märkus: $h = l\cos\alpha$. On α väike, siis võib $\cos\alpha$ asemele panna $1 - \frac{\alpha^2}{2}$; sellepärast $h = l\left(1 - \frac{\alpha^2}{2}\right)$ ja tiiru aeg võrdub

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \cdot \sqrt{\cos\alpha} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\left(1 - \frac{\alpha^2}{4}\right) \approx 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}, \text{ kui } \alpha < 5^0.$$

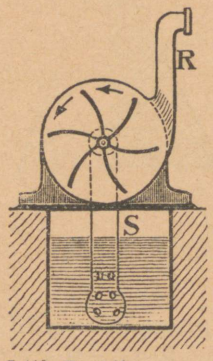


J. 412. Tsentrifuugi masin.

7. Tsentrifuugi masin (J. 412) on rataste ühendus, mis võimaldab telge kiirelt tiirlema panna.

Sellele teljele võib mitmesuguseid aparaate kinnitada, näit.: mudeli maakera lapikuse näitamiseks (J. 412); kesktõuke-jõu regulaatori; õõnsa kera, millel vesi sees.

8. Tarvitamist leiab kesktõuke-jõud, näit., kesktõukejõu pumbas, või-, pesumasinas, kunstlisel sõlmesõidul tsirkuses; arvesse võtmine raudteeröövbaste seadmisel (kumerustel on üks nendest kõrgemal).

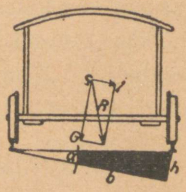


J. 413. Tsentrifuug-pump.

Tsentrifuugi pumbas (J. 413) tiirleb kiirelt labidatega varustatud ratas. Selle läbi tekib pumbas õhust hõrendatud ruum, millesse toru S kaudu õhk või vesi sisse tungib: esimesel juhusel mõjub ta kui lõõts, viimasel-kui veepump.

Ülesanded.

1. Nööri otsas keerutatakse tinast kerakest. Missugusel kiirusel katkeb nöör, kui kerakese M = 100 gr, nööri pikkus l = 40 cm ja nööri kandejõud F = 900 g? (V. Kui $Z = F$, s. o. $M\frac{c^2}{r} = 900 \cdot 981$ düüni; millest $c \approx 6$ m/sek.)



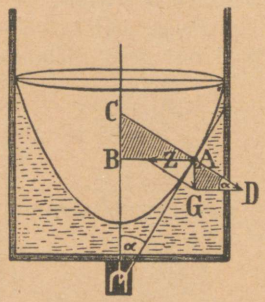
J. 414.

2. Keegi keerutab veega täidetud klaasi ringjoonel, mille läbimõõt d. Kui suur peab klaasi kiirus vähemasti olema, et vesi välja ei voolaks? (V. Z = raskusele G, s. o. $M\frac{c^2}{r} = Mg$, millest c leiame.)

3. Vaguni (M = 7000 kg) liikumise kiirus kumerusel raadiusega r = 100 m on c = 7 m/sek. Väljaarvata kesktõuke-jõud ja välisrööpa kõrgenemine, kui rattapaari vahe 1,435 m. (V. Z = 343 kg, kõrgenemine 65 mm.) (J. 414.)

4. Kiirrong (c = 25 m/sek) sõidab üle silla, mille kumerus r = 100 m. Kui palju näib silla keskkohal iga kgr rongi massist kergem olevat? (V. Umbes 625 g võrra.)

5. Tõendada, et silindris (J. 415) tiirlev veemass nõgusa paraboloidi kujutab. (Juhatus. Veetilga A raskus G lahuneb, nagu joonisel näha, kesktõmbe-jõuks Z ja rõhumiseks D. Joontega kaetud kolmnurkade sarnasusest järgneb, et "subnormaalil" CB kindel pikkus g/w^2. See on ainult parabooli omadus; subnormaal on tema ½ parameetrit.)



J. 415. Paraboloid.

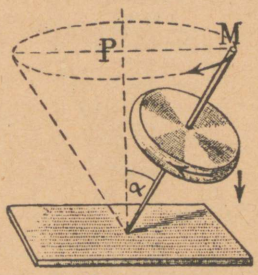
§ 106. Püsivus tiirlemisel.

1. Katse (J. 416). Riputatakse nööriga tsentrifuugi masina telje külge võti ja pannakse telg kiirelt tiirlema, siis seadub võti horisontaalselt, mida vaatleja ei oota. Võtmega vabalt võetud tiirlemise telg nim. vabaks teljeks.


J. 416.

Põhjus. Tiirleb kera vabalt võetud teljel, siis tekivad keha üksikutes osades ristjoones teljele kesktõuke-jõud, mis üks teist täiesti tasakaalus ei hoia; need jõud sunnivad keha pööruma, kunni nad tasakaalu jõuavad. Tähendab:

Vabaks teljeks nim. niisugune telg, mille suhtes kõik tekkivad kesktõuke-jõud üks teisega tasakaalus.



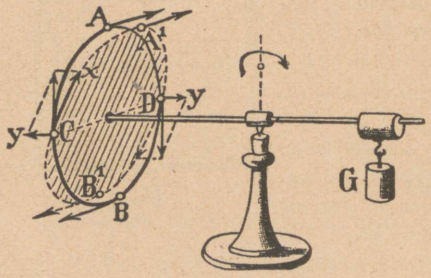
J. 417. Prätsessioon.

Igas kehas on kolm sarnast telge, mis üks teisega ristjoones. Ühe telje kohta neist on püsivuse moment (§ 110) maksimum; see vaba telg on kindel (stabil) ja katsetel seadub ta iseenesest.

2. Jõu mõju vurrkanni peale. Vurrkanniks nim. vabal teljel tiirlevat keha. Tahab mõni jõud tiirleva vurrkanni tasapinda pöörda, siis ei õnnesta see sellele mitte, kunni vurrkanni nurga-kiirus küllalt suur, ainult tema telg hakkab jõu sihi kui telje ümber koonuspinda kujutama. Sarnast vurrkanni telje edasi liikumist koonuspinnal nim. prätsessiooniks (J. 417).

Katse. Pannakse tiirlev vurrkann viltu alusele, siis peaks arvama, et ta maha kukub. Aga seda ei juhtu; tema telg kujutab loodjoone kui telje ümber koonuspinna.

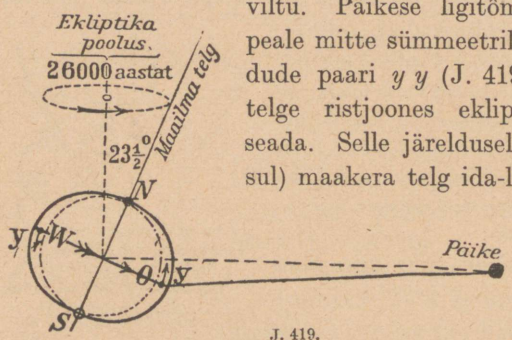
Poggendorff'i tõendus Fessel'i aparaadiga (J. 418). Käänatakse vurrkanni pind raskuse G riputamisel joontega märgitud olekusse, siis ei kannata sel liikumisel punktide A ja B kiirused sugugi, sest et nende siht ei muutu. Punktides C ja D on lugu teisiti. Kiirused lahunevad neis uueks vurrkanni kiiruseks x ja komponentide paariks $y\,y$, mis noolega näidatud sihis pööramise tekitavad.



J. 418. Fessel'i aparaat.

Pöörub aga ketas, siis lahunevad sarnasel viisil ka kiirused punktides A ja B ja sedaviisi tekib pöörde moment, mis G vastu mõjub. Järelduseks on, et vurrkanni telg koonuspinnal vertikaalse telje ümber liigub.

3. Maakera kui vurrkann. Maakera on keraga võrreldes ekvaatori kohalt nagu paisus; harilikult seisab see pais päikese kiirte vastu viltu. Päikese ligitõmme mõjub selle paisu peale mitte sümmeetriliselt ja kutsub esile jõudude paari $y\,y$ (J. 419), mis püüab maakera telge ristjoones ekliptikale (maakera teele) seada. Selle järeldusel kujutab (26000 a. jooksul) maakera telg ida-lääne sihis ekliptika telje ümber koonuse avausega $23\frac{1}{2}^0$. (Maakera telje prätsessioon.)



J. 419.

Nutatsioon. Sarnaselt päikesele mõjub ka kuu maakera telje liikumise peale; et aga kuu maakera ekvaatori tasapinna läheduses on, siis kujutab maakera telg kuu mõjul väikesi koonuseid. Seda nähtust nim. nutatsiooniks. Prätsessiooni ja nutatsiooni ühisel mõjul kujutab maakera telg prätsessiooni koonusel voldilise pinna. (Võrdlus voldilise filtriga.)

4. Foucault (Fukoo) pendli-katse. Lastakse vurrkann või, nagu Foucault omas katses (1851) Pariisi Panteoonis, raske keha pika nööri otsas meridiaani läheduses liikuma, siis võib aja jooksul märgata, et pendel meridiaanist ikka rohkem ja rohkem WNOSW sihis pöörub. (Tähtis maakera WSONW sihis tiirlemise tõendus.)

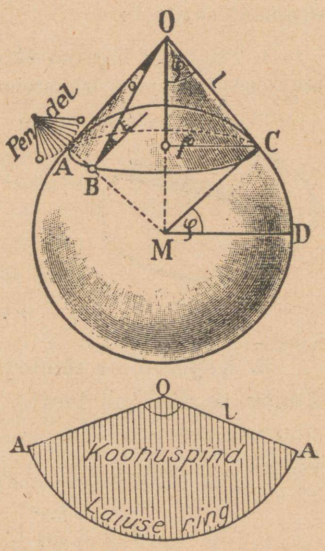
Pöörde suurus (J. 420). Võngub pendel meridiaanis $A\,O$ sihis, siis peab ta sellest sihist kinni ka siis, kui maakera tiirlemisel punkt A punkti B liigub; tähendab, ta ei liigu uues meridiaanis $B\,O$, vaid paralleelselt endisele sihile $A\,O$.

Pendli meridiaanist kõrvale pöörumise nurk ε võrdub nurgale o, mille meridiaanid A ja B laiuse ringjoone $A\,B$ riivaskoonusest O välja lõikavad.

24 tunni pärast on kogupööre ε võrdne kogupöörele o punktis O. Viimane on aga koonuspinna nurk O, kui koonus moodustajat mööda lahti lõigata ja tasapinda laotada.

$$\text{Nurk } O = \frac{\text{kaar}}{\text{raadius } l} = \frac{2\pi\varrho}{l} = 2\pi \sin\varphi.$$

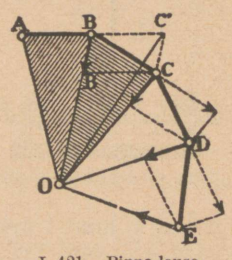
Tähendab, nabadel on 24 tunni jooksul pööre $2\pi = 360^0$, ekvaatoril 0^0. Keskmistel laiustel on pöörde suurus O ja 360^0 vahel.



J. 420. Pendli tasapinna pöörumine.

§ 107. Keskliikumine. Planeetide liikumine. Gravitatsiooni leidmine.

1. Mõjub liikuva keha peale jõud, mis ikka ühte punkti sihitud, siis nim. sarnast liikumist keskliikumiseks. Selle liikumise kohta maksab järgmine pinna-lause: liikuva keha raadius-vektor kujutab võrdsetel aegadel võrdsed pinnad.



J. 421. Pinna-lause.

Tõendus. On väikese aja τ jooksul keha tee $A\,B$ (J. 421), siis püüab ta järgmisel ajavältel τ püsivuse tõttu teed $A\,B$ sama pikalt $B\,C'$ võrra jatkata. Samal ajal τ aga tõmmatakse teda O sihis $B\,B'$ võrra, nii et ta lõppude-lõpuks (nagu J. 421 näitab) punkti C jõuab.

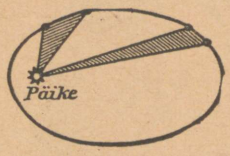
Et $\triangle A\,B\,O = \triangle B\,C'\,O$ (ühesuurused alused $A\,B = B\,C'$ ja võrdsed kõrgused) ja $\triangle B\,C'\,O = \triangle B\,C\,O$ (ühine alus $B\,O$ ja võrdsed kõrgused),

saame $\triangle A\,B\,O = \triangle B\,C\,O$ jne.

Pinna-lause on igale keskjõule maksev.

2. Planeetide liikumise kohta leidis Kepler (1571—1630) kolm järgmist seadust:

1. Planeedid liiguvad ellipsisid mööda, mille ühises tulipunktis päike asub; nende ellipsite lahkuminek ringjoonest on väga väike.



J. 422. Pinnalause.

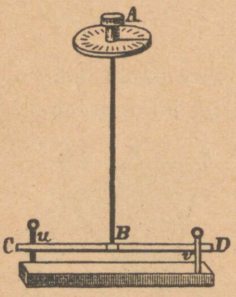
2. Pinnalause (J. 422). Planeedi raadiusvektor (ühendusjoon päikesega) kujutab vôrdsetel aegadel vôrdsed pinnad.

3. Ajalause. Kahe planeedi pöörumise aegade (T_1, T_2) ruudud ümber päikese suhtuvad, kui keskmiste kauguste (päikesest) (r_1, r_2) kuubid; tähendab, $T_1^2 : T_2^2 = r_1^3 : r_2^3$ ehk $\frac{r_1^3}{T_1^2} = \frac{r_2^3}{T_2^2}$ = kindlale arvule.

3. Koguilmline tômbejôu seadus (gravitatsioon). 70 a. pärast Kepleri seadusi tuli Newton'ile môttesse välja arvata kesktômbe-jôu suurust, mis planeete päikesele ligi tômbab. Ühe gramm-massile vastab see jôud § 105, 3 põhjal:

$$Z = \left(\frac{4\pi^2}{T^2}\right) \cdot RM = \left(4\pi^2 \cdot \frac{R^3}{T^2}\right) \cdot \frac{M}{R^2}.$$

Kepleri järele on suludesse mahutatud osa kindel suurus. Sellepärast järgneb sellest lihtsast arvutusest, et päikese ja planeetide vahel on olemas tômbejôud, mis kahaneb proportsionaalselt kauguse ruuduga päikesest.



J. 423. Lihtsamad pöördkaalud.

4. Masside üldine ligitômme. Et ligitômme päikese ja planeetide vahel vastastikkune peab olema, siis seadis Newton üles lause, et igalpool kaks ükskôik mis massi M_1 ja M_2 kaugusel r (cm) tômbuvad teine teist jôuga

$$\text{Tômme } K = \frac{M_1 \cdot M_2}{r^2} \cdot k \text{ (düüni)},$$

milles k kindel arv ja gravitatsiooni konstandi (jäädav-arvu) nime kannab. Prof. Richarz'i môôtmiste järele $k = 6{,}7 \cdot 10^{-8}$.

Cavendish tarvitas masside ligitômbe tôenduseks pöördkaalusid (horisontaal-pendel; J. 423), s. o. pikka kangi, mille otste külge tinast kerad olid kinnitatud, ja mida väga peene niidi otsa riputati. Kui Cavendish ettevaatlikult ühele neist keradest kolmandaga lähenes, siis tekkis môôdetav liginemine. Niidi keerumisest arvas ta k suuruse välja.

Küsimus. Kui suure jõuga tõmbuvad kaks 1 dm³ tinast kera 15 cm kaugusel? Vastus:

iga tinast kera mass (1000 cm³ à 11,4 gr) = 11400 gr,
kerade kaugus . . . . . = 15 cm.

Masside ligitõmme $Z = 6{,}7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{11400 \cdot 11400}{15^2}$ düüni = umbes $\frac{1}{30}$ düüni.

Leitud suurus võrdub selle raamatu paberi umbes ⅓ mm² raskusele.

5. Kehade kaal maakeral on masside tõmbe väljendus maakera ja keha vahel. Tähendab,

$$\text{kaal } G = k\frac{M \cdot E}{R^2} \text{ (düüni)},$$

milles E maakera mass, M keha mass ja R keha kaugus maakera keskpunktist.

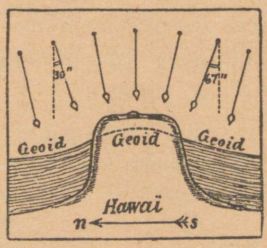
a) Maapinnalt kaugenemisel kahaneb keha kaal.

Väike arvutamine näitab, et 1 km kõrgenemisel maapinnast keha kaalu**kaotus** kõigest 0,0003 sellest raskusest on, mis tal maapinnal oli. (1 kg kaotab ainult ⅓ g kilomeetri peale.)

b) Sügavas kaevanduses keha kaal samati kahaneb. Sel juhusel, tähendab, ei tõmba kõik maakera osakesed allapoole, vaid osa neist tõmbab ka ülespoole.

d) Maakera keskpunktis on iga keha kaal null, sest et tema peale igast küljest ühesugune tõmme mõjub.

Oleks maakera keskpunkti ja pinna vahel õõnes ruum, kus tõmbejõud võrduvad, siis jääks kivi selles ruumis õhku seisma. — Pind, milles kaal kõige suurem, ei ühtu maakera pinnaga.



J. 424. Geoid.

e) Pinda, mis igal pool ristjoones loodjoonele (nagu merepind) nim. maakera **gravitatsiooni välja nivoopinnaks.**

Nagu J. 424 näha, kalduvad loodjooned kallaste ligidal maisamaa massi tugevama tõmbe mõjul oma õigest sihist kõrvale.

f) Umbes **7 maakera raadiuse** kõrgusel on õhuosakese kaal kesktõuke-jõuga Z tasakaalus. (Võimalik atmosfääri piir.)

Arvutamine: a) kaal $G = \frac{E}{(x \cdot R)^2} \cdot k$; b) $Z = \frac{4\pi^2}{T^2}(x \cdot R)\, M$

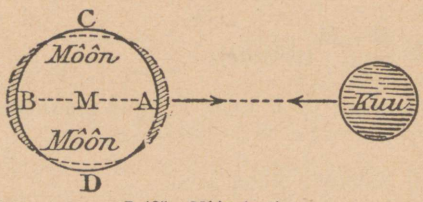
Võrdustest $G = Z$ ja $T = 86400$ sek. leiame, et $x =$ umbes 7.

6. Maakera **keskmine tihedus** on $\delta = 5{,}51$ gr/cm³.

Arvutamine: maakera ruumala $= {}^4/_3 \pi R^3$ ($R = 6370 \cdot 1000 \cdot 100$ cm); maakera mass $E = {}^4/_3 \pi R^3 \cdot \delta$. See tõmbab 1 gr massi Pariisis jõuga 981 düüni. Sellepärast

$$k \cdot \frac{E \cdot 1}{R^2} = 981, \text{ millest } \delta = 5{,}51.$$

7. Mõõna ja tõusu nähtused tekivad tõmbejõu mõjul, mida kuu maakera veekogude peale avaldab (J. 425).



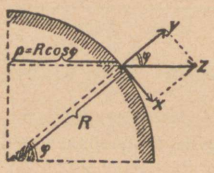
J. 425. Mõõn ja tõus.

Kuu tõmbab temale ligemal maakera poolel olevat veemassi grammi tugevamini ja teisel poolel nõrgemini, kui maakera keskkohal M. Tõmbaks kuu kõiki osakesi ühesuuruse jõuga, siis poleks maakeral mingisugust kuju muudatust. Sellepärast leiame tõelise kuu tõmbejõu mõjuvälja, kui kuule lähemal olevale poolele jõu x kuu sihis ja kaugemale poolele sama suuruse jõu x' vastupidises sihis kujutame. Jõu-paar xx' sunnib vee tõusma.

Vee kokkuvoolamise tõttu tõusukohtadesse tekib kohtadel, mis 90° esimestest kaugel, mõõn (vee alanemine).

a) Maakera pöörub kuu ees päeva jooksul ringi, sellepärast on igas mereäärses kohas päevas kaks korda tõus ja mõõn, vastavalt nähtavale kuu liikumisele ümber maakera, iga 12 tunni 25 min. 14 sek. järele.

Tõus ei teki kuu kulminatsiooniga ühel ajal, vaid natuke pärastpoole; hiljaksjäämise aega nim. koha kõrgevee ajaks. — Kõrguste vahe mõõna ja tõusu ajal nim. tõusukõrguseks. Lahtistes meredes on tõusukõrgus ainult 60 cm, aga piiratud ja takistavais rannus tõuseb see kõrgus tihti 12 m ja kõrgemale.



J. 426. Maakera tiirlemise mõju.

b) **Kõrged ja madalad tõusud** tekivad kuu ja päikese koostegevusest. Sarnaselt kuule avaldab ka päike maakera peale tõusu ja mõõna tekitavat jõudu, kuid see on kuu omast poole vähem.

Kõrged tõusud tekivad siis, kui päike ja kuu ühel ajal kulmineerivad (s. o. noor-ja täiskuu ajal); siis võrdub tõus kuu ja päikese mõjul tekkinud tõusude summale. On aga päikese ja kuu olekud maakera suhtes 90°, siis tekib tõusude vahe, ja tõus on madalam.

8. Maakera tiirlemise kesktõuke tegevus. Geogr. laiusel φ on punkti kaugus maakera teljelt $\varrho = R \cdot \cos \varphi$. Punkti tee on päevas

$2\pi\varrho$, mispärast selle kiirus $v = 2\pi\varrho : T$, milles $T = 86400$ sek. Nende andmete põhjal leiame

$$\text{kiirus } v_\varphi = 463 \cdot \cos\varphi \text{ (m/sek)}.$$

Selle järele leiame laiusel φ maakera tiirlemisel tekkinud kesk tôuke-jôu kiirenduse $a = \frac{v^2}{\varrho}$, ehk

$$a_\varphi = 3{,}37 \cdot \cos\varphi \text{ (cm/sek}^2\text{)}.$$

Nimetatud kiirendus lahuneb kaheks komponendiks: loodis ülespoole sihitud $y = a \cdot \cos\varphi$ (J. 426) ja lôunapoole sihitud $x = a \cdot \sin\varphi$. Esimene kahandab maakera normaalset kiirendust g' (kui maakera paigal seisaks).

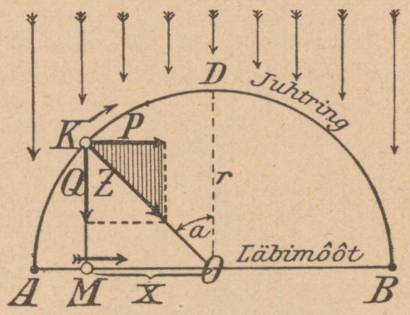
Katseliselt leitud maakera kiirenduse valem antud laiusel φ on.

$$g_\varphi = 978 + 3{,}37 \cdot \sin^2\varphi \text{ (cm/sek}^2\text{)}.$$

§ 108. Harmooniline vônkuv liikumine.

1. Tekkimine. Projekteeritakse seinale liikumise tasapinnas koonuspendli kera, siis liigub kera vari edasi-tagasi kahe sirgjoone AB punkti vahel. Sarnast liikumist nim. harmooniliseks liikumiseks.

Üldiselt saame harmoonilise liikumise, kui mônda punkti K juhtringi mööda liikuda laseme ja punkti kohad (näit. ühepikkustel ajaväldetel) ringi läbimôôdule AB projekteerime (J. 427).



J. 427. Harmooniline liikumine.

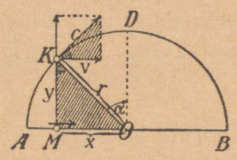
2. Liikumist tekitav jôud P. Ringjoonel liikuva massipunkti K peale môjub alaline kesktôuke-jôud $Z = (M r)\,\omega^2$, mille komponentideks lahutame: $P = Z \cdot \sin a$ paralleelselt ja $Q = Z \cdot \cos a$ ristjoones läbimôôdule $M O$. Esimene sunnib varju A liikuma, kui sel nagu K-l mass M oleks.

Et $\sin a = x/r$, leiame $P = (M\omega^2) \cdot x = P_1 \cdot x$.

P_1 on liikumisel kindel suurus, sellepärast järeldame: **harmooniline liikumine tekib, kui mõjuv jõud on proportsionaalne kaugusele mõnest kindlast punktist.**

3. Võnkuva punkti kiirus v võrdub juhtringil oleva punkti kiiruse c projektsioonile läbimõõdu AB peal, s. o. $v = c \cos \alpha$. Et $\cos \alpha = y/r$, saame $v = (c/r)\ y = y \cdot \omega$,

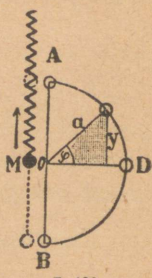
s. o. võnkuva punkti kiirus on proportsionaalne vastava ringpunkti ordinaadile. (J. 428.)



J. 428. Kiiruse v leidmine.

Tähendab: keskkohalt läbi minnes on jõud null, aga kiirus kõige suurem ($v = c$).

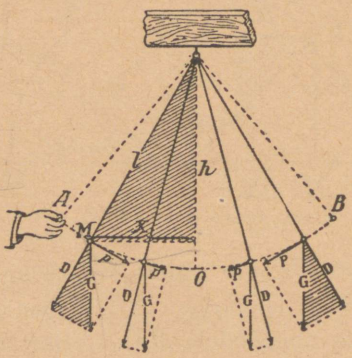
Näide. Vibava spiraal-vedru ots kujutab sarnaseid võnkumisi, sest et mõjuv jõud P on proportsionaalne pikenemisele (J. 429). Kergesti leidub sel juhusel jõud P_1 mis 1 cm pikenemist tekitab. Nr. 2 järele on $P_1 = M\omega^2$, millest saame $\omega = \sqrt{P_1/M}$, kui kaaludes massi M leiame. Et nurga-kiirus $\omega = 2\pi/T$, siis leiame lõpuks võngu aja välte $T = 2\pi/\omega = 2\pi\sqrt{M/P_1}$. Nagu näha, ei olene see võngu kaugusest, mis võnkuvale kehale antakse. (Praktikas peab massi M veel ⅓ vedru-massiga ühendama.)



J. 429.

§ 109. Pendel.

1. Pendliks nim. igat rasket keha, mis kinnituspunkti kohal võib võnkuda. Pendel nim. matemaatiliseks, kui raske punkt kaaluta ja venimata niidi otsas võngub (niitpendel).



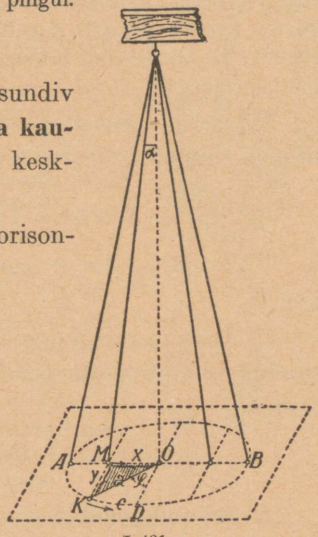
J. 430. Pendel.

Tõugatakse pendel paigalt, siis hakkab pendli keha edasi-tagasi liikuma, kujutades ringi kaart. Pendli liikumine seisab koos langust ja tõusust. Langul on liikumine kiirenev, tõusul kahanev. Paigalseismise kohad A ja B (J. 430) on energia-lause põhjal § 92, 6 ühekõrgusel.

2. Kiirendus või kahandus ei ole aga alaline, nagu jooniselt 430 näha: liikumist tekitaja jõud P on muutliku suurusega.

Raskus G lahuneb, nagu kaldpinnal, mõjuvaks jõuks $P = G \cdot \sin \alpha$ riivasjoone sihis ja rõhumiseks $D = G \cdot \cos \alpha$, mis riivasjoonega ristjoones. Viimane mõju ei avalda, ta hoiab ainult niiti pingul.

$$P = G \sin \alpha = G \cdot \frac{x}{l}.$$



J. 431.

Sellest järgneb, et pendlit liikuma sundiv jõud P on **proportsionaalne pendli keha kaugusele** x tasakaalu olekust (pendli niidi keskolekust).

3. Pikka pendlit võib sellepärast horisontaalsete jõudude mõõtmiseks tarvitada.

Iga cm kõrvalkaldumisele vastab tekitav jõud G/l; on kera kaal 1 g ja niidi pikkus $l = 100$ cm, siis vastab pendli iga cm kõrvalkaldumisele keskolekust jõud 10 düüni. Tarvitatakse Odstrčil'i el. pendlis (J. 431; § 37) ja tuule tugevuse mõõtmisel.

4. On pendli kaldumine ehk amplituud väike ($\alpha < 5^0$), siis võib kehaga M kujutatud kaart AB kui sirgjoont vaadelda (J. 431). Sel juhusel on pendli keha liikumine A ja B vahel harmooniliselt võnkuv.

a) Harmooniliselt võnkuva liikumise tundemärgiks on jõu P proportsionaalsus kaugusele keskpunktist O. Antud juhusel $P = P_1 \cdot x$, milles pendlile $P_1 = G/l$ vastab. — Näite järele § 98, 3 saame, et $\omega = \sqrt{g/l}$ ja sellepärast pool tiiru aega ehk

$$\text{Võngu välde } t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} = \pi \sqrt{\frac{\text{pikkus}}{\text{maakera kiirendus}}}$$

b) Kiirus v mõnes punktis M on harmooniliselt võnkuva liikumise seaduste järele proportsionaalne ringjoone koordinaadile y juhtringis, nimelt $v = \omega \cdot y = \sqrt{\frac{g}{l}} \cdot \sqrt{a^2 - x^2}$, kus a võrdub poole võngu kaugusele.

Sellepärast on koonus-pendli ja sama pika käesoleva pendli võngu aja välted väikestel kaldumistel ühesuurused.

5. Pendli seadused. Saadud valemitest, või lihtsate katsete abil, leitakse kolm pendli seadust:

a) **võngu välde** ei olene pendli keha raskusest ega kaldumise suurusest α, kunni viimane piiratud ($\alpha < 5^0$).

Juba Galilei 19 a. üliõpilasena vaatles Piisa peakirikus rippuvaid kroonlühtrid ja leidis, et ühepikkused rasked kui ka kerged lühtrid võnguks ühepalju aega tarvitavad. (Rasket pendlit võib mõttes mitmeks üks teise kõrval võnkuvaks kergeks pendliks jagada. — Sõjavägi liigub niisama kiirelt, kui üks sõdur.) Et Galilei ajal taskukellasid veel ei olnud, siis võrdles ta aega oma pulsi löökidega.

b) Ühes ja samas kohas on isesuguste pikkustega **pendlite võngu aegade ruudud** proportsionaalsed pendli pikkustele:

$$T_1^2 : T_2^2 = l_1 : l_2$$

Tähendab, alles 4 korda pikkem pendel võngub kaks korda kauem.

d) Isesugustes kohtades on ühe ja sama pendli **võngu aegade ruudud** vastuproportsionaalsed vastavate kohtade maakera kiirendustele:

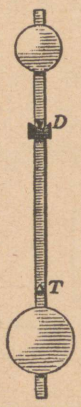
$$T_1^2 : T_2^2 = g_2 : g_1$$

6. Sekund-pendliks nim. pendlit, mis sekundis ühe võngu teeb. Pendli valemisse $t = 1$ asetades, saame

$$\text{sekund-pendli pikkus } l = \frac{g}{\pi^2} = 0{,}994 \text{ m (Pariisis)}$$

Tähendab, sekund-pendli pikkus on proportsionaalne vastava koha maakera kiirendusele g.

Ajaloost. Meetri pikkuse määramisel oli vaja maakera kaarekraadi ekvaatori ligidal mõõta. Kui Richer (1672) Pariisis õigelt käiva pendelkellaga ekvaatorile jõudis, siis märkas ta, et kell järele jääb. Selle põhjuseks pidas ta asjaolu, et maakera pendli keha ekvaatoril vähema jõuga ligi tõmbab, kui Pariisis. See oli suur leidus, mis näitas, et maakera tõmbejõud ja seega kehade kaal igas maakera paigas isesugune on.



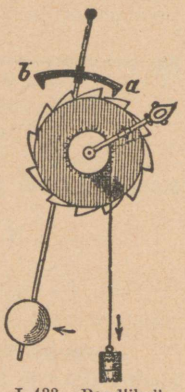
J. 432. Füüsiline pendel.

7. Füüsiliseks pendliks nim. varrast, mis ühe otsaga mõne tera kohal võib pööruda ja mille alumine ots n. n. pendli läätsaga varustatud. Sarnane pendel võngub kiiremini, kui sama pikk matemaatiline pendel (J. 432).

Seda võib ette näha, sest et füüsilise pendli igat molekküli võib võtta kui matemaatilist pendlit: ülemised neist püüavad kiiremini liikuda ja kiirendavad pikkemaid, mille tõttu terve süsteem sama pikast matemaatilisest pendlist kiiremini võngub.

Füüsilise pendli **taandatud (redutseeritud) pikkuseks** l nim. sama kiirelt vônkuva matemaatilise pendli pikkust. Füüsilise pendli punkti, mis kinnituspunktist sellel kaugusel, nim. vônkumise keskpunktiks. Arvutuse teel leitakse, et kinnituspunkti ja vônkumise keskpunkti vahetada vôib.

8. Kelladeks nim. aparaate, mis korduva liikumise nähtuste varal ühesuuruseid ajavälteid näitavad. Vanasti tarvitati vee-ja liivakellasid (Harun al Raschid). Pendliga kella hakkas tarvitama Huygens alles 1680 a.



J. 433. Pendlikell.

Pendlikell (J. 433) seisab koos hammasrattast, mida harilikult raskuse môjul tiirlema pannakse. Kella seismise ajal takistab ratta liikumist pendli varrele kinnitatud kahehambalise sanga (ankru) hammas b. Tôugatakse pendel kôrvale, siis vabaneb ratas hambast ja liigub raskuse G môjul, kunni ta sanga teise hamba a vastu pôrkab ja seda ühes pendliga teisele poole tôukab. Sedaviisi saab raskuse langemine pendliga ajutiselt takistatud ja pendli liikumine alal hoitud.

Taskukellades, äratajates ja mônedes seinakellades on môjuvaks raskuseks kokkukeeratud spiraal-vedru ja pendli asemel rattake, mis väikese spiraal-vedru jôu môjul ikka oma tasakaalu olekusse tagasi liikuma sunnitakse.

Ülesanded.

1. Mitu vônku teeb pendel minutis

Pariisis, kui	nabal, kui	ekvaatoril, kui
$g = 981$ cm/sek^2	$g = 983$ cm/sek^2	$g = 978$ cm/sek^2
$l = 1{,}09$ m	$l = 200$ cm	$l = 326$ cm?
(V. $n = 57{,}3$)	(V. $n = 42{,}3$)	(V. $n = 33$)

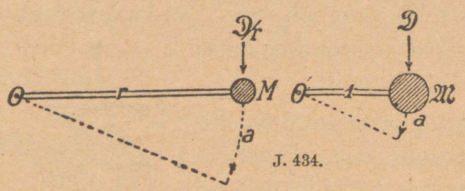
2. Kui sekundpendel Pariisist ($g = 981$) ekvaatorile viia, siis teeb ta päevas 125 vônku vähem, kui nabale, siis 83 vônku rohkem. Kui suur on g nabal? (V. Sekundpendel teeb päevas $n_1 = 86400$ vônku; ülesande järele on ekvaatoril $n_2 = 86400 + 125 = 86525$, vôrdest $n_1^2 : n_2^2 = g_2 : 981$ leiame, et ekvaatoril $g_2 = 978$ cm/sek^2; nabal $g_2 = 983$ cm/sek^2.)

3. Rauast sekundpendel käib 0^0 ôieti. Mitu vônku teeb ta päevas 30^0 C temperatuuril vähem? (Pik.-koef. $\alpha = 0{,}000011$.) (V. Pikkus 30^0 : pikkusele $0^0 = n_1^2 : n_2^2$, millest saame $n_1 - n_2 = 14{,}25$.)

§ 110. Püsivuse moment.

1. Ei ole tiirlemine ühtlane, siis vaja teada igal momendil nurgakiirendust, s. o. tiirlemise teljest üksuse kaugusel oleva punkti kiirendust. Kaugusel r on siis kiirendus $= r \cdot a$.

2. Keha püsivuse momendiks nim. teljest üksuse kaugusel olevat asemassi $\mathfrak{M}$, mis tiirlemisel **samasuguse nurga-kiirenduse** omab, kui keha.



J. 434.

Olgu M antud mass r kaugusel ja $\mathfrak{M}$ vastav asemass üksuse kaugusel pöördepunktist O (J. 434), siis omavad mõlemad massid pöörde momendi D. See on kas jõud D/r kaugusel r, või jõud D üksuse kaugusel. Sellepärast

$$M \text{ kiirendus} \ldots\ldots a' = \frac{\text{tegev jõud}}{\text{mass}} = \frac{D/r}{M}$$

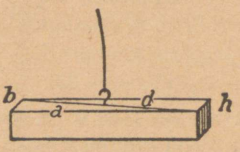
$$\mathfrak{M} \text{ kiirendus} \ldots\ldots a = \frac{\text{tegev jõud}}{\text{mass}} = \frac{D}{\mathfrak{M}}.$$

Nurga-kiirendused mõlemal juhusel saame, kui kiirendused vastavalt raadiustega r ja 1 jagame. Saadud nurga-kiirenduse väärtused peavad olema võrdsed, sellepärast

$$\frac{D}{Mr^2} = \frac{D}{\mathfrak{M}}, \text{ millest } \boxed{\mathfrak{M} = Mr^2},$$

s. o. massi M, mis pöördepunktist O kaugusel r, võib asetada massiga Mr^2 üksuse kaugusel samast punktist.

Keha võib mitmeks väikeseks massiosakeseks M_1, M_2, M_3 ... kaugustel r_1, r_2, r_3 ... lahutada ja igat massiosakest asemassiga $M_1 r_1^2$, $M_2 r_2^2$, $M_3 r_3^2$ ... üksuse kaugusel asetada. Siis on kogu-asemass ehk **püsivuse moment:**



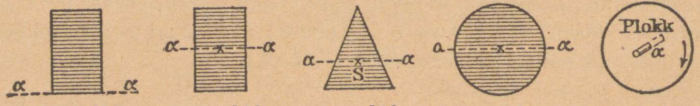
J. 435.

$$T = M_1 r_1^2 + M_2 r_2^2 + \ldots = \underline{\Sigma M r^2}.$$

Näited. a) Ühetaolise kepi püsivuse momendi leiame, kui ⅓ tema massist otsapunkti koondame:

$$T = m/3 \cdot l^2.$$

b) Ühetaolisele prismalisele pakule (J. 435) servadega a, b, h, mis h - ga paralleelse telje ümber võngub, on $T = m/3 \cdot d^3$, milles d külgedele a ja b ehitatud täisnelinurga pool-diagonaali tähendab.



$T = \frac{h^3 b}{3}$ $T = \frac{h^3 b}{12}$ $T = \frac{h^3 b}{36}$ $T = \frac{r^4}{4}\pi$ $T = \frac{r^4}{2}\pi$

J. 436. Pindade püsivuse momendid.

3. Tiirleva keha liikumise energia võrdub asemassi liikumise energiale, s. o. $= \frac{1}{2} T \cdot \omega^2$.

Tõendus. On üksuse punkti E kiirus ω, siis on kaugusel r massiosakese M kiirus $r\omega$; tähendab,

$$\text{liikumise energia} = \tfrac{1}{2} M (r\omega)^2 = \tfrac{1}{2} T\omega^2.$$

Sarnase energia saame kõigile osakestele; et ω kõigil osakestel ühesuurune, siis on T üldisel juhusel kogukeha püsivuse moment.

Tiirlevatel kehadel, mis ühelajal ka edasi liiguvad (granaat, veerevad rõngad), on kaks liikumise energiat: a) tiirlemisel, b) edasiliikumisel:

$$\tfrac{1}{2} T\omega^2 + \tfrac{1}{2} M v^2.$$

§ 111. Liikumise hulk ja impuls.

1. Jõu tegevus. Mõjub vaba massi M peale jõud P, siis kasvab massi kiirus c võrrandi järele: $v = c + at$. Korrutame seda massiga M ja tähelepannes, et Ma võrdub mõjuvale jõule P, saame

$$\underbrace{M \cdot v - M \cdot c}_{\text{liikumise hulga kasvamine}} = \underbrace{P \cdot t}_{\text{impuls}}$$

Massi korrutist kiirusega nim. antud silmapilgu **liikumise hulgaks, jõu korrutist tegevuse välte ajaga-impulsiks.** Saame väite: liikumise hulga muutus võrdub impulsile.

2. Põrge ja tagasipõrge. Põrkavad kaks keha kokku, siis mõjuvad ühesuurused jõud mõlemate kehade peale ühekaua seaduse järele, et tegevusele vastab võrdne vastutegevus. Tähendab, mis üks keha liikumise hulgas kaotab, seda teine võidab.

Näide. Lastakse suurtükist, mille mass M_1, kuul, mille mass M_2, siis mõjub püssirohu jõud P mõlema keha peale ühekaua ja ühetugevalt. Tähendab, suurtükk ja kuul omasid ühesuuruse liikumise hulga. On lõpukiirused suurtükil v_1 ja kuulil v_2, siis peab $M_1 v_1 = M_2 v_2$.

3. Mitte-elastsete kehade keskpõrge. Põrkavad kokku kaks mitte-elastset keha (savist kerad), massidega M_1 ja M_2 ja ühele poole sihitud kiirusega v_1 ja v_2, siis mõjub põrkel tekkiv kujumuutev jõud ainult senni, kunni mõlemad kehad ühesuuruse kiiruse u (ühes sihis) omavad. Selle kiiruse leiame järgmiselt:

$$\underbrace{M_1 (v_1 - u)}_{\substack{\text{I keha liik. hulga} \\ \text{kaotus}}} = \underbrace{M_2 (u - v_2)}_{\substack{\text{II keha liik. hulga} \\ \text{võit}}} \quad \text{ehk} \quad u = \frac{M_1 v_1 + M_2 v_2}{M_1 + M_2}.$$

Selles peitub raskuspunkti lause: kehade raskuspunkti kiirus on enne ja pärast põrget ühesuurune (nimelt u).

Liigub mass M_2 massile M_1 vastu, siis vaja v_2 eitavalt võtta. Kui $M_1 = M_2$ ja $v_2 = v_1$, siis jäävad mõlemad kehad kokkupõrgates seisma.

4. Elastsete kehade keskpõrge. Kohtavad sirgjoonel ühes sihis kiirustega v_1 ja v_2 liikuvat kaks elastset keha massidega M_1 ja M_2, siis vaja masside kokkupõrkel tähelepanna kahte ajajärku:

a) **esimesel muutuvad kokkupuutumise** kohad, mis nii kaua kestab, kunni mõlemad kehad ühesuuruse kiiruse u omavad.

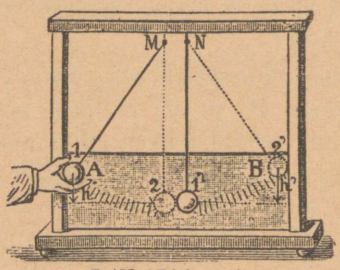
b) teisel ajajärgul saab keha **oma endise kuju tagasi.** Samad elastsuse jõud on vastupidiselt veel kord tegevad ja neist tekkiv impuls on sama tugev, kui endine. Tähendab, iga keha kiiruse muutumine on kaks korda nii suur, kui enne. On V_1 ja V_2 uued kiirused, siis leiame:

I kehale	II kehale
$u = \frac{V_1 + v_1}{2}$, millest	$u = \frac{V_2 + v_2}{2}$, järjelikult
$V_1 = 2\frac{M_1 v_1 + M_2 v_2}{M_1 + M_2} - v_1$	$V_2 = 2\frac{M_1 v_1 + M_2 v_2}{M_1 + M_2} - v_2$

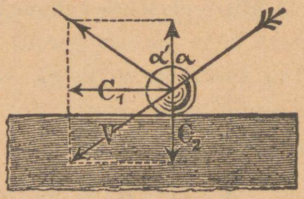
Iseäralised juhused. I. On M_2 väga suur ja seisab paigal ($v_2 = o$) (näit. kindel elastne sein), siis ka $V_2 = o$; s. o. see mass jääb seisma. Sarnaselt leiame, et $V_1 = -v_1$, s. o. vastupõrganud keha keerab sama kiirusega tagasi. (Katse ristjoones maha visatud kummipalliga.)

II. On $M_1 = M_2$ (kaks billardi palli), siis $V_1 = v_2$, $V_2 = v_1$, s. o. massid vahetavad oma kiirused. [Katsed: a) põrkemasinal (J. 437); b) metall-rahade reaga.]

5. Viltu põrge. Viltu põrkamisel lahuneb põrkava keha kiirus v rist- ja riivasjoone sihtides komponentideks (J. 438).



J. 437. Põrkemasin.



J. 438. Refleksioon.

Esimene vabastab elastsed jõud, viimane jääb muutmata. Põrkab, näiteks, elastne kera vastu kindlat seina, siis on komponendile c_2 I juhus, s. o. ta keerab kiirusega c_2 tagasi ja ühineb vastupidises sihis c_1-ga.

Sellest saame **põrke seaduse:** põrkab elastne kera vastu kindlat seina, siis peegeldub ta sellest sama nurga all, mille all ta temaga põrkas.

6. Õhuvoolu põrke rõhumine pinna f peale leitakse impulsi valemist $P \cdot t = Mv$, kui $t = 1$ arvatakse.

Näide: on moleküülide kiirused enne põrget v ja pärast — v, siis on ühe moleküüli liikumise hulga kaotus $2 \cdot mv$. Sekundis põrkavad vastu pinda f kõik moleküülid, mis pinnast v kaugusel, tähendab, mass $f \cdot v \cdot \delta$ (kus δ ühe cm^3 mass); sellepärast

põrke rõhumine $P = 2 \cdot f \cdot v\delta \cdot v = \mathbf{2} f \cdot v^2 \delta$,

s. o. põrke rõhumine kasvab proportsionaalselt kiiruse ruuduga. (Sarnane on üldiselt keskkondade takistus.) — Tuule rõhumisele annavad katsed valemi:

$$P = \frac{v^2}{8} \cdot f$$

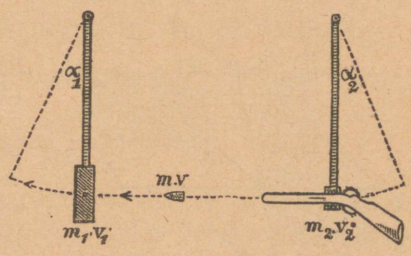
tehnilises mõõdu-süsteemis (§ 84). Maisamail on seda rõhumist kunni 125 kg/m^2 tähele pandud.

Ülesanded.

1. Kaks mitte-elastset savikera A ($M_1 = 1$ kgr, $v_1 = 3$ m/sek) ja B ($M_2 = 4$ kgr, $v_2 = 1$ m/sek) põrkavad kokku, liikudes 1) ühes sihis, 2) vastupidises sihis. a) Kui suur on nende ühine lõpukiirus v? b) Kui suur on neil liikumise energia kaotus?

2. Pendli niidi ($l = 100$ cm) otsa on billardi pall A ($M_1 = 100$ gr) kinnitatud. Pendel tõmmatakse 60^0 tasakaalu olekust kõrvale ja lastakse kõigest madalamal olekul kokkupõrgata teise billardi palliga B ($M_2 = 150$ gr), mis laua äärele pandud. Kui kaugele lendab viimane horisontaalses sihis, kui laua kõrgus $h = 120$ cm?

3. Kummist pall ($M = 50$ gr) langeb maha 160 cm kõrguselt ja tõuseb selle järele jälle 120 cm kõrguseni. a) Kui suur on põrkel liikumise hulga Mv ja liikumise energia kaotus? b) Millal jääb pall teoreetiliselt paigale, kui ta tõus igal kukkumisel samases vahekorras väheneb?



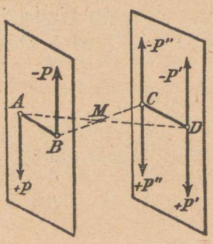
J. 439. Ballistiline pendel.

4. Suurt puupakku (mille mass $m_1 = 18$ kgr) kandva pendli ($l = 2$ m) (n. n. ballistilise pendli; J. 439) vastu lastakse püssist, mille kuul ($m = 30$ gr) puusse pidama jääb ja pendli $\alpha = 26^0$ võrra kõrvale viib. Kui suur oli kuuli kiirus v? [V. Võrdest $mv = (m_1 + m)\, v_1$ leiame $v = \frac{m_1 + m}{m} v_1$. Teiselt poolt leiame pendli kaldumisest $v_1 = \sqrt{2gh} = \sqrt{2gl\,(1 - \cos\alpha)} =$ umbes 2 m/sek; tähendab, $v =$ umbes 1200 m/sek.]

5. Selgitada mitte-elastsete masside põrke valemisi kahel iseäralisel juhusel: a) M_2 on M_1-ga võrreldes lõpmata suur. (Elevant ja sääsk.) — b) $M_1 = M_2$.

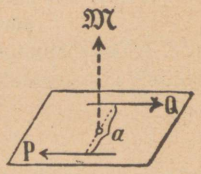
§ 112. Üldised kehade liikumised.

1. Jõu-paari omadused. a) **Jõu-paari võib paralleelselt edasi paigutada.** **Tõendus.** Olgu AB nihutatud olekusse CD. Rakendame punktidesse D ja C vastastikku võrdsed jõud $+P'$, $-P'$, $+P''$, $-P''$ (J. 440). Siis annavad P ja P' ühelt poolt ja $-P$ ja $-P''$ teiselt poolt vastupidi sihitud ühesuurused resultandid, mis parallelogrammi $ABCD$ keskpunkti rakendatud ja üks teisega hävinevad. Järele jääb jõu-paar ($+P''$, $-P'$).



J. 440.

b) **Jõu-paari võib tema tasapinnas pöörda.** Sümmeetria põhjal on paari tegevuse vahe isesugustel olekutel null.

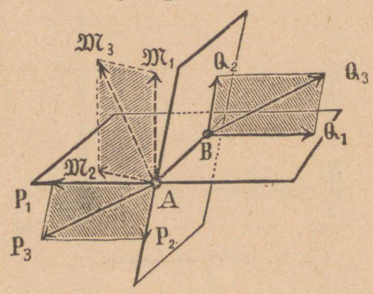


J. 441.

d) **Jõu-paari võib tema tasapinnas asetada iga teise paariga, millel samasugune pind $P \cdot a$.** Tõendus: lisatakse joonisel 355, nagu J. 354, abijõud z z' ja näidatakse, et parallelogrammide (P, Q) ja (P', Q') pinnad on võrdsed.

Sellepärast võib jõu-paari kujutada noolega $\mathfrak{M}$ (J. 441), mis ristjoones jõu-paari tasapinnale ja mille suurus jõu-paari momendi suurust $P \cdot a$ näitab (Poinsot, 1804).

2. Kaks jõu-paari. P_1, Q_1 ja P_2, Q_2 (kahes isesuguses tasapinnas) ühinevad jõu-paariks (P_3, Q_3), mille noole $\mathfrak{M}_3$ saame, kui paaride momentide nooled $\mathfrak{M}_1$ ja $\mathfrak{M}_2$ parallelogrammi lause põhjal ühendame (J. 442).



J. 442.

Mõlemad jõu-paarid kantakse tasapindade lõikjoone "üksuse kaugusele $AB = 1$" nii, et kõik jõud selle joonega ristjoones. Siis ühendame P_1 ja P_2, Q_1 ja Q_2. Saadud P_3 ja Q_3 on ühes tasapinnas ja kujutavad jõu-paaride resultant-paari. Kolme jõu-paari (P_1, Q_1), (P_2, Q_2), (P_3, Q_3) momentide nooled $\mathfrak{M}_1$, $\mathfrak{M}_2$, $\mathfrak{M}_3$ on AB kauguse üksuse valimise tõttu ühesuurused jõududega P_1, P_2, P_3 ja seisavad ristjoones vastavate jõu-paari tasapinnale. Sellepärast kujutavad $\mathfrak{M}_1$, $\mathfrak{M}_2$, $\mathfrak{M}_3$ parallelogrammi, mis ühtub parallelogrammiga P_1, P_2, P_3, esimene aga viimase suhtes 90^0 võrra pööratud. Tähendab: momentnooli võib ühendada niisama, kui jõu-nooli (s. o. vektoriaalselt).

3. Kõiki jõude, mis kindla keha külge ruumis rakendatud, **võib alati asetada ühe jõuga R ja jõu-paariga $\mathfrak{M}$** (J. 443).

Tõendus. Valitakse vabalt kehas mõni punkt O ja rakendatakse temasse paralleelselt iga jõule P, mis keha külge rakendatud, kaks vastupidi sihitud ja P-le võrdset jõudu $P' = Q'$ (J. 443). P ja Q' annavad jõu-paari, mida momentnoolega $\mathfrak{M}$ võib kujutada. Sedaviisi on P asetatud punktis O võrdse jõuga P' ja jõu-paariga $\mathfrak{M}$. Tehes nõnda kõikide jõududega P_1, P_2, P_3 . . ., saame resultantjõu R, mis kõik jõud P' ühendab ja üldise pöörde momendi $\mathfrak{M}$, mis kõikide jõu-paaride momentide summale võrdub. Kõikide jõudude tegevus on täiesti sarnane saadud ühe jõu ja ainsa pöörde momendi tegevusele.



J. 443.

Jõud R, mis rakendatud keha **raskuspunkti,** sunnib keha ainult edasi liikuma, moment $\mathfrak{M}$ aga annab kehale pöörleva liikumise.

N. n. sisemised jõud, mis keha molekuülide vahel tegutsevad, on paarikaupa vastastikku võrdsed, printsiibi põhjal, et tegevusele vastab võrdne vastutegevus; tähendab, annavad resultandi null. Raskuspunkti liikumist nad ei toeta.

Näide. Suurtükist väljalastud granaadi lennutee on parabool. Lõhkeb granaat mõnes parabooli punktis, siis lendavad osad mitmesuguses sihis laiali, kuid kõikide osade raskuspunkt jätkab endist paraboolilist teed, nagu ei oleks granaat lõhkenudki. (Raket; maakera ja kuu; planeetide süsteem.)

Kindelkehade molekulaar-omadused.

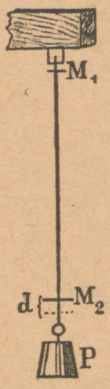
§ 113. Elastsus ja tugevus.

1. Elastsus (vedruvus) on sarnane omadus, et keha, kujumuutvatest jõududest vabanedes, jälle oma endisesse kujusse tagasi püüab. Kõige suuremat kujumuutvat jõudu, mille juures keha ikkagi täiesti elastseks jääb, nim. **elastsuse piiriks.**

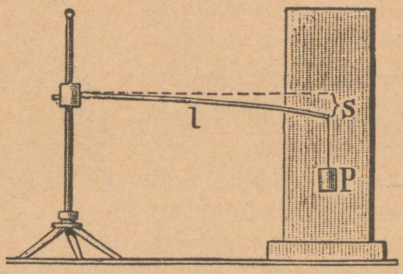
Selle järele, kuidas kehasid katsutakse, on elastsus mitmesugune: **tõmbe-** (vedrukaal, traksid, ahelad), **rõhu-** (peo-päkad, padjad, vankri vedrud, kummirõngad), **paindumise-** (turnipuu, piits, kirjutussulg, kummitoru), **pöörde-** (ehk torsioon) (kellavedru, sae pingenöör) elastsus.

2. Hooke'i seadus. Kui kujumuutev (deformeeriv) jõud ei lähe üle elastsuse piiri, siis on pööre, paindumine, pikenemine, jne. proportsionaalsed rakendatud jõule.

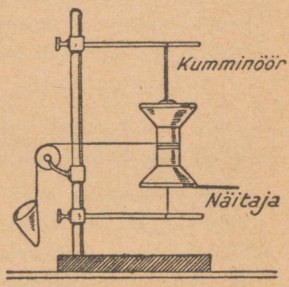
Järelkatse: raskuste riputamine a) kummist paela otsa (J. 444), b) ühe otsaga kinnitatud metall-varda vaba otsa külge (J. 445). — d) Kumminööri külge kinnitatakse silinder; silindri peale on keritud nöör, mis üle ploki käib ja mille otsa raskusi riputades silindrit ja sellega ühenduses olevat kumminööri pöörata võib (J. 446). Pööre kasvab proportsionaalselt pöörde momendile.



J. 444.



J. 445. Painutamine.



J. 446. Pööre.

3. Pikenemise valem. Pikenemise arvuks ε nim. arvu, mille võrra 1 m pikk ja 1 mm² läbilõikes traat 1 kg raskuse mõjul pikeneb. Vastupidine väärtus $1/\varepsilon$ nim. aine elastsuse mooduliks E. Tähendab, $E = 1/\varepsilon$.

See on jõud, mis (teoreetiliselt) traadi pikkust kahekordseks pikendab.

Mõjugu traadi peale, mille läbilõige q ja pikkus l, raskus P. Siis on pikenemine d, mis kasvab pikkusega l ja **pingega** P/q (mis ühe mm² peale tuleb), järgmine

$$\text{pikenemine } d = \frac{1}{E} \cdot l \cdot \frac{P}{q}$$

Elastsuse moodul $E = 1/\varepsilon$		Elastsuse piir G	
Teras	$E = 20000$ kg/mm²	Teras	30 kg/mm²
Raud	$E = 10000$ „	Raud	14 „
Vasktraat .	$E = 6400$ „	Vask	12 „
Tinatraat . .	$E = 500$ „	Tina	0,47 „

4. Venivuse piir ja murdumine. Tõuseb mõjuv jõud üle elastsuse piiri G, siis tekib varsti niisugune olek, milles mõned ained kiiresti ja kauakestvalt venivad ja järsku murduvad.

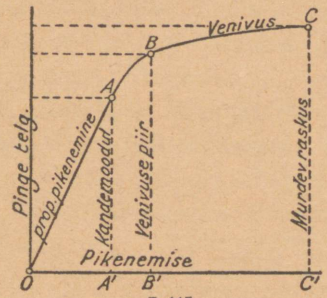
Seda näitab diagramm J. 447. Horisontaal-teljel on pikenemised d, vertikaal-teljel pinged $S = \frac{P}{q}$ (1 mm² läbilôike peale).

Tômbe tugevus on raskus 1 mm² peale, mis traadi katkestab. Rôhumise vastupidavus on raskus 1 mm² peale, mis platte purustab.

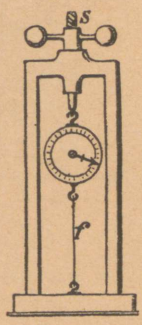
Tômbe tugevus		Rôhumise vastupidavus	
Teras	kunni 60 kg/mm²	Raud	kunni 70 kg/mm²
Raud	„ 38 „	Marmor	„ 10 „
Vask	„ 25 „	Teliskivi	„ 2 „
Tina	„ 2 „	Männapuu . . .	„ 6 „

Pikad köied võivad katkeda enese raskuse mõjul, näit. tinakaabel, mis 200 m pikk, sest et iga 1 mm² peale 200 · 11,4 = 2280 (g) raskust tuleb. Köie paksus siin ei aita.

Tômbe tugevuse järelkatsumiseks tarvitatakse J. 448 kujutatud aparaati, milles võib venitada kruviga s jõumõõtjaga ühenduses olevat traati.



J. 447.



J. 448. Tugevuse aparaat.

Kaitse-tegur. Tehnikas lubatakse aineid koormata ainult kunni mône murrulise osani tugevusest (metallidel $^1/_6$, puul $^1/_{10}$), mis alla elastsuse piiri on.

5. Aprus ja kôvadus

on kehade omadused, mis elastsuse piirist üleminekul väljenduvad.

a) Keha nim. apraks, kui ta juba vähemalgi elastsuse piirist üleminekul puruneb (väävlipulk, môôgatera). Visatakse Bologna-klaasi (kiirelt jahendatud klaasist) kivitükikene, siis lôhkeb klaas kildudeks. Klaas-pisarad tolmunevad, kui nende terav ots ära murtakse.

b) Keha nim. plastiliseks, kui ta püsivaid kujumuudatusi lubab (näiteks, vaha, tina, raudkang).

d) Üks keha nim. teisest kôvemaks, kui ta teist kriimustab. Mohs'i kôvadusskaala redelis (1804) on 10 mineraali, mis kôvaduse järele seatud: 1. talk, 2. gips, 3. lubjapagu, 4. sulapagu, 5. apatiit, 6. pôllupagu, 7. kvarts, 8. topaas, 9. korund, 10. teemant.

Ülesanded.

1. Palju pikeneb 5 m pikk raudtraat, kui teda elastsuse piirini koormata? (V. $d = 7$ mm.)

2. Kui palju pikeneks enese raskuse mõjul raudkang ($s = 7{,}5$), mis Eiffeli tornist (300 m) maani rippuks? (V. $d = 33{,}7$ mm.)
3. Kui suurt jõudu on vaja ühe cm³ telliskivi purustamiseks? (V. 200 kg.)
4. Kas võib insener lubada rauast traat-köiega, mille läbilõige 4 cm², ülestõsta marmortükki 1 m³ suur? (Seaduslik kaitsepiir $^1/_6$.) (V. Ei.)
5. Kui kõrge võib telliskividest (erikaal 1,6) torn üldse olla? (V. 208,3 m.)
6. 30 cm pikka ja 4 cm² läbilõikes teraskangi, mis kahe toe vahele pandud, kuumendatakse nii tugevasti, et ta 1 mm võrra pikeneks, kui tal need toed puuduks. Kui suurt rõhumist avaldab kang tugede peale: a) kui viimased sugugi järel ei anna, b) kui nad $^1/_5$ mm järele annavad? [V. a) 26667 kg, b) 21333 kg.]

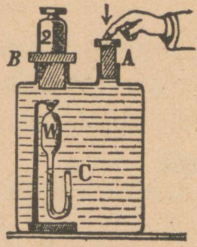
Mehaanika II osa.
Vedelikud.

§ 114. Rôhu edasiandmine.

1. Vedelikud lubavad endid väga vähe kokku suruda.

a) **Tõenduseks** seatakse vedelikku nõu, milles vesi *W* elavhõbedaga *C* korgitud, ja rõhutakse kannu *A* peale (J. 449; piesomeeter).

b) Kokkusurutavuse teguriks nim. ruumala kaotust, mille kaotab 1 l vedelikku, kui teda igast küljest 1 kg/cm² (= 1 at) rõhuda. Selle suurus on: veel 0,000050; elavhõbedal 0,000003; alkoholil 0,000080.



J. 449. Piesomeeter.

2. Rõhu edasiandmine. Rõhutakse mõnest kohast jõuga *p* kinnises ruumis olevat vedelikku (J. 450), siis on vedelik pingul ja mõjub tasakaalus olles rõhuva pinna peale *f*, kui ka iga teise sama suure nõupinna *f* peale sellesama jõu *p* suurusega. Tähendab:

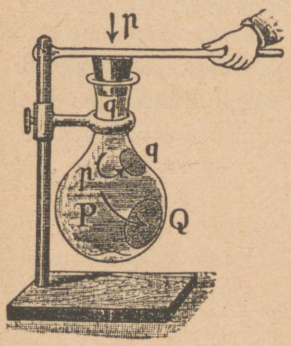
Vedelikud annavad rõhumist edasi ühtlaselt igas sihis. Sellest järgneb:

a) rõhumine iga nõupinna ruut-cm peale on ühesuurune;

b) rõhumised kahe isesuuruse pinna *F* ja *f* peale suhtuvad, kui pinnad

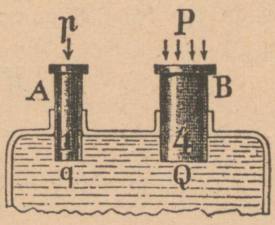
rõhud $P : p$ = pinnad $F : f$

Näide. On korgi (J. 450) pind 4 cm² ja rõhutakse teda p = 12 kg, siis langeb iga cm² peale 3 kg rõhumist. Selle rõhu mõjul tekib vedelikus nii suur pinge, et ta omalt poolt iga seina cm² peale 3 kg, s. o. 3 at rõhub.



J. 450.

3. Vedelikkude rõhu edasiandmise järelkatse sünnib Recknagel'i nõuga (J. 451), millel ülemises pinnas kaks isesuurust kannu. Katse eel täidetakse nõu veega.

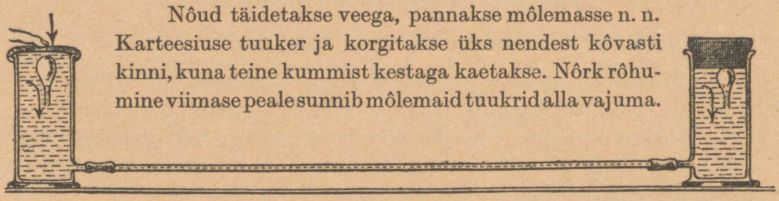


J. 451. Recknagel'i nõu.

On kannude *A* ja *B* läbilõiked 1 cm² ja 4 cm² ja koormatakse *A* 80 g, siis selgub, et tasakaaluks vaja panna *B* peale 4.80 g.

4. Töös võitu ei ole. Eelmises katses peab A alati neli korda pikema tee tegema, kui B, sellepärast on töö, mis A juures tehtud, niisama suur, kui B juures. (Mehaanika kuldseadus.)

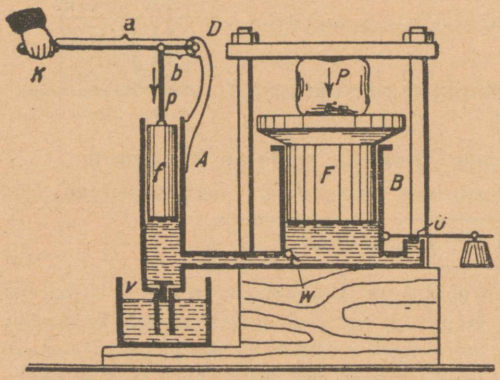
Hästi võib näidata rôhu edasiandmist kahe pika klaastoruga ühendatud püstklaasnôu abil (Ritz 1890). (J. 452.)



Nôud täidetakse veega, pannakse mõlemasse n. n. Karteesiuse tuuker ja korgitakse üks nendest kôvasti kinni, kuna teine kummist kestaga kaetakse. Nôrk rôhumine viimase peale sunnib mõlemaid tuukrid alla vajuma.

J. 452. Rôhumise edasiandmine, Ritz'i järele.

5. Tarvitamine hüdraulises (vesi-) pressis (inglase Brahma leitud, 1796). Hüdrauline press seisab koos, nagu J. 453 näitab, kahest silindrist, kitsast (läbilôikega f) ja laiast (läbilôikega F), mis pôiktoruga ühendatud. Enne tarvitamist täidetakse nôu ôhuta veega või ôliga ja kaetakse iga silinder liikuva kannuga.



J. 453. Hüdrauline press.
v = imev-ventiil, w = rôhu-ventiil, u = kaitse-ventiil.

a) **Käsitamine.** Ühepoolse kangiga avaldatakse kitsama kannu pinna f peale suurt rôhumist p, mis proportsionaalselt suurema kannu pinnale edasi andub, vôrrandi järele $p : P = f : F$ (I). Jôud K kangi ôlal a tekitab rôhumist p kangi seaduse järele:

$$K \cdot a = p \cdot b \quad \ldots \quad \text{(II)}$$

Nônda saadakse kaks rôhumise suurendust:

a) kangi abil $p = \left[\frac{a}{b}\right] \cdot K$; b) vedeliku abil $P = \left[\frac{F}{f}\right] \cdot p$.

Sellepärast vôrdub lôpulikult tekkinud jôud:

$$P = \left[\frac{a}{b}\right] \cdot \left[\frac{F}{f}\right] \cdot K.$$

On $a/b = 10$, $F/f = 100$, $K = 20$ kg, siis on $P = 20\,000$ kg.

Hüdrauline press on tehnikas tugevaks abinõuks suurte rõhumiste tekitamiseks. Tarvitatakse ehituste tõstmiseks, sõjalaevade soomuste painutamiseks, terasest ja graniidist kantikute purustamiseks. Krupp'i press annab ligi 10 miljoni kg rõhumist.

b) **Kõrvalosad.** Vee suuremast silindrist tagasivoolamise takistamiseks, kui vähemat kannu tõstetakse, on põiktorus n. n. rõhuventiil w. Imev ventiil v kitsa silindri põhjas võimaldab (nagu pumbas) veele tungida iga kangi tõstmisel väikesest veeruumist kitsamasse silindrisse.

Kaitseventiil u on ühepoolse kangi külge kinnitatud kaas; kang, mis varustatud liikuva raskusega, avaneb, kui vee rõhk kindla suuruse omab.

d) Toru A võib ka ära jätta ja põiktoru otsekohe veejuhiga ühendada. Juurevoolav rõhk-vesi tõstab kannu B pikkamisi üles.

On rõhk-vee rõhumine 4 at, siis surub ta kannu B, mille pind 1 m^2 = 10 000 cm^2, jõuga 40 000 kg.

Ülesanded.

1. Missugust rõhumist võib järgmiste hüdrauliste presside abil saada?

$a =$	$b =$	$f =$	$F =$	Jõud $K =$	[Vastus]
1. 49 cm	7 cm	2 cm^2	180 cm^2	2 kg	[$P =$ 1260 kg]
2. 36 „	9 „	5 „	500 „	10 „	[$P =$ 4000 „
3. 72 „	6 „	$d =$ 1,8 cm	$D =$ 36 cm	50 „	[$P =$ 240 t]
4. 72 „	8 „	$d =$ 1 „	$D =$ 20 „	12 „	[$P =$ 43200 kg]

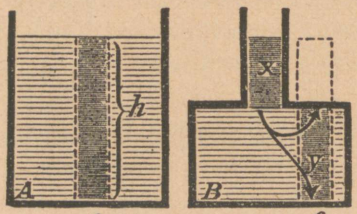
2. Hüdraulise pressi osade suurused on: $f = 2$ cm^2, $F = 180$ cm^2, $a = 49$ cm, $b = 7$ cm. Mõjutakse rõhumisega $K = 2$ kg. Kas võib sellega telliskivi kantikut, mille servad 5 cm, purustada, kui kivi tugevus 0,5 kg/mm^2? (V. Ja.)
3. Kui suurt rõhumist kannavad veega täidetud nõu seinad, kui nõu pind 500 cm^2 suur ja 2 cm^2 läbilõikega korgi peale on pandud 2 kg? (V. $P =$ 500 kg.)

§ 115. Rõhumine põhja peale.

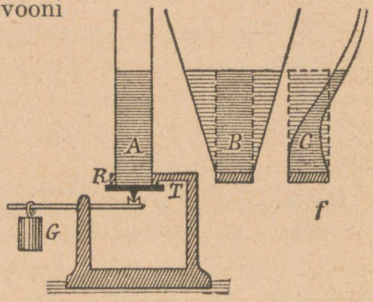
1. Põhja rõhuks nim. rõhumist, mida avaldab vedelik oma raskuse tõttu nõupõhja horisontaalse pinna peale. Silindrilise nõu kohta (J. 454) on selge, et vedeliku rõhumine põhja pinna f peale võrdub pinnale ristjoones oleva vedeliku samba kaalule. On kõrgus h cm ja cm^3 kaal s, siis saame valemi

$$\text{põhja rõhk } P = f \cdot h \cdot s$$

2. Pascal'i seadus (1648). Ei ole nõu silindriline, vaid mis tahes kujuline, siis näib raske olevat põhja rõhumist määrata. Pascal aga leidis seaduse: **põhja rõhumine ei olene nõu kujust,** tähendab, ta võrdub ikka (mõeldava) vedeliku samba kaalule, mis pinnale ristjoones ja kunni (vedeliku pinnani) nivooni ulatab.



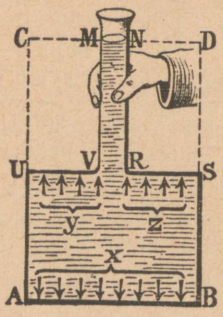
J. 454. Põhja rõhumine.



J. 455. Pascal'i aparaat.

Tõendus. On, näiteks, nõu kuju B (J. 454), siis koormab märgitud pinna osa f nähtavasti ainult sammas y; et aga samba x rõhumine igale poole andub, siis on kogurõhumine f peale $x + y$.

Katse Pascali aparaadiga (J. 455), mis võimaldab alusele kinnitada kolme isesuguse kujuga nõud A, B, C, mille põhjapinnad ühesuurused; plate T surutakse nõude vastu kangi abil, kui põhi. Vaja kõigisse kolme nõusse vett ikka ühekõrguseni valada, et kaalu G alla vajutada.



J. 456.
Hüdrostaatiline paradoks.

3. Hüdrostaatiliseks paradoksiks nim. nähtust, et rõhumine põhja peale sissevalatud vedeliku kaalu järele isesugune võib olla.

On tarvis, näiteks, ülestõsta veega täidetud nõu (J. 456), siis ei ole mitte vaja üle saada põhja rõhust, mille suurus on $ABCD$, vaid nii palju vähemast, kui suured on rõhumised y ja z kaane vastu. Viimane on $UVCM + RSND$.

Ülesanded.

1. Keldrist maja katuseni viib 15 m kõrgune ja 1 cm² paksune toru, mis alt ühendatud nõuga, mille põhja pind 1 m² ja kõrgus 5 cm. a) Kui suurt rõhumist kannab nõu põhja pind, ja b) kui palju vett on selles ehituses? [V. a) 15000 kg, b) 51,495 kg vett.]
2. Kuidas aru saada Pascali väitest, et ta võib ühe naela veega 100 naela rõhumist tekitada?
3. Silindriline nõu (kõrgus $h = 20$ cm ja raadius $r = 3$ cm) on kinni kaetud kaanega, millesse kinnitatud 5 m kõrgune 1 cm² läbilõikega toru. a) Kui

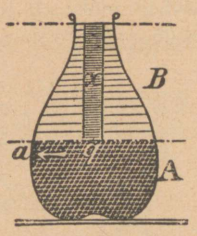
suur oleks rôhumine põhja ja nôu kaane peale, kui toru ja nôu elavhôbedaga täita? b) Kui raske on sissevalatud elavhôbe? d) Kui suur on põhja rôhumine, kui toru loodjoonele 60° nurga all kaldub?

§ 116. Rôhumine külje peale.

1. Külje rôhuks nim. rôhumist, mida avaldab vedelik oma raskuse tôttu nôu seinte mitte-horisontaalsete osade peale.

Rôhu leidmiseks seina pinnal f (J. 457) kujutatakse f kohal pôiki läbi nôu horisontaalne tasapind, milles **sama suurune pind** q antud. Viimase peale rôhub sammas x. Selle samba rôhumine andub vedeliku massis A igas sihis ühtlaselt edasi, sellepärast on ka vaatlusel olev pind f selle samba x rôhu all.

Tähendab, **külje rôhk vôrdub sama kôrgel olevale põhja rôhule** s. o. $P = f \cdot h \cdot s$, milles h on rôhutava pinna raskuspunkti kaugus vee pinnast.

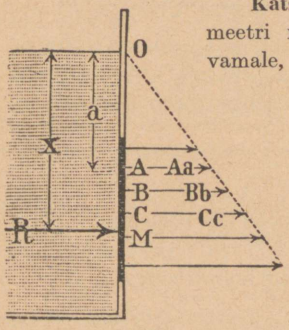


J. 457. Külje rôhk.

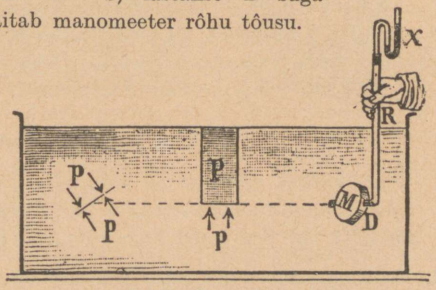
2. Üldistamine. Nôupinna osana vôib vedelikus vaadelda igat pinda. Sarnase pinna peale rôhub vedelik môlemalt poolt. See rôhumine jääb muutmataks, kuidas pinda ka ei keerata. Ta vôrdub ikka sama kôrgusel olevale põhja rôhule.

Järelkatse Hartl'i rôhumis-karbi D abil (J. 458). See karp on ühest küljest elastse nahaga M kaetud ja toru R kaudu manomeetriga x ühendatud.

Katsed: a) karbi D pööramisel ei muutu manomeetri näitamine x. b) lastakse D sügavamale, siis näitab manomeeter rôhu tôusu.



J. 459.



J. 458. Hartl'i karp.

3. Külje rôhu rakenduspunkt ei ole mitte rôhutava pinna F raskuspunktis, vaid vähe alamalolevas pinna F vônkumis-keskpunktis M (selle juures kujutatakse pinda nagu pendlit, mille kinnituspunkt vedeliku nivoo-pinnal).

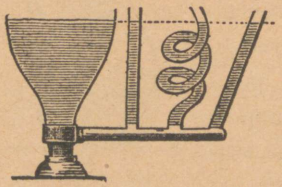
a) Külje rôhu R arvutamine (J. 459). On A, B, C... pinna F osad vedeliku pinnalt a, b, c... kaugusel, siis $R = (A\,a + B\,b + C\,c + \ldots) \cdot s$.

Suludesse paigutatud avaldus vôrdub raskuspunkti lause pôhjal pinna F momendile D punkti O suhtes, s. o. raskuspunkti momendile $F \cdot h_0$; sellepärast $R = F \cdot h_0 \cdot s$.

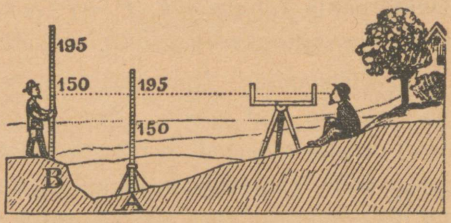
b) **Raskuspunkti leidmine.** Rôhumise R moment $R \cdot x$ peab vôrduma väikeste osade momentide summale punkti O suhtes, tähendab, $R \cdot x = (A a^2 + B b^2 + \ldots) \cdot s = T \cdot s$, milles T pinna püsivuse moment O suhtes. Sellest leiame, et $x = T/D$.

4. Ühendatud nôude (anumate) seadus. Valatakse ühesugust vedelikku ühendatud nôudesse, siis seisab neis kôigis vedeliku pind ühekôrgusel (J. 460).

Tôendus. Kujutatakse, et pôigiti ühendustorus on liikuv klapp, mille peale vedelik môlemalt poolt ühesuurust rôhku $f h s$ avaldab, kui vedelik môlemates nôuharudes ühekôrgusel.



J. 460. Ühendatud anumad.



J. 461. Nivelleerimine kaanal-kaaludega.

Ühendatud anumate seadus leiab tarvitamist kastekannus, kaanalkaaludes (J. 461), veetornides, purskkaevudes jne.

Kaanalkaalud (J. 461) seisavad koos veega täidetud ühendatud torudest, mis alusele kinnitatud. Horisontaalse sihi saame, kui üle vedeliku pinna môlemas torus vaatame. Sarnase lihtsa instrumendiga võib nivelleerimist, s. o. kôrguste vahe môôtmist, toimetada.

Ülesanded.

1. Ôônes kantik, mille servad 1 dm pikad, on täidetud elavhôbedaga. a) Kui suurt rôhumist avaldab vedelik 1 mm² peale 1, 2, 4 . . . cm sügavusel vedeliku pinnalt? b) Kui suurt kogu-rôhumist kannavad küljetahud?
2. Tuba on veega täidetud. Kui suur on rôhumine aknaruudul, mis 50 cm lai ja 55 cm kôrge ja mille keskpunkt 160 cm laest kaugel? (V. 440 kg.)
3. Kui palju on J. 461 punkt A madalamal kui B?

§ 117. Altrôhk.

1. Rôhumine ülespoole (J. 462). Horisontaalne pind vedelikus kannab kahesugust rôhumist: pealt, mis vôrdub tema peal asuva

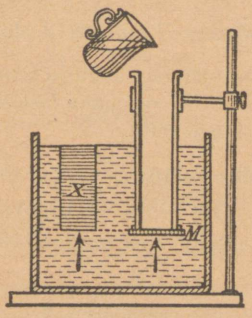
vedeliku samba kaalule x, ja sama suurt altrôhku, mis selle samba üleval hoiab.

Altrôhu näitamiseks pannakse vette lai klaastoru, mille alumise lahtise otsa vastu ôhuke klaas- vôi metall-plate M hoitakse. Lastakse viimane lahti, siis ei lange ta ära, sest et teda altpoolt vesi vastu toru rôhub. Selle rôhumise môôtmiseks valatakse torru värvitud vett, millega M koormatakse. See langeb aga alles siis toru küljest, kui värvitud vesi välisveega ühekôrgusele tôuseb.

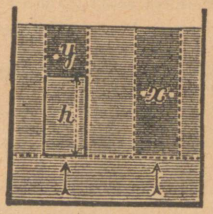
2. Arhimeedes' e printsiip. Altrôhuks ↑ nim. jôudu, millega vedelik sissekastetud keha ülespoole tôrjub. Altrôhu suuruse leidis juba Arhimeedes (220 a. en. Kr.):

rôhumine keha peale alt üles vôrdub kehaga väljatôrjutud vedeliku hulga kaalule.

3. Tôendus arutuste abil. a) Silinder-keha: pannakse niisugune keha vedelikku, siis rôhub teda vedelik igast küljest. Külje-rôhud hävitavad üks teist. Nônda ei ole lugu aga rôhu-



J. 462. Rôhumine alt üles kannab sammast x.



J. 463. Altrôhk.



J. 464. Altrôhk.

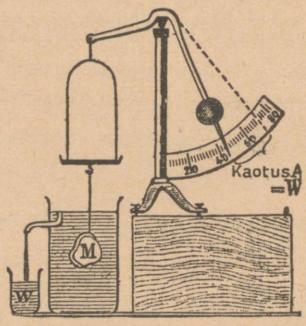
misega alt üles ja ülevalt alla. Alt rôhumine vôrdub vedeliku sambale x (J. 463), ülevalt aga sambale y.

Nende vahe $(x - y)$ tôrjub keha alt üles rôhuga, mis vôrdub silindri ruumala suuruses vôetud vedeliku rôhumisele (kaalule).

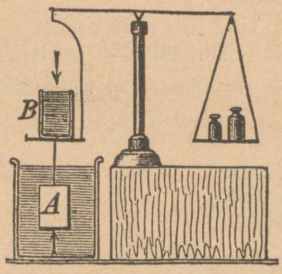
b) Tôendus Stevin'i järele (1624) vabalt vôetud keha suhtes (J. 464). Kui kujutada, et vedelikku pandud keha järsku samasuguseks muutub, kui teda ümbritsev vedelik, siis jääb ta, arusaadavalt, kohale püsima, sest et ümbrus teda kannab. Tähendab, keha peab ümbruselt sarnase rôhumise saama, mis vôrdub tema asemel olevale vedeliku kaalule.

4. Katseline tôendus. a) Mis tahes kehale (J. 465).

Riputatakse keha M kaalude taldreku külge ja märgitakse skaala järele kaal. Siis lastakse keha ettevaatlikult veega täidetud ülevoolu-klaasi. Siin vaja kahte asja tähele panna: 1. kaalud näitavad A grammi vähem, sest et keha vees kergem; 2. välja voolab W grammi vett, nimelt nii palju tôrjub keha välja. Juhitakse W môôduklaasi, siis on kerge näidata, et $W = A$.



J. 465. Arhim. printsiibi tôendus.



J. 466. Altrôhk A peale $= B$ sisule.

b) Täissilindrile A, mis täpselt ôônessilindrisse B mahub (J. 466).

B pannakse kaalude taldrekule, A riputatakse selle alla kinni ja kaalud seatakse tasakaalu. Tasakaal saab rikutud nii pea, kui A vedelikku lastakse; tasakaal on jälle jalale seatud, kui B sama vedelikuga täita.

5. Seaduse põhjal: **tegevusele vastab vôrdne vastutegevus,** ei rôhu ainult vedelik temasse pandud keha peale, vaid niisama tugevasti rôhub ka keha vedeliku peale; tähendab, vedelik raskeneb altrôhu vôrra.

Katse. Klaas vett seatakse kaaludel tasakaalu. Siis pistetakse 1, 2 ... cm^3 äramärgitud pliiats vette. Veele avaldatud rôhumise tasakaaluks vaja kaalude teise taldreku peale 1 g, 2 g ... panna.

6. Altrôhu valem. On keha ruumala V, erikaal s ja kehale vastava vedeliku ruumala v, erikaaluga σ, siis maksavad valemid:

kaal $P\downarrow = V \cdot s$	altrôhk $A\uparrow = v \cdot \sigma$

Kaal P on rakendatud keha raskuspunkti, altrôhk aga väljatôrjutud vedeliku raskuspunkti.

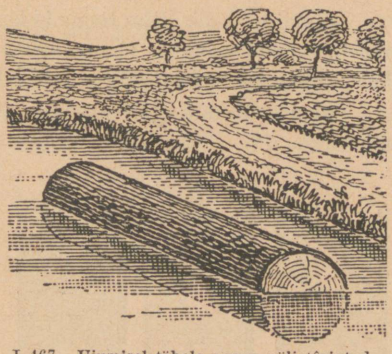
Ajaloost. Arhimeedes (287—212 a. en. Kr.) pidi kuninga Hiero ülesandel selgeks tegema, kas kullasepp, kellele kuningas templile määratud kullast krooni valmistamiseks 20 naela kulda annud, kôik kulla kroonisse paigutanud, vôi mônda osa sellest sama raske kuid vähemväärtuslise metalliga asetanud.

Seda küsimust mõtetes lahendada püüdes, võttis Arhimeedes hariliku vanni. Nii pea, kui talle meele tärkas vee altrõhk keha peale, olla ta vannist välja karanud ja oma kuulsa "heureka" (= leidsin!) hüüdnud. (Seletus: kroon K ja sama raske kullahulk G peavad ühepalju ruumi tarvitama, ühepalju vett välja rõhuma ja ühesuuruse altrõhu omama. Arhimeedes leidis, et lugu krooniga nii ei olnud, sest et 5 naela kulda oli asetatud 5 naela hõbedaga.)

Ülesanded.

1. Rauast kantik servadega 1 cm pistetakse elavhõbedasse nii, et tema pealmine pind 2 cm elavhõbeda pinna all on. a) Leida rõhumine kuue tahu peale. b) Kui suur on altrõhk? d) Miks tõuseb kantik ülespoole, kui teda lahti lasta? [V. a) 27,2 g; 40,8 g; 34 g; b) 13,6 g.]
2. a) Miks kaotab iga kantik 1 cm^3 suur, ükskõik mis ainest tehtud, täpselt 1 g oma kaalust, kui teda vette pannakse? b) Kui palju kaalub sellepärast 1 cm^3 rauda, elavhõbedat, hõbedat, kulda, plaatinat vees, kui palju petroleumis ($s = 0{,}8$)?
3. Rauatükk kaalub vees 620 g; kui palju kaalub ta õhus? (Raua erikaal õhus 7,2 g/cm^3, vees?) (V. 720 g.)
4. Marmoritükk ($s = 2{,}8$) kaalub petroleumis ($s = 0{,}8$) ainult 406 g; kui palju kaalub ta õhus? (V. 568,4 g.)
5. Keha altrõhk vees on 80 g; kui suur on see petroleumis, elavhõbedas? (V. 64 g, 1088 g.)
6. Rauatüki ($s = 7{,}2$) altrõhk vees on 79,2 g. Kui suur on altrõhk sama raskel marmoritükil ($s = 2{,}8$)?

§ 118. Ujumine.



J. 467. Ujumisel tähele panna väljatõrjutud vee hulka.

1. Kui keha üleni vedelikku panna ja seal lahti lasta, siis on **kolm juhust:** a) on altrõhk $A\uparrow$ kaalust $G\downarrow$ vähem, siis vajub keha allapoole; b) on altrõhk $A\uparrow = G\downarrow$, siis jääb keha vedelikku heljuma; d) on aga altrõhk $A\uparrow$ suurem, kui $G\downarrow$, siis kerkib ta vedelikus ülespoole ja tungib kehast välja senni, kunni $A\uparrow = G\downarrow$.

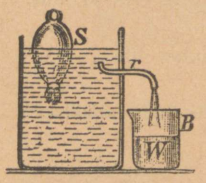
2. Tähendab, **ujumise tingimiseks** on, et kehaga väljatõrjutud vedeliku hulga kaal võrduks keha kaalule ($V \cdot s = v \cdot \sigma$) (J. 467):

altrõhk $\uparrow$ sisse kastetud osal	=	**kaal** $\downarrow$ kogu-kehal

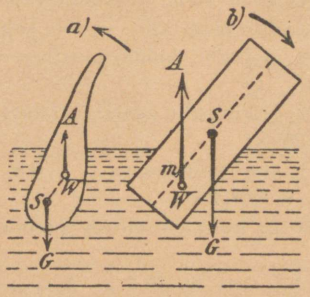
Alkhazini katse (1121): veega täidetud ülevoolu-klaasi pannakse ujuv keha *S* (J. 468). Väljatõrjutud vesi *W* kogutakse ja näidatakse kaaludes, et *W* sama palju kaalub, kui *S*.

3. Ujumise kindel olek. Ujuva keha külge on rakendatud kaks võrdset paralleel-jõudu: 1. keha kaal $G\downarrow$, mis rakendatud raskuspunkti *S*, 2. altrõhk $A\uparrow$, mis rakendatud väljatõrjutud vedeliku raskuspunkti *W*. See jõu-paar püüab keha senni pöörata, kunni *S* raskuspunkti *W* alla jõuab (J. 469).

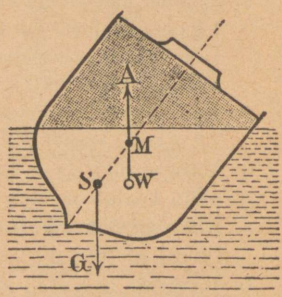
On *S* pealpool punkti *W*, siis langeb keha ümber (pliiats püsti vees). On *S* punkti *W* all, siis seab keha ennast tasakaalu (aräomeeter).



J. 468. Alkhazini katse.



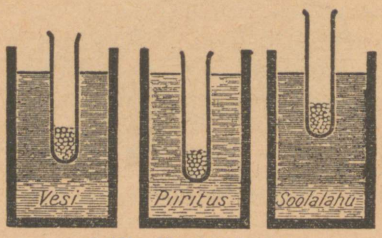
J. 469.



J. 470. Metatsentrum.

Ujumise kindla oleku tingimiseks, tähendab, on: **keha raskuspunkt peab vedeliku raskuspunktist alamal olema.** Sirgjoont, mis tasakaalusoleva ujuva keha mõlemast raskuspunktist läbi läheb, nim. **ujumise teljeks.**

Metatsentrumiks (laeval) nim. altrõhu sihi lõikepunkti *M* (laeva) ujumisteljega (J. 470). Mida kõrgemal metatsentrum *M*, seda kindlamini keha ujub.



J. 471. Ujumise sügavus

4. Vedelikus ujuvad kõik kehad, mille erikaal kergem, kui vedelikul (raud ujub elavhõbedas, kork vees); keha, mille erikaal aga raskem, ujub ainult siis, kui ta õõnes (ujumise vöö, tühi kinnikorgitud pudel, rauast laevad).

5. Isesugustes vedelikkudes, nagu vesi, piiritus, soolvesi (J. 471), vajub üks ja sama keha, näit. haavlitega raskendatud katseklaas, isesuguse sügavuseni: sügavamale neis, mille erikaal väiksem.

Põhjus. Väljatõrjutud vedelik peab ikka nii palju kaaluma, kui ujuv keha. Mida kergem vedelik, seda rohkem, tähendab, peab teda ka välja tõrjuma.

6. Kehasuurust ruumala vedelikus leitakse valemist $G = v \cdot \sigma$, milles G keha kaal.

Iga tonn (1000 kg) raskust vastab 1 m³ laevaga väljatõrjutud veehulgale. Kui laeva lagi F m² suur ja sinna peale 1 t vett valatakse, siis seisab vesi $1/F$ kõrgusel. Nii palju vajub laev siis sügavamale.

Ülesanded.

1. Kui sügavale vette vajub õõnes plekist 100 g raske kantik servadega 1 dm: a) tühjalt? b) kui teda pooleni petroleumiga täita ($s = 0{,}8$)? (V. 1 cm; 5 cm.)
2. 1600 g raske puust kera ujub vees ja petroleumis. Mitu cm³ vedelikku tõrjub ta selle juures välja? (V. 1600 cm³, 2000 cm³.)
3. Õõnes kera raadiusega $r = 5$ cm kaalub 80 g. Mitu haavlitera à $^1/_{10}$ g raske vaja kerasse panna, et ta üleni petroleumi vajuks? (3387.)
4. Prismaline jäämägi ulatab 100 m veest välja. Kui sügavalt on teda veel vee all? (Erikaal jääl on 0,92, mereveel 1,025.)
5. Kui palju kaalub vee all 1 kg, kui ta on a) rauast, b) vasest ($s = 8{,}8$)? (V. Ümmarguselt 861; 886 g.)
6. 100 cm³ suur keha, mis ainult 38 g kaalub, vaja raudtraadiga ($s = 7{,}2$) ümber mähkida, et ta vees just vajuma hakkaks. Kui palju kaalub see traat õhus? (V. 72 g.)
7. Kui suur on katseklaasiga, mis 32 g raske, väljatõrjutava vedelikuhulga ruumala (J. 471) a) vees? b) petroleumis? d) soolalahus, mille erikaal 1,025 g/cm³? (V. 32 cm³, 40 cm³, 31,2 cm³.)

§ 119. Erikaalu leidmine.

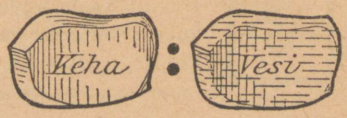
1. Keha ruumala on võimalik altrõhu abil kõige täpsemalt määrata. On keha ruumala V, siis on tema üleni vedelikku kastmisel altrõhk erikaalu σ läbi antud: $A = V \cdot \sigma$, millest

$$\text{ruumala } V = \frac{A}{\sigma} = \frac{\text{altrõhk vedelikus}}{\text{vedeliku erikaal}}$$

Keha altrõhk vees ($\sigma = 1$) annab kohe keha ruumala.

Näiteks. Rauatükk kaalub õhus 72,986 g, vees 62,111 g. Altrõhk on 10,875 g; tähendab, ruumala on 10,875 cm³.

2. Erikaalu valem. Erikaalu määramisel vaja kaks asja leida: a) keha kaal G ja ruumala V; üks cm³ kaalub siis G/V grammi; b) ehk vaja leida keha kaal (G) ja sama ruumalaga veehulga kaal (W). Siis on (arvudes) $s = G/W$ (suhteline kaal; J. 472). Sama ruumalaga veehulga kaal



J. 472. Erikaal.

W aga võrdub Arhimeedese printsiibi järele kaalukaotusele ehk keha altrôhule (A) vees; sellepärast $s = G/A$.

$$\text{Erikaal } s = \frac{\text{kaal}}{\text{kaalukaotus vees}} = \frac{G\downarrow}{A\uparrow}$$

3. Kindel-kehade erikaal. Siin võib kolm juhust olla:

a) keha vajub vees põhja, näit., tükk rauda:

kaal 36 g↓
altrôhk vees 5 g↑

erikaal $s = \frac{36}{5} = 7{,}2$ (g/cm³).

b) Keha ujub vees, näit. puutükk. Siis mähitakse temale raske keha (tinatraat) ümber, kunni ta vette vajub, ja leitakse puu + tina altrôhk; siis ainult tina altrôhk, et mahaarvamisega puu altrôhk kätte saada. Näiteks:

puu kaal H . . . . . 10 g↓
altrôhk $(H + B) = 22$ g↑
„ $B = 2$ g↑
puu altrôhk (ainult) . . . 20 g↑

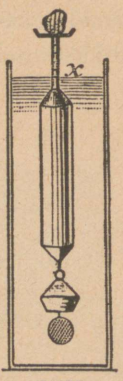
erikaal $s = \frac{10}{20} = 0{,}5$ (g/cm³).

d) Keha sulab vees, näit. tükk maarja-jääd: sel juhusel leitakse keha altrôhk A mônes teises vedelikus (petroleumis, erikaal σ). Siis on ruumala $V = A/\sigma$. Sellest saame

$$s = \frac{G}{V} = \frac{G}{A} \cdot \sigma = \frac{\text{keha kaal}}{\text{altrôhk vedelikus}} \cdot \text{vedeliku erikaal.}$$

Maarjajää kaal 15,4 g↓
Altrôhk petroleumis 7,2 g↑

erikaal $= \frac{15{,}4}{7{,}2} \cdot 0{,}8 = 1{,}71$ (g/cm³).



J. 473. Nicholsoni aräomeeter.

4. Nicholsoni aräomeeter ehk vesikaalud (J. 473) on klaasist või plekist ujuv keha pika kaelaga, mille pealmise otsa külge taldrekuke kinnitatud. Alt kinnitatakse aräomeetri külge kausike ja selle külge haavlitega täidetud kera, et kaalud vees loodis oleks.

Selle aparaadiga võib väikeste kehade kaalu $p\downarrow$ ja altrôhku $a\uparrow$ leida, ning nende abil keha erikaalu välja arvata.

a) Kaalu $p\downarrow$ leidmiseks pannakse asi (kivi) ülemisele taldrekule; aräomeeter vajub mône kriipsuni x, mis kaela peale märgitud. Siis asetatakse keha nii mitme kaalu vihiga p, et aräomeeter uuesti sama kriipsuni x vajuks.

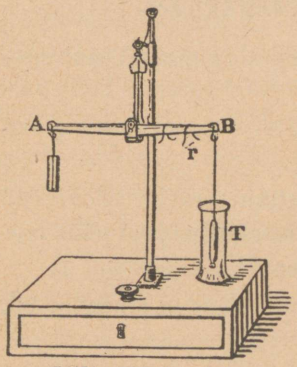
b) Asja altrôhu $a\uparrow$ leidmiseks pannakse ta alumisesse kausikesse. Siis ei vaju aräomeeter kunni märgini x, sest et asi vähe kergem on. Puudujääk lisatakse taldrekule juure, mis ongi altrôhu suurus.

d) Erikaal leitakse valemi järele $s = \frac{p\downarrow}{a\uparrow}$.

5. Vedelikkude erikaal leitakse:

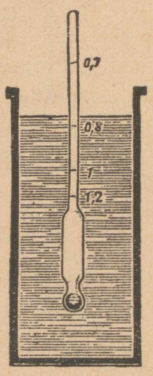
a) **Katseklaasi** abil (püknomeeter). Täidetakse klaasi vedelikuga (kaal $= G_1$), mille erikaal otsitakse, siis veega (kaal $= G_2$). Jagatis $G_1 : G_2$ annab erikaalu, $s = G_1 : G_2$.

b) **Katsekehaga.** Leitakse ükskõik mis keha (klaaspurk jne.) altrõhk küsitavas vedelikus $= A_1$, siis vees $= A_2$. Jagatis $A_1 : A_2$ annab vedeliku ja vee ühesuguste hulkade suhte; sellepärast $s = A_1 : A_2$.



J. 474. Mohr'i kaalud.

Harilikult tarvitatakse sel katsel praktikas *n. n.* Mohr'i kaalusid (J. 474), mille ühel õlal katsekehana väike termomeeterasub. Tareerimine (tasakaalu seadmine) sünnib reiterite abil.



J. 475. Aräomeeter.

d) Aräomeetriga (J. 475), mis mõõdulauaga varustatud. See on silindriline klaasist keha, mis alt elavhõbedaga täidetud nupuga varustatud, et keha loodis ujuks.

Mõne vedeliku erikaal leitakse mõõtmisel, kui sügavale aräomeeter vedelikus vajub. Mõõdulaual, mis aparaadi kaelal, võib otsekohe erikaalu ära lugeda. Selle juures maksavad järgmised seadused:

a) **suuremad erikaalud** on märgitud mõõdulaual (skaalal) **allpool,**

b) skaala mõõdukriipsud koonduvad allpool üks teisele lähemale.

Tõendus. Ujub aräomeeter, mille kaal G vedelikus erikaaluga σ, siis on väljatõrjutud vedeliku ruumala v teada valemist $G = v \cdot \sigma$, millest $v = G/\sigma$. Et selles võrrandis G muutmata, siis vastavad suurtele σ väiksed v. — Teise seaduse tõenduseks uuritakse v väärtusi, kui $\sigma = 1, 2, 3 \ldots$ (Järeldus?)

Aräomeeter vajub vedelikus seda sügavamale, mida väiksem selle erikaal.

Ülesanded.

1. Tükk klaasi kaalub õhus 27,5 g, vees 17,5 g. Kui suur on klaasi erikaal? (V. $s = 2{,}75$.)
2. Puutükk kaalub 8 g. Kui teda tina ($s = 11{,}4$)-tükiga, mis 22,8 g kaalub, ühendada, siis on kogu-altrõhk 18 g. Kuidas sellest puu erikaalu teada saada? (V. $s = 0{,}5$.)

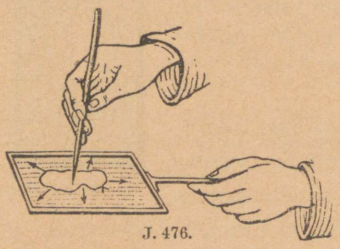
3. Keha kaalub õhus a, vees b ja soolalahus c g. Leida 1. keha ruumala, 2. keha erikaal, 3. soolalahu erikaal s', 4. soola hulk cm^3-is:

Õhus a =	140 g	720 g	150 g	280 g	88 g
Vees b =	90 „	620 „	75 „	80 „	78 „
Soolalahus c =	85 „	615 „	70 „	70 „	73 „

§ 120. Molekulaar-jõud vedelikkudes.

1. Pinna pinge. Iga vedeliku osakese m peale mõjuvad naabruses olevad osad ligitõmbavalt (kohäsioon).

Arvesse tuleb aga võtta ainult neid ligiolevaid osakesi, mis väikses tegevussfääris (raadiusega ϱ) m ümber asuvad (J. 477).



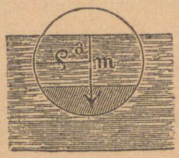
J. 476.

a) **Vedeliku sees** on need jõud üks teisega tasakaalus ja ei püüa osakest m liigutada.

b) On aga **osake m pinna ligidal,** siis ühinevad jõud resultandiks K, mis mõjub ristjoones vedeliku pinnale. Seda jõudu K nim. **pinna pingeks,** sest et ta välist vedeliku kihti vedeliku massi vastu rõhub. Vedeliku pind on nagu pingulolev elastne nahk, mis ikka kokkutõmbub.

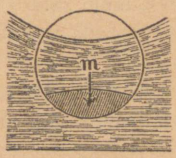
Katse. Tõmmatakse traadist nelinurk R (J. 476) seebiveest läbi, siis jääb temasse väljatõmbel vedeliku kileke. Kui kilele väike niidist silmus asetada ja selles kile läbi torgata, siis omab silmus rõngataolise kuju.

Kolm joonist 477, 478, 479 näitavad, et pinna pinge vedeliku nõguspinnal väiksem ja kumerpinnal suurem on, kui tasapinnal.



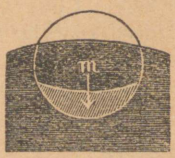
K_0

J. 477.



K_I

J. 478.



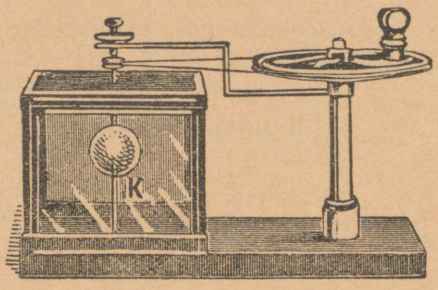
K_{II}

J. 479.

Põhjus. Joonistades molekuülide ümber, mis pinnast lähemal kui ϱ ($a < \varrho$), tegevusringi, siis langevad mõned selle osad vedelikust väljapoole. Kõik joontega kaetud vastukalotid (kera segmendid) tekitavad tõmbe resultandi. Sellepärast on: $K_I = K_0 - x$, $K_{II} = K_0 + x$.

Vedeliku massid on kerakujulised ainult pinna pinge mõjul.

Katse Plateau õlikeraga (J. 480): õlitilk lastakse vee ja piirituse lahusse, millel samasugune erikaal, kui õlil. Tilk omab kera kuju. — Elavhõbeda tilgad, vihma tilgad, taeva kehad.

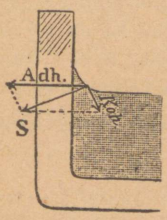


J. 480. Katse õlikeraga.

2. Ääre nähtused. Vedeliku osake, mis nõu seina ligidal, on kahe jõu mõju all: 1. kooshoiu resultant K, 2. nõu külgehakkamise jõud A. Mõlemad jõud tekitavad ühinedes pinna pinge S, millele nõu seinte läheduses vedeliku pind ristjoones seadub.

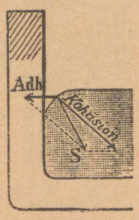
Selle juures võib kaks juhust olla:

a) **Kui adhäsioon** (külgehakkamine) **suurem** (J. 481), siis on S juhitud nõu seina poole ja vedelik tõuseb nõu seinal ülespoole. (Niisutav vedelik.)



J. 481.

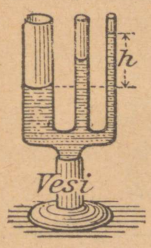
b) **Kui kohäsioon** (kooshoid) **suurem** (J. 482), siis on S juhitud nõu seinast eemale ja vedelik hoidub kõrvale. (Mitteniisutav vedelik.)



J. 482.

3. Kapillaar-nähtused. Kitsastes torudes, mida jõhv- ehk kapillaartorudeks nim., tekib kaks isesugust nähtust:

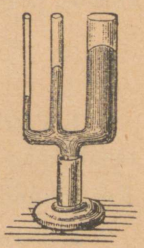
a) **Niisutavad vedelikud** seisavad neis kõrgemal, kui nendega ühenduses olevais laiades nõudes. Seda nähtust nim. **kapillaar-attraktsiooniks** (tõsteks).



J. 483.

J. 483. Vesi tõuseb seda kõrgemale, mida kitsam kapillaartoru. — Sellel põhjeneb, näit., õli tõusmine lambitahis, vee tõusmine linast riideriba mööda; tindi imbumine kustutuspaberisse, koffi — suhkrutükki, kaste — leivasse.

b) **Mitteniisutavad vedelikud** seisavad kapillaartorukestes madalamal, kui nendega ühendatud laiemates nõudes. Seda nähtust nim. kapillaar-depressiooniks (rõhuks).


J. 484. Elavhõbe.

Joon. 484, näitab, missuguses vahekorras elavhõbe kitsastes klaastorudes seisab.

Nagu Nr. 1 põhjal oodata võib, näitavad vedeliku pinnad (**menisk**) kitsastes torudes kumerust juhusel a) allapoole, juhusel b) ülespoole.

4. Kapillaarsuse jäädav α (konstant). On kapillaartorukese raadius r, tõstetud vedeliku samba kõrgus h, siis ripub äärjoone $2\pi r$ küljes vedeliku sammas, mis kaalub $\pi r^2 h s$. Tähendab, äärjoone 1 cm peale tuleb

$$\boxed{\text{kandejõud } \alpha = \frac{r^2 \pi h \cdot s}{2 r \pi}} \text{ ja sellest } hs = \frac{2\alpha}{r}.$$

α nim. kapillaarsuse konstant'iks, mis on **1 cm äärjoone kandejõud.** Teisest võrrandist leiame, et **tõstekõrgus h on toru raadiusele vastuproportsionaalne.**



J. 485. Osmos.

See jäädav arv on puhtale veele 7,55, glütseriinile 7,20; elavhõbedale 47,00; oliiv-õlile 3,50 mg/cm.

Diffusioon ja osmos. a) **Diffusiooniks** nim. kahe vedeliku segunemine, mis iseenesest pikkamisi sünnib.

Seletus. Oletatakse, et ühe vedeliku molekuülid tekkivate kapillaarjõudude mõjul teise vedeliku molekulaarurvadesse tõmbuvad. — **Näide.** Piiritus, mis veele, mille erikaal raskem, peale valatud, ei jää sinna seisma, vaid seguneb veega.

b) **Osmoseks** nim. kahe vedeliku segunemine, kui neid urbne vahesein lahutab.

Selle nähtuse juures selgub, et isesugustel ainetel isesugune läbitungimise kiirus on. Ühendatud nõude seadus ei ole siin maksev. (Gaaside osmos: § 132.)

Katse. Alkohol tungib looma põiest kiiremini läbi, kui vesi (J. 485). Osmosel põhjenevad mahla tõusmine puudes ja toitlusmahla üleminek verre.

§ 121. Väljavoolamise kiirus.

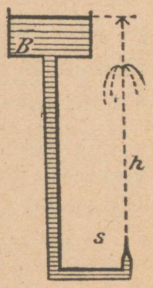
1. Torricelli lause. Väljavoolamise kiirus võrdub kiirusele, mille omab keha vabalt langedes pinnalt kunni väljavoolamise avauseni. Kui rõhumise kõrgus h, siis on § 82 järele: $v = \sqrt{2gh}$. (J. 486.)

2. Purskkaev (J. 487). Pritsib vedelik kiirusega $v = \sqrt{2gh}$ üles, siis peaksid vedeliku osakesed teoreetiliselt (§ 83) jälle kõrgusele h tõusma, s. o. purskkaevu vedeliku pinnani. Õhu rõhumine, langevate veeosakeste tagasipõrked, jne. vähendavad veejoa tõusukõrgust märksa.

Allikad. Metsaga kaetud mägedesse tekivad vihmast maa alla tihti suured veekogud, mille äravool sügavamais kohtades n. n. loomulikka allikaid sünnitab. On vee ruum ja voolu teed kindlates kivikihtides, siis ilmub allik alles peale puurimist nähtavale, selle juures vahest vett kõrgele paisates; sarnaseid allikaid nim. arteesia kaevudeks (J. 488). Niisuguste kaevude ehitamisega on Algier'i kõrbekohad viljarikasteks oaasideks muudetud.

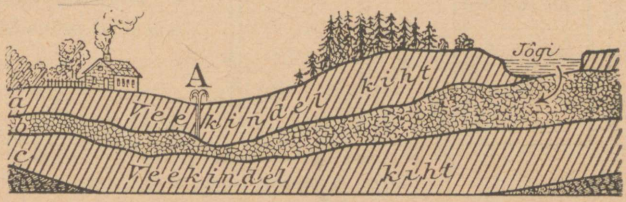


J. 486. Mitmesugune külgrõhumine.



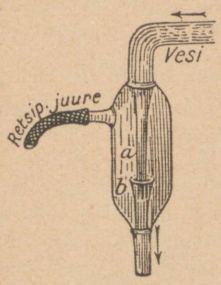
J. 487.

3. Väljavoolav hulk. Avausest, mille pind f, sekundis väljavoolava vedeliku ruumala on $f \cdot v$; tähendab, t sek. väljavoolanud hulga ruumala on $Q = f \cdot v \cdot t$. Selle juures peab vedelik nõus muutmata kõrgusel püsima.

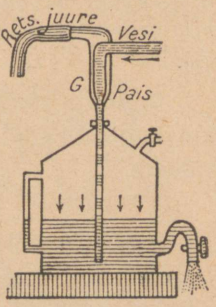


J. 488. Arteesia kaev punktis A (tekkimise põhjuseks jõgi).

Voolu joa keerumine. Mitmes sihis väljavoolu avause f kohta tungivad osakesed tekitavad väljavoolamisel joa keerumise. Õhukeses seinas olevale avausele peab, nagu katsed näitavad, eespool antud valemis f asemel ainult **0,64 f** võtma. Pikkades juhttorudes, mille otsad traatvõrega kaetud, on voolaval veel keerutõmme väike.



J. 489. Vesiõhupump.



J. 490. Veevoolu lõõts.

4. Õhu külgehakkamist vee joale tarvitatakse Bunsen'i vesiõhupumbas (J. 489).

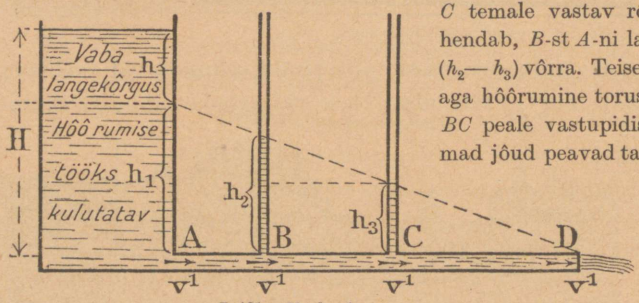
Veejoal on tugev imemise võime, kui teda kitsast torust a järsku laiemasse torusse b lastakse; selle juures kisub ta enesega õhku kaasa ja hõrendab b-ga ühenduses oleva retsipiendi (kupli) R ruumala.

Juhitakse vee vool kaasakistud õhuga kinnisesse nõusse, millest ainult vesi välja võib voolata, siis tiheneb nõus õhk ikka rohkem

ja rohkem, kunni teda rõhumiseks võib tarvitada (näit. klaasi puhumiseks). Seda aparaati nim. **veevoolu lõõtsaks** (J. 490).

5. Kiiruse kahanemine juhttorudes hõõrumise mõjul. Punktist *D* (J. 491) väljavoolaval vedelikul peaks kiirus $v = \sqrt{2gH}$ olema, aga tõeliselt on tal hoopis väike kiirus $v' = \sqrt{2gh}$. Sellest leitav kõrgus h nim. **vabaks** langekõrguseks.

Seatakse väljavoolu torule vertikaalsed kitsad torud, siis täidab vesi neid mitte ühekõrguselt. Leiame, et vee staatiline rõhumine väljavoolu kohani nulli peale langeb.



J. 491. Voolamine torus.

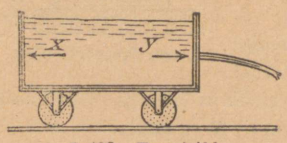
Veesamba peale *B* ja *C* vahel mõjub punktis *B* rõhumine h_2, punktis *C* temale vastav rõhumine h_3, tähendab, *B*-st *A*-ni langeb rõhumine $(h_2 - h_3)$ võrra. Teisest küljest rõhub aga hõõrumine torus vedeliku massi *BC* peale vastupidises sihis. Mõlemad jõud peavad tasakaalus olema, sest et vastasel korral kiirus osas *B C* kasvaks. Sellest järeldame: **rõhu kõrguste vahe** kahes kohas *B* ja *C* on **mõõduks hõõrumisele,** mis vedelikus nende toru punktide vahel tekib.

On toru ühetaoliselt lai, siis kujutavad rõhu kõrguste lõpupunktid kalduvalt langeva sirgjoone, mis veenõu kõrguse *H* kahte ossa jagab: $h_1 + h$. h_1 on kogu-hõõrumise mõõduks *A* ja *D* vahel; h nim. vabaks kõrguseks; temast on tingitud kiirus $v' = \sqrt{2gh}$.

6. Joa põrke rõhk vastu kindlat seina on kaks korda nii suur, kui külje rõhk *P* väljavoolu avause *f* peale. Tähendab, maksab valem:

$$\text{põrke rõhk} = 2P = 2fhs$$

Põhjus. Juba paigalseisev vedelik avaldab rõhumist *P*, tähendab, liikuva vedeliku rõhumine on sellest nii palju suurem, kui suur on liikumist tekitav jõud. Et see jõud aga *P* ise, siis vastab põrke rõhumine 2 *P*.



J. 492. Tagasirõhk.

7. Tagasirõhumine nõu peale. Seaduse järele: "tegevusele vastab võrdne vastutegevus" võrdub vee väljavoolamisel tekkiv tagasirõhumine *x* (J. 492) samati kahekordsele külje rõhule, mis väl-

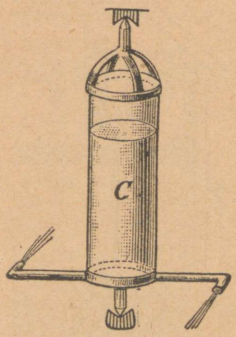
javoolu pinnale rôhub. Seda rôhumist nim. tagasirôhuks (reaktsioon-rôhuks), sest et tema väljavoolava joale vastupidi sihitud.



J. 493. Tagasirôhk.

Katseline tôendus. Veejuhi (kraani) *W* (J. 493) külge kinnitatakse kummitoru sabil pikem klaastoru, mille alumine ots täisnurga all painutatud. Lastakse vett jooksta, siis tôukab tegevusesse astunud tagasirôhk *x* toru kohe tagasi.

8. Segner'i ratas (Segner, 1750) on ehitatud tagasirôhu pôhjal. Ta ehitus on: ôônes silinder (J. 494), mis loodis teljel pöörub ja altpoolt kahe vastupidi sihitud väljavoolu toruga varustatud. Torude otsad on ühes môttes täisnurga all kôrvale painutatud.



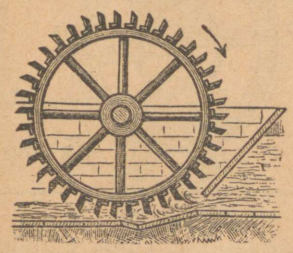
J. 494. Segneri ratas.

Käik. Niipea kui vesi torudest voolab, hakkab môjuma ka tagasirôhk *x* ja paneb ratta tagurpidi, s. o. vastupidi väljavoolavale veele, tiirlema, tarvitades torusid kui kangi ôlasid. — Tarvitamine rohu kastmisel.

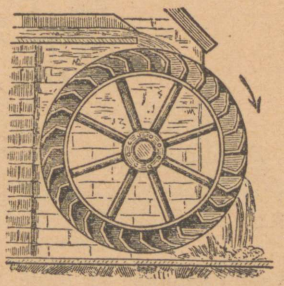
Pöörde moment, kui torusid n: $D = n \cdot 2fhs \cdot R$, milles f väljavoolu avause pinna suurus, R ôla pikkus.

§ 122. Vesimootorid.

1. Vesirattad ja turbiinid. Sisseseadeid, mis langeva vee energiat (allikal, jôel, kosel, kärestikul) vôimaldavad kasutada, nim. vesimootoriteks. Sarnased on vesirattad ja turbiinid.

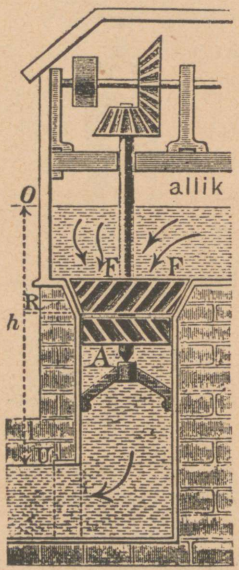

J. 495.

Vesiratas on pöör, mille labidatega varustatud ratta peale voolava vee jôud môjub. Pannakse sarnane ratas voolavasse vette nônda, et ainult alumine osa vees


J. 496.

(altlöödav ratas; J. 495), siis môjub rattale ainult vee tôuge. Langeb aga tugev vool ratta labidate peale ülevalt (pealtlöödav ratas; J. 496), siis tuleb rattale lisaks ka vee raskus; tähendab, selle môju on suurem.

Vesirataste teljed on horisontaalsed; turbiinid (J. 497) aga tiirlevad loodis teljel; langev vesi juhitakse viltu seatud paigalseisvate juht-labidate abil ristjoones töötava (liikuva) ratta labidaile.



J. 497. Turbiin.

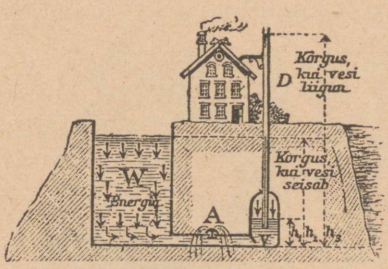
2. Vee tõuke-tekitaja (vesioinas) (J. 498). Selle ehitus lubab vett ruumist *W* jaokaupa nii välja voolata, et voolu vahedel tekkivat liikumise energiat tõukeks saab tarvitada.

a) Kõige pealt voolab ruumis *W* olev vesi ventiili *A* kaudu välja, kuid suure väljavoolu kiiruse tõttu surub ta ventiili nii tugevasti ülemise ääre vastu, et avaus lühikeseks ajaks kinnineb. b) Liikuval veel *W* on nüüd võime tööd teha. Ta voolab läbi ventiili *V* tuulekatlasse ja surub selles oleva õhu kokku. Kokkusurutud õhk litsub ventiili *V* kinni ja rõhub vee peale, teda toru *s* kaudu kõrgele ajades.

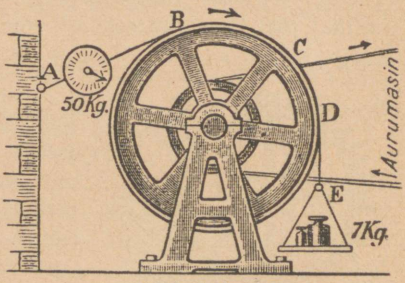
3. Vesiratta teoreetilise võimsuse leiame, kui 1 sekundis läbivoolanud veehulga raskuse *G* langemise kõrgusega korrutame. $N = G \cdot h/75$ (*PS*).

Tõeline (effektiivne) võimsus on teoreetilisest vähem, sest et hõõrumise ja veejõu mittetäielise kasutamise tõttu kaotus tekib. Arvutatakse, et paremates turbiinides kasulik töö 75 %, paremates pealtlöödavais vesiratastes 60 %, altlöödavais 40 %.

4. Mootorite kasulik töövõimsus leitakse praktiliselt pidurpaela abil (J. 499). See on ühe otsaga kinnitatud pael, mis masina hoorattale pannakse ja mille vaba otsa senni koormatakse, kunni tühjalt liikuv masin sama tasa käib, kui töö tegemisel.



J. 498. Vesioinas.



J. 499. Pidurpael.

Arvutamine. Pingete vahe punktides *A* ja *E* näitab hõõrumist *R*, mis ratta ja pidurpaela vahel tekib. Teeb ratas minutis *n* ringi, siis

on ratta ringtee $2\pi r n$. Tähendab, töö suurus sekundis (jõud $\times$ tee : aeg) ehk kasulik töö (effekt) on:

$$N = \frac{2\pi r \cdot n \cdot R}{60 \cdot 75} \; PS.$$

Näide: pingevahe = 50 — 7 = 43 kg (= hõõrumisele). On tiirude arv 40, r = 1,20 m, siis N = 2,8 PS.

Ülesanded.

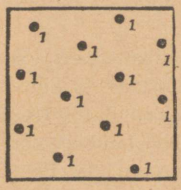
1. Segneri rattal on 3 väljavoolu avaust à 5 mm² suured, mis 30 cm kaugusel aparaadi teljest. Suure pöörde momendi tekitab väljavoolav vesi, kui ta 80 cm kõrgusel kesksilindris seisab? (V. 720.)
2. Turbiini käimapanemiseks kasutatakse vee langemist (koske), mis sekundis 2 m³ 4 m kõrguselt langevat vett annab. Turbiin annab 76 PS tööd. Kui suur on kasulik töö? (V. 71 %.)
3. Järv on 100 m jõest kõrgemal. Ühisus kavatseb seda veejõudu ära kasutada, seades järve ja jõe vahele juht-toru, mis tema peale ehitatud turbiinist sekundis 3 m³ vett läbi viiks. a) Mitu PS võib saada, kui kasulik töö 75 % arvatakse? b) Kui palju on see Watt'ides. d) Mitme hõõglambiga võib teda koormata, kui iga lamp 55 Watt'i tarvitab? (V. N = 3000 PS = 2208000 Watt'i, 40145 hõõglampi.)

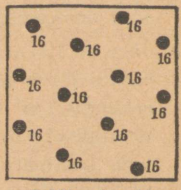
Mehaanika III osa.
Gaasid.

§ 123. Gaaside omadused.

1. Kaal. Gaaside kaal selgus § 5. Normaal-tingimistes (0° C ja 760 mm rôhul) kaalub 1 cm³ atmosfääri ôhku 0,001293 g, 1 cm³ vesinikku 0,000090 g.

Teistele gaasidele antakse harilikult ainult nende suhteline tihedus, kus juures füüsikas üksuseks ôhk, keemias — vesinik (*H*) vôetakse.


J. 500. H = 1.


J. 501. O = 16.

Avogadro (1776—1856) hüpoteesi järele on iga gaasi ühes liitris sama rôhumisel ja sama temperatuuril ikka ühepalju moleküüle (J. 500 ja 501). Tähendab, keemiline tihedus näitab ka seda, missuguses kaaluvahekorras gaaside moleküülid on. Sellepärast nim. keemilist tihedust ka vastava gaasi **molekulaar-kaaluks:** 1 mol. *H* : 1 mol. *O* : 1 mol. *N* = 1 : 16 : 14.

2. Gaasi rôhumine. Gaasid avaldavad oma hävitamata paisumise tungi (ekspansiooni) tôttu rôhumist iga seina vastu (gaasirôhk).

See rôhumine môjub kôigis sihis ja vaja teda gaasi kaalust eraldada. Surutakse (vôi paisub) gaasihulk kokku, siis kasvab (vôi kahaneb) gaasirôhk *P* Boyle-Mariotte'i seaduse järele: $P_1 : P_2 = V_2 : V_1$ (§ 7).


J. 502.

Gaasirôhu seletuseks seadis **Clausius** (1857) üles **kineetilise gaaside teooria,** mille järele gaaside moleküüle elavas sirgjoonelises liikumises arvatakse. Sel liikumisel pôrkavad nad vastu seinu. Nende pôrke-rôhku 1 cm² pinna peale nim. gaasirôhuks (J. 502).

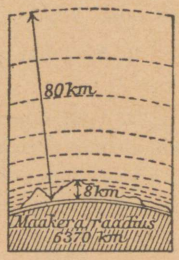
On gaasirôhk teada, siis on sellest vôimalik väljaarvata **moleküülide keskmist kiirust.** Atmosfääri ôhule leitakse kiirus $v = 485$ m/sek, vesinikule $v = 1844$ m/sek.

3. Oleku vôrrand. Iga gaasihulga kohta on (§ 14) maksev oleku vôrrand $V \cdot p/T =$ konstant, kus V gaasi ruumala, p rôhumist ja T abs. temperatuuri tähendavad.

1 cm³ gaasi kaal, kui abs. temperatuur T ja rôhumine p, on § 14 järele $s = s_0 \cdot \frac{p}{760} \cdot \frac{273}{T}$, milles s_0 on gaasi erikaal normaal-tingimistes.

§ 124. Atmosfääri ôhu-rôhu môôtmine.

1. Atmosfääriks nim. ôhumerd, mis maakera ümbritseb (J. 503). Selle kihi vôime môttes horisontaalseteks kihtideks lahutada. Ülemised kihid rôhuvad oma raskusega alumiste peale, mille tôttu kihid seda rohkem kokku surutud, mida lähemal nad maakerale. Lôpuks rôhub maapinda kogu-ôhumere raskus (kaal) ja moodustab n. n. atmosfäärilise ôhu-rôhu.



J. 503. Atmosfäär.

Nimetatud rôhumine môjub mitte ainult allapoole, vaid laialdub igas kihis **kôigis sihis** sarnaselt rôhule vedelikus.

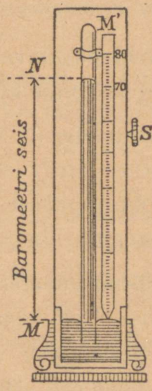
2. Baromeetriks nim. iga riista, millega olevat ôhurôhku vôib môôta. On olemas

a) elavhôbe-baromeeter, b) vedru- (metall-) baromeeter.

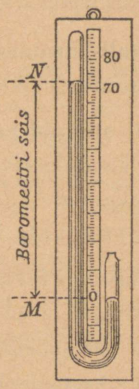
3. Elavhôbe-baromeetrid on elavhôbedaga täidetud Torricelli torud, mis môôdulauaga varustatud. Neid on olemas kahes kujus:

a) **anum-baromeeter** (J. 504). Selles on anum alalhoitud, nagu Torricelli katses.

b) **sifoon-baromeeter** (J. 505 ja 506). Selles tarvitatakse U-sarnast toru, millega nôu vajadust kôrvaldatakse ja elavhôbedat kokku hoitakse.



J. 504.



J. 505.



J. 506.
Sifoon-baromeeter.

Môôdulaud on selleks, et mõlemas ühendatud nôus elavhôbeda pinna vahekôrgust MN môôta. Mônedes on see laud kinnine, teistes liikuv.

Harilikkudes tarvitatavates pirnbaromeetrites (J. 506) on skaala kinnine ja vaadatakse ainult ülemise elavhôbeda pinna seisu. Sellest on küllalt, sest et alumine pind peaaegu muutmatuks jääb. Seda saadakse kätte ligikaudselt sellega, et toru lahtine haru pirnisarnaseks nôuks laiendatakse.

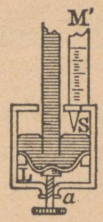
Fortin'i nahk-kotiga baromeetris (J. 507) on môôdulaud ka kinnine, selle vastu vôib aga alumist elavhôbeda pinda nahkkoti ülestôstmisel vôi allalaskmisel täpselt ikka môôdulaua nullpunkti seada. (Teadusline instrument.)

Hea **elavhôbe-baromeetri omadused:**

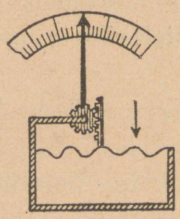
1. Toru peab üle 76 cm pikk ja elavhôbeda pinna kohal vähemalt 1 cm lai olema, et selles kohas kapillaarsuse depresiooni ei tekiks. Muidu vôib toru mis tahes kujuline olla.

2. Elavhôbe peab keemiliselt puhas olema. Mittepuhas hakkab klaasi külge kinni.

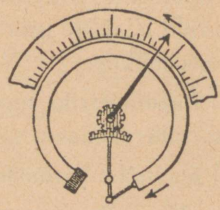
3. Vaakuum (s. o. toru ruum pealpool elavhôbedat) peab täiesti ôhust tühi olema. (Proovimine: ettevaatlikult toru kallutades, lastakse elavhôbedat otsa vastu lüüa; on ôhku sees, siis takistab viimane kôlina tekkimist.)



J. 507. Fortin'i anum.



J. 508. Aneroid-baromeeter.



J. 509. Bourdon'i toru.

4. Metall-baromeetrid sisaldavad vedruva ôhutühja karbi, mis ôhurôhu muutustel kergesti oma kuju muudab.

a) **Vidi aneroid-baromeeter** (J. 508) on peaaegu ôhutühi metallkarp, mille kaaneks elastne vedruv laentesarnane pind. Väikesed liikumised, mis kaanel ôhurôhu muutustel tekivad, tehtakse näitenoolega nähtavaks vastavate kangide ühenduste abil.

b) **Bourdon'i metall-baromeeter** (J. 509) on ôhutühi, ringkujuliseks painutatud, elliptilise läbilôikega toru, millel üks ots kinnitatud, kuna teine hammaskangi liigutab.

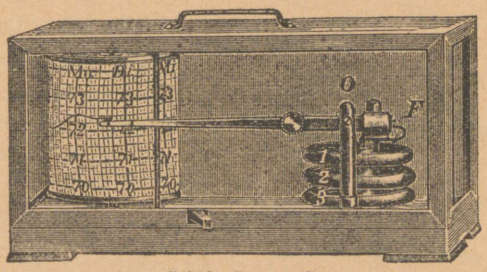
Ôhurôhu kasvamisel rôhub ôhk väljaspool olevat pinda tugevamini, kui pinda seespool, sest et esimene suurem. Ring tômbub kumeramaks ja annab oma muutuse lüli abil hammasrattale ja sealt näitajale edasi.

Metall-baromeetri môôdulaud valmistatakse elavhôbe-baromeetri näitamiste järele.

Aneroid-baromeetrid on hõlbus kaasas kanda; elastsuse muutuste tõttu on nad aga vähem ustavad, kui elavhõbe-baromeetrid, mispärast neid aegajalt järelkatsuma peab.

5. Iseseisvalt baromeetri-seisu ülesmärkijaks on **barograaf** (J. 510), metall-baromeeter, milles mitu karpi üks teise otsa seatud; näitaja OF ots varustatakse kirjutussulega, mis liigub paberiga kaetud silindrit mööda; silindri liikumine on kella mehanismi abil ühtlane.

6. "Õhurõhk on, näit., 720 mm", tähendab, 1 cm^2 pinnale rõhub õhk sama tugevasti, kui 72 cm kõrgune elavhõbeda sammas. See kaalub 72 · 13,59 g = 978,48 g.



J. 510. Barograaf.
(1, 2, 3 = karbid, O = kirjutussule pöörde puukt.)

7. Vesibaromeeter. Tarvitatakse Torricelli torus elavhõbeda asemel vett, siis peab veesamba kõrgus 13,6 korda elavhõbeda sambast kõrgemal olema; tähendab, normaalsel baromeetri olekul 76 · 13,6 cm = 10,33 m kõrgusel.

Otto von Guericke, kuulus õhupumba leidja, kes armastas suureviisiliselt katseid korraldada, seadis oma maja külge sarnase 10 m kõrguse vesibaromeetri, millega ta 1643 a. tormi ette kuulutas.

8. Kasutamine kõrguse mõõtmisel. a) Baromeetri kõrgus langeb **1 mm** võrra ümmarguselt iga **10,5 m** kõrgenemisel maapinnast. Sellepärast tarvitatakse baromeetrit ka kõrguste mõõtmisel.

Tõendus: § 6 järgi suhtuvad üheraskuste õhu ja elavhõbeda samba kõrgused H ja h (alused ühed) vastupidi nende erikaalule. Tähendab, $H : h = 13{,}6 : 0{,}001293$. On h = 1 mm, siis leiame H = umbes 10 m. Nii on normaaltingimistes arvatud. Kõrgemal on õhu erikaal väiksem, mispärast seal üle 10 m peab tõusma, et õhurõhk 1 mm võrra langeks.

Kahe koha keskmise baromeetri-seisu (aasta keskarvu) järele on võimalik leida kohtade kõrguste vahe.

Ülesanded.

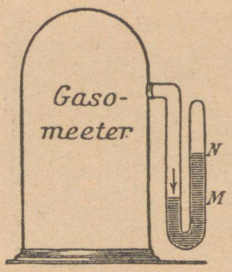
1. Kui kõrgel on koht, kui keskmine baromeetri seis 760, 757, 713, 751 mm?
2. Kui kõrgele ulataks õhk, kui tema tihedus igalpool ühesugune oleks, nagu normaal-tingimistes? (V. 760 · 10,5 m = umbes 8 km; kõrgem mägi 8,8 km!)

§ 125. Gaasirôhu môôtmine.

Gaasirôhu môôtmiseks tarvitatakse praktikas **manomeetrit.** On olemas elavhôbe-ja metall-manomeeter.

1. Elavhôbe-manomeeter on väike U-sarnane toru, mille harudes elavhôbe.

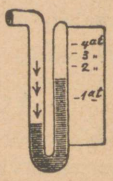
a) **Lahtist manomeetrit** (§ 6; J. 35) tarvitatakse rôhumiste môôtmiseks, mis pisut üle atmosfääri rôhu (baromeetri seisu b) tôusevad. Rôhumine $P = b + h$ (mm).



J. 511.

b) **Kinnistes manomeetrites** on toru, milles elavhôbe tôuseb, kinni. Neid on kahte liiki:

1. Hôrendatud ôhu manomeeter (vaakuummeeter). Kinnine toru on ôhuta (J. 511). Gaasi rôhumine $P = MN$. (Tarvitatakse ôhupumpades.)

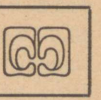

J. 512.

2. Tugevasti tihendatud ôhu manomeeter. Kinnises torus on ôhk (J. 512). Surutakse viimase ruumala ½, ⅓, ¼ . . . peale, siis on rôhumine 2, 3, 4 . . . at. Kinnisel torul on märgid, mis gaasi rôhumist p näitavad. (Tarvitusel aurukatlates, veetorudes.)

2. Metall- ehk vedrumanomeetrit (J. 40), mida ka veerôhu môôtmisel tarvitatakse, on § 7 juba käsitatud.

Ülesanded.

1. Gasomeetris, mille mahutus 2,5 m³, on valgustus-gaas 15 mm elavhôbeda rôhumisel. Palju kaalub gaas, kui baromeetri-seis 726 mm? (V. 1,276 kg.)
2. Rôhumôôtja näitab veetorus 4,5 at. Kui kôrgele tôuseks vesi lahtises torus? (V. 35 m.)


Mariotte'i seaduse tarvitamine.


§ 126. Tôstetoru. Sifoon.

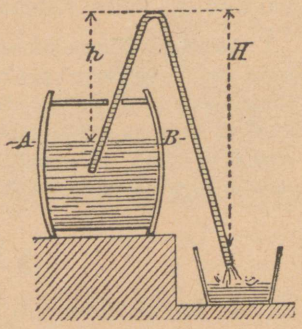
1. Tôstetoru (J. 513) on harilikult keskpaigas laiemaks paisutatud klaastoru, mida ülevalt pöidlaga kinni vôib katta ja mille alumine ots peenendatud. Pistetakse toru vedelikku ja kaetakse ülevalt pöidlaga kinni, siis vôib temasse sissetunginud vedelikka välja tôsta.

Põhjus. Altpoolt mõjuv õhurõhk takistab vedeliku väljavoolu. — **Märkus.** Natuke voolab vedelikku siiski välja, nimelt senni, kunni selle läbi hõrendatud õhu rõhumine x ühes vedeliku rõhumisega y atmosfääri rõhule (alt) võrdub.



J. 513. Tôstetoru.

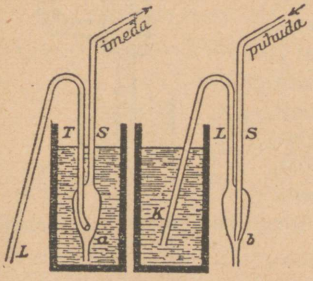
2. Sifoon (J. 514) on nurgaks painutatud toru, mille lühem haru vedelikku pistetakse. Imetakse pikemast harust, siis tõuseb vedelik välise õhurõhu mõjul üles, läheb üle põlve (painukoha) ja hakkab pidevalt voolama, niipea kui ta pikemas harus vedeliku pinnast AB alamale jõuab.



J. 514. Sifoon.

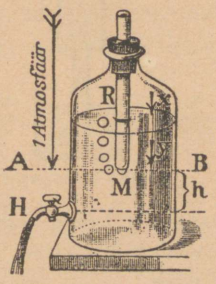
Tõendus. Kujutame põlves klapi, siis on iga haru kui baromeetri toru; pahemalt poolt (J. 514) mõjub klapi peale õhurõhk, mis vähendatud samba h põhirõhu võrra, paremalt — õhurõhk, mis vähendatud samba H põhirõhu võrra. Klapp peab avanema paremale poole, sest et rõhumine pahemalt $H - h$ võrra suurem. — Võrdlus ketiga, mis üle ümmariku visatud: see veereb pikema otsa poole maha.

3. Ise voolama hakkav sifoon. Hoitakse tühja sifooni pikem toruots sõrmega kinni ja pistetakse lühem haru veega täidetud nõusse. Vedelikku tungib torusse vähe. Võetakse sõrm torult järsku ära, siis tungib vedelik torusse tihti nii suure jõuga, et üle nõusoleva vedeliku pinna tõuseb ja teisest sifooni harust iseenesest pidevalt voolama hakkab.



J. 515. J. 516.

4. Kihvti tõstetorud on kahte liiki, mis a) imemisel (J. 515) ja b) puhumisel (J. 516) voolamise tekitavad.



J. 517. Mariotte'i pudel.

Esimestes on vedelikku pistetav haru T pirnisarnaselt laiendatud ja imemise toruga ühendatud; viimastes on väljavoolu haru puhumise toruga ühendatud.

5. Mariotte'i pudel (J. 517) on selleks, et vedelik ühesuuruse kiirusega voolaks.

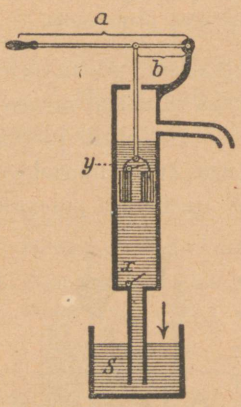
See on veega täidetud pudel, mille põhjas väljavoolu kraan *H*. Korgist ulatab läbi toru *R*, mille suu *M* kraanist *H* kõrgemal.

Käik: avatakse kraan, siis voolab vesi ühesuuruse rõhu all välja, nagu käiks vedeliku pind punktist *M* läbi.

Tõendus. Niipea kui vedelikku välja voolab, hõreneb õhk ruumis *x* ja on näha, et õhu vullikesed punktis *M* klaasi tungivad ja *x* poole liiguvad. Sellest silmapilgust peale on hõreda õhu rõhk *x* ja vedeliku samba rõhk *y* kokku võrdsed välisõhu-rõhule (ehk natuke vähem, sest et õhk punktis *M* muidu sisse ei tungiks). Tähendab, sarnases olekus käib vedeliku pind nagu punktist *M* läbi ja tema peale rõhub harilik õhk.

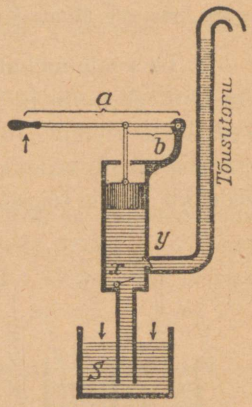
§ 127. Veepumbad.

1. Imeja-pump (J. 518) seisab koos kõige pealt silindrilisest pumba torust, mille küljes allpool kitsas imemistoru *s* asub. Mõlemad torud on lahutatud ventiiliga (klapiga) *x*, mis ainult ülespoole avaneb. Pumba torus on tihedalt liikuv kann, millest kaanal läbi puuritud; see kaanal on varustatud ülevalt poolt teise ventiil-klapiga *y*.



J. 518. Imeja-pump.

Käik. Seatakse pump imemis-toruga *s* vedelikku ja tõstetakse kann kangi abil üles, siis hõreneb kannu all õhk ja vedelik tungib, tõstes klappi *x*, välisõhu rõhul pumba torusse. Lastakse kann alla, siis surub torus olev vedelik oma raskusega klapi *x* kinni ja ei saa välja voolata. Rõhutakse kann alamale, siis on torus olev vesi sunnitud ventiili *y* läbi kannu peale tõusma.



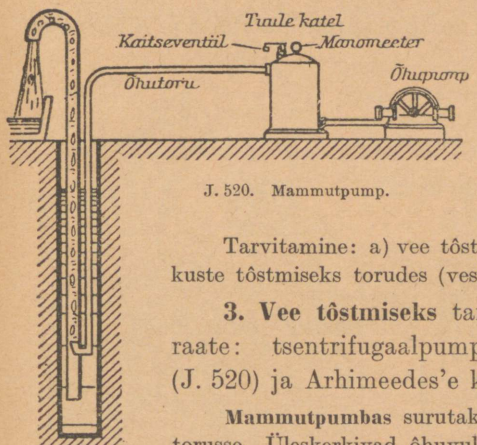
J. 519. Suruja-pump.

Järgmisel kannu tõstmisel hoidub ventiil *y* kinni ja ülestõstetud veehulk voolab torust välja.

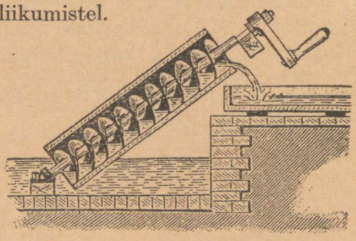
Teoreetiliselt imeb sarnane pump vee 10 m kõrgusele, praktiliselt aga 6—7 m.

2. Suruja-pump (J. 519) läheb lahku imeja-pumbast järgmises: a) tema **kann on massiivne** (umbne); b) väljavoolu toru on kinnitatud silindrile allpool kannu ja sisaldab rõhuventiili.

Käik: kannu tôstmisel tungib vedelik välisôhu rôhu môjul torusse. Allarôhumisel kattub imemise ventiil x ja vedelik surutakse läbi ventiili y tôstetorusse. Järgmisel kannu tôstmisel on ventiil y kinni, avaneb imemise ventiil x ja nii kordub käik järgmistel liikumistel.



J. 520. Mammutpump.



J. 521. Arhimeedes'e kruvi.

Tarvitamine: a) vee tôstmisel soovitava kôrgusele, b) raskuste tôstmiseks torudes (vesipress).

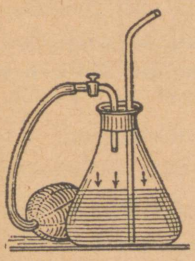
3. Vee tôstmiseks tarvitatakse veel järgmisi aparaate: tsentrifugaalpump (J. 413), mammutpump (J. 520) ja Arhimeedes'e kruvi (J. 521).

Mammutpumbas surutakse tihendatud ôhk altpoolt tôusutorusse. Üleskerkivad ôhuvullid teevad veesamba torus, nônda öelda, kergemaks, nii et vesi sügavusest ise üles tôusma hakkab.

Arhimeedese kruvi on silindrilise mantliga kaetud kallakil olev kruvi, mille alumine ots vette ulatab; kruvi keerutamisel tôuseb vesi üles. Tarvitatakse, näit., vee laskmisel aasadele.

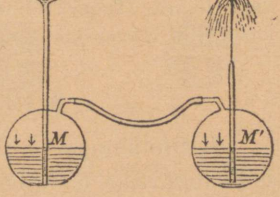
§ 128. Heroni pudel.

1. Heroni (Hero 150 a. en. Kr.) **pudeliks** nim. nôu, millest vedelikku tihendatud ôhu abil välja aetakse (J. 522). Selleks on nôusse juhitud kaks toru: lühike, ôhu sisse puhumiseks, ja pikem põhjani ulatav toru, mille kaudu vedelikku välja aetakse.



J. 522. Heroni pudel.

Tarvitamine: keemikeri pritsklaas; pulverisaator; toa purskkaev; tulekahju-prits. — Võib ka ainult ühte toru tarvitada. Sel juhusel peab toru kraaniga varustama.



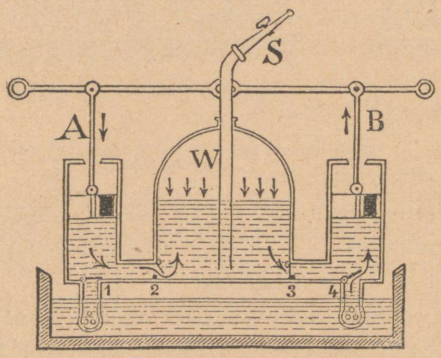
J. 523. Heroni kaev.

2. Heroni kaev seisab koos kahest Heroni pudelist M ja M', mille ôhuruumid toru läbi teine teisega ühenduses (J. 523). Valatakse

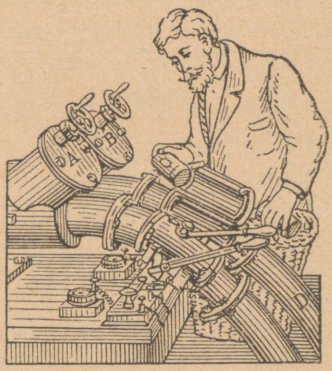
torusse M vett MN kôrguseni, siis tôuseb torus M' vesi ka niisama kôrgele ($M'N' = MN$).

Tôendus: môlema pudeli ôhuruumis on rôhumine ühesuurune: $M = (1 \text{ at} + MN)$; sellepärast tôuseb ka teises torus M' vesi MN kôrgusele, selle peale vaatamata, kas ta kôrgemal vôi madalamal seisab, kui toru M.

3. Tulekahjuprits (J. 524) on kahe suruja-pumba A ja B ühendus tuulekatlaga W.



J. 524. Tulekahju-prits.



J. 525. Torupost.

a) Môlemate pumpade kannud on kahepoolse kangiga nii ühendatud, et ühe kannu alanemisel teine kerkib. Pumpade rôhktorud on juhitud tuulekatlasse, milles sisserôhutud vesi ôhu kokku surub. Avatakse tôusu-toru kraan, siis tôuseb vesi kokkusurutud ôhu rôhul kôrgele.

b) On katlas rôhumine p at suurem, kui ôhurôhk, siis on teoreetiline **pritsimise kôrgus** $p \cdot 10$ m.

4. Surutud ôhku tarvitatakse posti saadetuste edasiandmiseks torude kaudu (J. 525).

Kirjad pannakse silinder-karpi C, mis torusse D asetatakse ja torus kui kann liigub. Tugeva ôhutihendamis-masinaga surutakse torusse ôhku, mis karbi tihti mitme kilomeetri kaugusele teise jaama viib.

§ 129. Kraaniga ôhupump.

1. Ôhupumpa (J. 526; leidis Guericke 1654) tarvitatakse ôhu hôrendamiseks mônesuguses ruumis. Tal on kaks osa:

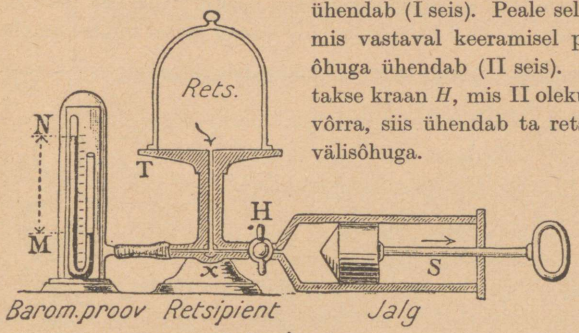
a) **retsipient,** s. o. nôu, millest vaja ôhku välja pumbata.

Nähtuste vaatlemiseks ôhuta ruumis tarvitatakse harilikult paksu seintega klaas-kuplit, mis siledaks lihvitud ja rasvaga määritud äärtega läbipuuritud taldrekule T seatakse.

b) **pump,** s. o. metall-toru, milles tugev kann edasi-tagasi võib liikuda.

Mõlemad osad on ühenduses toruga, milles just pumbajala ligidal n. n. **kolmekäiguline kraan** *H* asub.

Selles on sirgjooneline peakäik (J. 527), mis retsipiendi pumbajalaga ühendab (I seis). Peale selle on veel kõverkäik, mis vastaval keeramisel pumbajala õhu välisõhuga ühendab (II seis). Pööratakse kraan *H*, mis II olekus, 180° võrra, siis ühendab ta retsipiendi välisõhuga.



J. 526. Õhupump.



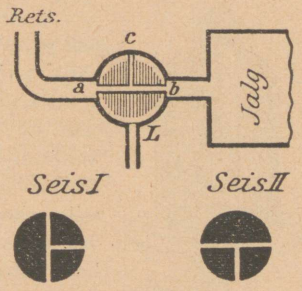
J. 527.

Märkus. Kolmekäigulise kraani saab ka siis, kui tähe **T-sarnaselt** kork läbi puuritakse. (J. 528. Ära seletada tegevus kolmes antud seisus.)

2. Käik. Tõmmatakse kann tagasi, siis paisub retsipiendis *R* olev õhk oma pinge (ekspansiooni) tõttu ka pumba silindrisse *S*, ning hõreneb järgmises vahekorras:

$$\delta = \frac{R}{R+S}.$$

Näide. On retsipiendis 4 l, ja jalga mahub 8 l õhku, siis paisub 4 l õhku (4 + 8) l = 12 liitre peale. Hõrendus $\delta = 4 : 12 = \frac{1}{3}$, s. o. retsipiendi igas cm³ on pärast kannu tõmmet ainult $\frac{1}{3}$ endisest õhuhulgast.



J. 528.

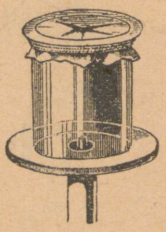
Saadud hõrenduse kinnihoidmiseks, keeratakse kraan II seisu, mis retsipiendi muust ruumist lahutab (J. 527). Selle juures tungib välisõhk pumba alla ja moodustab normaal-rõhu.

Siis tõugatakse kann sisse, mille läbi jalga tunginud õhk välja aetakse, kuid sisse jääb siiski väike osa õhku, mis n. n. **"kahjulikus ruumis"** kraani ja kannu vahel asub. Sellega on esimene tõmme lõpetatud.

Iga uue tômbega hôrendatakse retsipiendis järeljäänud ôhku samas vahekorras δ.

Hôrendus n tômbe järele $= \delta^n$. — See valem maksab ligikaudu ainult esimestel kannu käikudel, sest et kahjulik ruum ikka hariliku ôhuga täitub, mis kraani käänamisel I seisu retsipienti sattub.

Hôrendamine lôpeb, kui retsipiendist midagi enam välja ega sisse ei voola, s. o. kui kahjuliku ruumi s harilik ôhuhulk kannu tagasi tômbel ainult jala täitmiseks tarvitatakse; sellest saame lôpuliku hôrenduse $\delta_0 = \frac{s}{S}$.



J. 529. Kate lôhkeb.

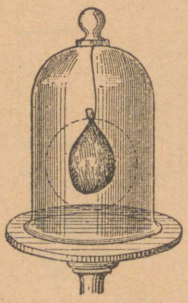
3. Katsed ôhupumbaga. Neid jagatakse liikidesse: a) niisugused, milles välisôhu rôhumist näidatakse.



J. 530. Magdeburi kera.

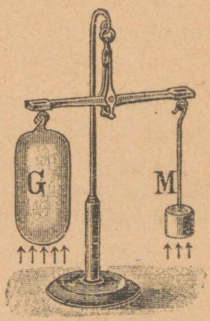
1. Kummitoru surutakse paela sarnaseks. — 2. Silindriline nôu kaetakse kummist kestaga ja pumbatakse ôhku välja; ôhu rôhumine surub katte plaksudes lôhki (J. 529). (Ettevaatust: baromeetrit vaja eraldada.) — 3. Kuppel jääb taldreku külge kôvasti kinni. — 4. Pumpamine läheb ikka raskemaks, sest et välisôhu tegevus kannu peale kasvab. — 5. Katse **Magdeburi poolkeradega** (J. 530). — 6. Elavhôbeda vihm. — 7. Elavhôbe tôuseb umbes 76 cm kôrguseni.

b) niisugused, mis piiratud ôhuhulga ekspansiooni näitavad.



J. 531. Kummipall paisub.

1. Ôhuga täidetud kummipall paisub, kui retsipiendist ôhku välja pumbatakse (J. 531). — 2. Heroni pudel hakkab retsipiendi all töötama; pudeli külge kinnitatud sifoonist hakkab vedelik voolama. — 3. Vees paisub selles olev ôhk ja lôpuks hakkab vesi keema. — 4. Täidetakse kahest katseklaasist, mis üks teise sees, sisemine eetriga, väline veega, siis hakkab eeter pumpamisel keema ja vesi külmub kinni (J. 89). — 5. Ôlu vôi seebilahu hakkavad kangesti vahutama.



J. 532. Dasymeeter

d) Mehaanilised katsed:

1. Katse lange-toruga. [Ôhuta ruumis langevad kôik kehad ühesuuruse kiirusega (J. 318).]

2. Katse **dasymeetriga** (J. 532). Vasetükk ja klaasist ôônes keha, mis ôhus üheraskused, ei ole tühjuses mitte nii; suurem keha kaotab suurema altrôhu ôhus ja on nüüd raskem.

3. Tühjuses ei andu hääl edasi.

4. Elu närtsib; küünal kustub.

4. Ajaloost. Kraaniga ôhupumba leidis 1636 a. Guericke Magde-



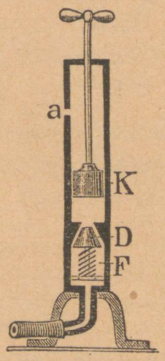
J. 533. Katse Magdeburi poolkeradega.

buris. Oma kuulsa katse Magdeburi poolkeradega, mida 16 hobust ei suutnud lahutada, tegi ta 1654 a. riigipäeval, Regensburis (J. 533).

5. Kompressor-pump, mida ôhu tihendamiseks tarvitatakse.

a) Kompressoriteks tarvitatakse harilikult pumpa isetöötava rôhuventiiliga (J. 534).

b) Tarvitamine: gaaside tihendamiseks; süsihapugaasi surumiseks seltersisse, rattakummide täitmiseks, ôhkpüssis; pneumaatilistes instrumentides; posti saatmiseks toru kaudu.



J. 534.
Jalgratta pump.

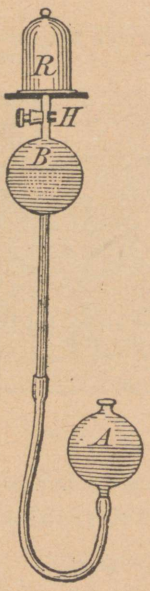
Ülesanded.

1. Kui tugevasti hoiavad kinni Magdeburi poolkerad, kui ôhurôhk 720 mm ja nende kokkupuutumise sôôrjoone diameeter 12 cm? (V. 110,69 kg.)

2. Kui tugev on ôhurôhumine pumba retsipiendis, kui selle ruumala 2 l ja jala ruumala 3 l, a) pärast esimest, b) pärast kolmandat tõmmet? Barometer = 720 mm. d) Suure jôuga hakkab retsipient taldreku külge kinni, kui aluse raadius 5 cm? (V. b_1 = 288 mm, b_3 = 46,08 mm, rôhumine 72 kg.)

§ 130. Teised ôhupumbad.

1. Elavhôbe-pump (Geissleri järele, 1855) kasutab môtet, et retsipienti võib kui baromeetri ülemist osa võtta, milles Torricelli tühjus tekib. Neis saab hôrendust kunni 0,000 010 mm elavhôbeda sambast. Ehitus on näha J. 535.

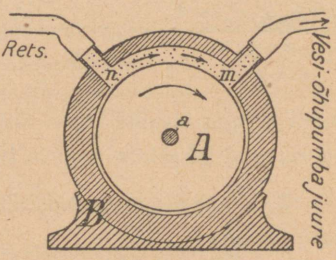


J. 535. Elavhôbe-pump.

Käik. Alguses seatakse kummitoruga ühendatud anumad *A* ja *B* ühekôrgusele ja valatakse nôusse *A* elavhôbedat kunni see lahtisest (ôhuühendus) kolmekäiguga kraanist üle voolab. Siis keeratakse kraan *H* nônda, et *R* ja *H* ühenduses on, ja lastakse *A* alla, nii palju kui võimalik. Nôus *B* langeb elavhôbe ja retsipiendis tekib esimene hôrendus. (Gaasi rôhumine nôus R = Bar. — AB.) Siis keeratakse jälle kraani, tôrjutakse *A* tôstmisel ôhk nôust *B* välja jne.

2. Vesi-ôhupump (Bunsen'i järele) on juba kirjeldatud ennem § 121 (J. 489).

3. Molekulaar-ôhupumbas (Gaede pump; J. 536) tiirleb kiiresti ratas *A*, mis vastu gaasi moleküüle hôôrudes neile kindla liikumise sihi annab (joonisel *nm* sihis), mille läbi kohaga *n* ühenduses olevast ruumist ôhk välja imetakse ja *m* poole aetakse (*m* on vesiôhupumbaga ühenduses). — Hôrendus ulatab kunni 0,000 0001 mm (elavhôbedat).



J. 536. Molekulaar-ôhupump.

§ 131. Altrôhk ôhus.

1. Arhimeedes'e seadus on maksev ka ôhus järgmise väitena: iga keha kaotab ôhus nii palju omast kaalust, kui palju kaalub kehaga väljatôrjutud ôhumass.

a) Kaalukaotust, mille keha ôhus kaotab, näidatakse dasymeetri abil (J. 532). — b) Inimene täidab keskmiselt 60—70 cm^3 ôhuruumi ja on sellepärast 80—90 g kergem.

2. Keha kaal tühjas ruumis (kaalu taandamine). Kaalub ôhus (baromeetri seis *b*) keha *K* sama palju kui viht *M*, siis on võrrandi

$K = M$ maksvus ainult näilik. On k ja m mõlemate masside altrôhk ôhus (J. 537), siis on ôige vôrrand:

$$K - k = M - m.$$

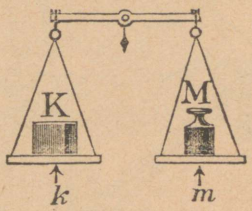
Altrôhu k ja m leidmiseks peab enne arvutama kehade ruumala nende erikaalu abil.

Näide: puutükk K (erikaal $s = 0{,}5$) kaalub 15° C ja 720 mm rôhul, vaskvihiga M ($s = 8{,}9$) kaalutud, 500 g. Kui suur on puutüki kaal tühjuses?

$$K \text{ ruumala} = \frac{500}{0{,}5}\ \text{cm}^3;\quad M \text{ ruumala} = \frac{500}{8{,}9}\ \text{cm}^3.$$

Ôhu erikaal on $s' = \frac{273}{288} \cdot \frac{720}{760} \cdot 0{,}001293 = 0{,}001165$ (g/cm³). Sellepärast saame vôrrandi $K - \frac{500}{0{,}5} \cdot 0{,}001165 = 500 - \frac{500}{8{,}9} \cdot 0{,}001165$, millest $K = 501{,}156$ (g).

3. Ôhupall on ôhust kergem ôônes keha. Palli kestaks on harilikult ôlitatud siidiriie. Täidetakse teda kas vesinikuga (Charles'i järele) vôi valgustusgaasiga (Green'i järele). Vennad Montgolfier, kes 1783 a. ôhupalli leidsid, tarvitasid selle täitmiseks kuumendatud ôhku.



J. 537. Kaalumine.

a) Tôusujôud: kui kaal $= G$ ja väljatôrjutud ôhumassi kaal $= A$ (altrôhk), siis on

tôusujôud S = altrôhk — kaal = $A - G$.

Märkus: arvutustel leitakse esiteks 1 m³ täidetava gaasi tôusujôu suurus. Näiteks

1 m³ H on norm. tingim. tôusujôud 1,293 — 0,089 = 1,204 kg!
1 „ valgustus-gaasil tôusujôud 1,293 — 0,569 = 0,724 kg!

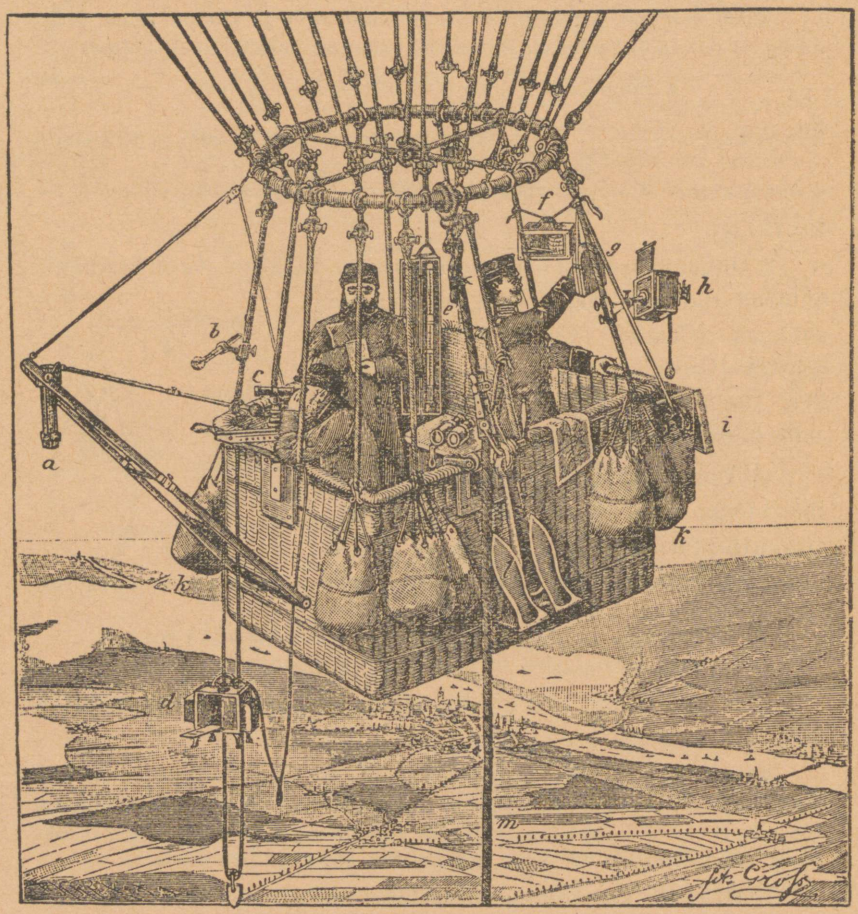
Seda tôusujôudu vaja korrutada murruga $b/760$, et olemas oleva baromeetri-seisuga b mm taandada.

Näide: ôhupall, mille mahutus 950 m³, on valgustusgaasiga 720 mm rôhul täidetud. Koorem, kest ja kaks meest kaaluvad 400 kg. a) Kui suur on tôusujôud? b) Mitu meest peavad palli enne tôusu kinni hoidma, kui igaüks 20 kg tômmet tarvitab? V. a) tôusujôud = 252 kg; b) 13 meest.

b) **Ôhupalli kasutatakse atmosfääri uurimiseks.** Tema varustamist näitab J. 538.

Pall on alt lahti, et gaas päikese soojendamisel vôiks paisuda, ja kesta lôhki ei rebiks. Üleval on pallil ventiil-klapp, mille ôhusôitja avab, kui vaja kiiresti gaasi välja lasta. Siis pall langeb. — Vôrgu küljes, mis palli ümbritseb, ripub korv (gondel), mille ruum määratud mône isiku, teaduslikkude instrumentide ja ballasti (liiva kotide) jaoks.

d) **Ôhupalli juhtimine** sünnib propelleri abil. Propeller on kôverdi seatud tiivasratas, harilikult puust (kunni 4 m diameetris), mis ôhupallil oleva mootori abil kiiresti tiirlema pannakse. Et tiivad kôveralt seatud, siis puurivad nad kruvi sarnaselt ühes palliga ôhusse. (Vôrdlus korgitômbajaga ja laeva kruviga.)



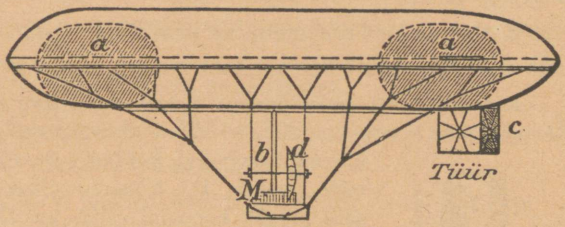
J. 538. Ôhupalli korvis, 5000 m kôrgusel.

a Psühromeeter.
b Päikesepaiste termomeeter.
c Pikksilm.
d Termograaf.
e Elavhôbe-baromeeter.
f Barograaf.
g Aneroid-baromeeter.
h Päevapildi aparaat.
i Instrumentide kast.
k Liiva kotid (ballast).
l Ankur.
m Tôu (kôis).

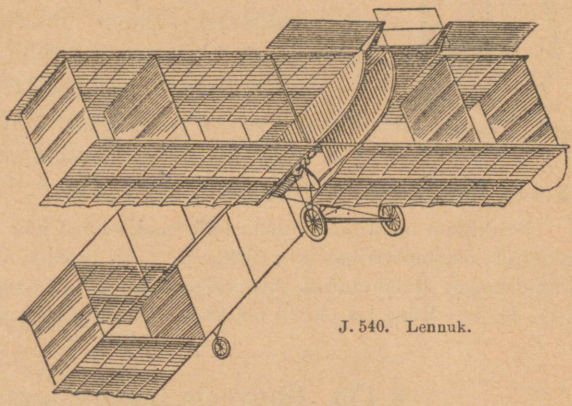
Zeppelin'i juhitav ôhulaev sisaldab 17—19 peenest nahkkilest gaasi ruumi, mis asetatud tiheda riidega kaetud alumiiniumist kestasse.

Parseval'i juhitav õhulaev (J. 539) sisaldab siseruumis kaht väikest reguleerivat palli *a*, *a*, millesse ratas-lõõts õhku juhib. Selle järele kas eelmine või tagumine väike pall raskem, võtab õhulaev sihi üles või alla.

4. Lennumasinad (J. 540). Õhulaevad on kergemad kui õhk; lennumasinad on aga õhust raskemad ja nende edasiliikumine sünnib ainult tugevate õhukruvide (propellerite) abil. Viimased seisavad koos, nagu J. 540 näha, ühest või mitmest raamist, millele mõni aine pinguli peale tõmmatud; raamid kinnitatakse kergele sõidukerele, mille peal mootor kruvi käimapanemiseks asub.



J. 539. Parseval'i juhitav õhulaev.


J. 540. Lennuk.

Käik: mootori tegevusel tiirleb õhukruvi ja liigutab sõidukere edasi. Selle juures tiheneb kandepindade all õhk ja lennuk tõuseb tasa maapinnalt üles.

Ülesanded.

1. Kui suur on tõusujõud õhupallil, mis V m³ vesinikuga b baromeetri seisul täidetud, ja millel G kg koormat kaasas? Antud:

Ruumala V = ...	1000 m³	1500 m³	1500 m³
Baromeetri seis b = ...	720 mm	700 mm	600 mm
Kaal G = ...	800 kg	900 kg	900 kg
[V. Tõusujõud S =]	[341 kg]	[763 kg]	[526 kg]

2. Kui suur peab olema ½ mm alumiinium-plekist õhuta õõnes-kera läbimõõt, et see b = 720 mm õhurõhul ja t = 27° C õhus võiks heljuda? [V. 14,58 m.]

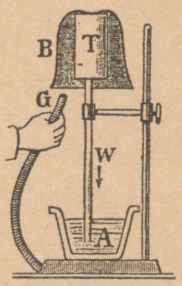
§ 132. Gaaside molekulaar-omadused.

1. Diffusioon (segunemine iseenesest). Kaks gaasi iseenesest diffundeerivad (lähevad segi). Seda seletab kergesti kineetiline gaasi teooria (J. 503).

Daltoni seadus. On ühe gaasi rôhumine P_1, kui ta üksipäini vaatluse all olevas ruumis, ja teise gaasi rôhumine neis samastes tingimistes P_2, siis on peale segamist kogurôhumine $P_1 + P_2$.

2. Osmos on läbitungimine urbsest vaheseinast. Selgub, et gaas seda kiirem urbsest seinast läbi tungib, mida kergem ta on.

Katse (J. 541): savist purgiga *T* kinnitatud toru ots on vette pistetud. Kaetakse purk klaasiga ja juhitakse klaasi alla valgustus-gaasi, siis tungib gaas kiiremini savipurki, kui ôhk sellest välja (vullikeste tekkimine punktis *A*). Võetakse klaas pealt ära, siis tungib gaas purgist kiiremini välja, kui ôhk sisse. — Tarvitamine hoiatus-aparaatide ehitamisel kaevandustes.



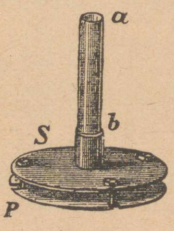
J. 541. Valgustusgaasi osmos.

3. Soolalahude olek. Van't Hoff leidis: kui sulatada veekogus *V* natuke soola või suhkrut, siis avaldavad sulanud moleküülid samasugust tegevust, kui gaasi moleküülid (J. 503), mis ruumi *V* täidavad. Nad avaldavad sellepärast ka ruumi *V* seinte vastu gaasi-rôhumist. Seda rôhumist võib välja arvata sulanud aine hulga abil ja seda nim. soolalahu **osmootiliseks rôhuks.**

Praktiline môôtmine: suhkru-või soolalahuga nôu *A* ühendatakse veega täidetud manomeetriga, mis nôust *A* n. n. pool-läbilaskva membraaniga (vaheseinaga) *M* lahutatud. See vahesein laseb läbi ainult vett, aga suhkrut, näit., mitte. Mône aja pärast näitab manomeeter rôhu tôusu.

§ 133. Ôhuvoolu imemis-tegevus.

Ôhuvool môjub kôrvalolevate kehade peale kui hôrendatud ôhuga ruum.



J. 542.

Katsed: 1. Puhutakse torukesega leegi lähedusest mööda: leegi ots kaldub ôhuvoolu poole. 2. Clément ja Desormes'i katse (J. 542): papist ketas liigub ketta *S* poole, kui tugev ôhuvool tema vastu puhutakse. 3. Pulverisaator (prits; J. 543). Kui toru *b* kaudu puhuda, siis väheneb ôhurôhk *a* kohal sedavôrd, et vedelik pudelist torusse *a* tôuseb ja välja pritsub.

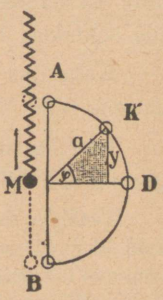


J. 543.

Lainte-ôpetus

§ 134. Lainte tekkimine.

1. Üksik osake. Lihtsam vônkùv liikumine, mida osake M sirgjoont mööda vôib teha, on harmooniline (§ 109), milles osake edasitagasi A ja B (J. 544) vahel liigub. (Traatvedru otsas olev tinast kerake venitatakse ja lastakse siis lahti.)



J. 544.

Vônkuva **osakese koht** t aja pärast joonel AB leitakse, kui punkti K projektsioon diameetrile AB. Punkt K liigub ühtlase kiirusega c juhtringil raadiusega a. — Aeg t arvatakse vônkuva osakese läbimineku momendist tema keskolekust. — Kaugus (mis muutlik) keskolekust nim. **elongatsiooniks** ja selle suurem väärtus a nim. **vôngukauguseks** ehk **amplituudiks.**

a) Vôngu vältel T kujutab juhtringi raadius OK täieliku nurga 2π (môôdetud kaarel raadiusega 1); ajaüksuses — nurga $\omega = 2\pi/T$; ajaga t — kesknurga ehk

$$\boxed{\text{faasinurga } \varphi = \omega \cdot t = 2\pi \cdot t/T}$$

b) Elongatsioon y t-aja pärast on $y = a \cdot \sin \varphi = a \cdot \sin \omega t$, ehk

$$\boxed{\text{muutlik elongatsioon } y = a \cdot \sin\left(2\pi \cdot \frac{t}{T}\right)}$$

Kui vônkuva kera tagaolevat seina päevapildistada, kus juures sein ühtlase kiirusega ω edasi liiguks, siis kujuneksid y väärtused kui kôrvuti seisvad siinusjoone ordinaadid. Sellepärast nim. sarnast vônkumist ka **siinusvônkumiseks.**

2. Lähemate osakeste kaasvônkumine. Ühe aine osakesed hoiduvad kooshoiu jôu môjul kokku. Pannakse üks osake vônkuma, siis kisub see kôrvalolevad osakesed kaasa ja need hakkavad ka vônkuma. Kuid iga järgmine osake hakkab vônkuma ühe ajavälte, näit. t', eelmisest **hiljem.**

(Lihtsamatel juhustel on hiljemaks jäämine t' proportsionaalne liikuma hakkanud osakese M' kaugusele x esimesest osakesest M_0.)

Sellepärast on liikuma hakkanud osakese M' elongatsioon mõnesugusel ajal t

$$y' = a \cdot \sin\left(2\pi \cdot \frac{t - t'}{T}\right)$$

Lõpetab esimene osake M_0 just oma ühe täie võngu, siis leidub liikuma hakkanud osakeste M' seas osake M_λ, mis just liikuma hakkab. Et sel samal ajal ka osake M_0 oma liikumise käiku uuesti algab, siis öeldakse, et M_λ ja M_0 on ühesugustes võnkumise faasides.

Kahe üks teisele järgneva ühesugustes faasides olevate punktide kaugus nim. liikumise **laine pikkuseks** λ.

Igat laialilagunevat võnkuvat nähtust nim. lainetavaks liikumiseks ehk lainte liikumiseks.

Vaatleja saab nähtusest mulje, nagu areneks edasisammuv liikumine; kuid üksikud osakesed teevad kindla paigalolemise (tasakaalu) kohal ainult võnkuva liikumise, selle juures oluliselt oma paigale jäädes. Mis laiali laguneb, on ennem tõuge või impuls.

3. Lainte liikumise kiirus. Lõpetab esimene osake M_0 ühe täie võngu (ajaga T), siis jõuab liikumine ühe laine pikkuse λ võrra edasi. Tähendab, liikumise kiirus

$$v = \text{tee} : \text{aeg} = \frac{\lambda}{T}$$

On laine ajal t' tee x edasi jõudnud, siis suhtuvad $x : \lambda = t' : T$. Sellepärast võib osakese elongatsiooni kaugusel x anda valemiga:

$$y = a \cdot \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

4. Võnkude arv n. Teeb esimene osake sekundis n võnku, mille välde T, siis $n \cdot T = 1$ (sek); tähendab, $T = 1/n$ (sek). Ajal T ärakäidud tee pikkus on $v \cdot T = v/n$. See aga on laine pikkus λ; sellepärast

$$\lambda = \frac{v}{n}$$

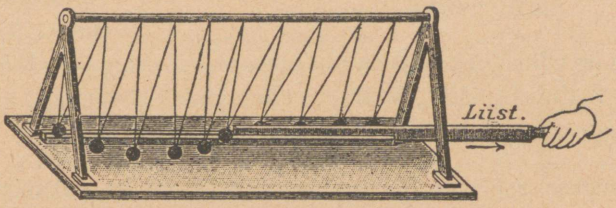
5. Laine kujud. Võnguvad osakesed edasi-tagasi selles sihis, milles laine edasi liigub, siis nim. tekkinud laine **pikki- ehk longitudinaalseks** laineks.

Vônguvad osakesed ristjoones (vôi mône nurga all) laine edasiliikumise sihile, siis nim. tekkinud laine **pôik- ehk transversaalseks** laineks.

§ 135. Pôiklained.

1. Pôik- ehk transversaal-lainte pildi vôib tekitada Mach'i lainte masina abil (J. 545).

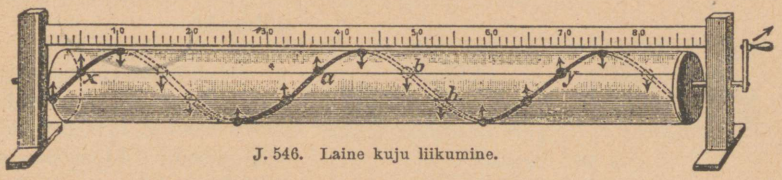
Mach'i lainte masin. Rida ühepikkuseid pendlid lükatakse liistu abil ühepalju kôrvale. Siis tômmatakse liist pendlite rea sihis tagasi. Iga pendel



J. 545. Mach'i lainte masin.

teeb sama liikumise, kui kôik teised, kuid iga järgmise vôngu algus sünnib natuke hiljem; sellest tekib lainte pilt.

2. Laine hari ja laine org. On suurem arv osakesi lainetavalt liikumas, siis näeme, et mônel momendil üks jagu osakestest ühele,



J. 546. Laine kuju liikumine.

teine jagu teisele poole, kolmas jagu jälle nii kui esimene, jne. ristjoones laine edasiliikumise sihist kôrvale on kaldunud. Ühele poole sihitud osakeste kôrvalekaldumine tekitab laine harja, teisele — laine oru. Kaugus kôrvuolevate lainte harja (vôi oru) vahel kujutab laine pikkust λ.

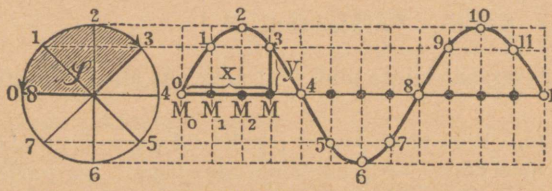
Missuguseid kaldumisi harjadeks nimetada on ükskôik, vastupidiseid tuleb siis muidugi orgudeks nimetada. On vônkumise siht loodis, siis nim., arusaadavalt, ülespoole sihitud laine osa harjaks ja allapoole — oruks.

3. Laine kuju edasiliikumist vôib uurida klaastoru abil (J. 546), mille ümber kitsas sirgjooneline pabeririba mähitud.

Kôrvalt vaadates, kujutab saadud kruvijoon laine pildi. Keerutatakse toru, siis näib, nagu liiguks laine klaastoru sihis edasi. Tôepoolest liigub aga

iga osake (näit., *a* vôi *b*) toru keeramisel ringjoonelisel teel (juhtringil) ja peab pärast iga ringkäiku jälle omal kohal tagasi olema.

Kui toru vändaga ringi ajada ja, näit., laine keskmist käiku vaadata, siis näib, et laine liikumisel eespoolne osa tôuseb, kuna tagapoolne vajub.



J. 547. Pôik-laine konstruktsioon.

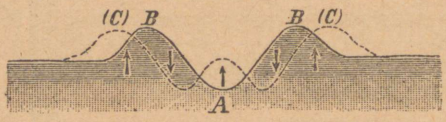
4. Pôik-lainte ehitust (konstruktsiooni) on vôimalik kujutada ühe ainsama juhtringi abil (J. 547), sest et kôik rea osakesed $M_0\ M_1 M_2 \ldots$ ühesuguselt vônguvad; ainult iga järgneva osakese juhtringi on vaja eelmise suhtes pöörata.

Kauguse x $(= M\ M_0)$ ordinaadi y leiame ka valemist

$$y = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right).$$

Sarnast lainekujulist joont nim. siinusjooneks.

5. Köiel liikuvad vôi vee lained on ka edasiliikuvate **pôiklainte näitused.**



J. 548. Veelained.

a) **Köielained:** pannakse pikk köis maha ja lüüakse järsku otsast kinni hoides piitsa löögi moodi; köit mööda on näha lainet liikuvat. — Pannakse lauale pikk kett, vôetakse otsast kinni ja liigutatakse kiiresti ühele ja teisele poole, siis on näha lainte liikumist üks teise järele.

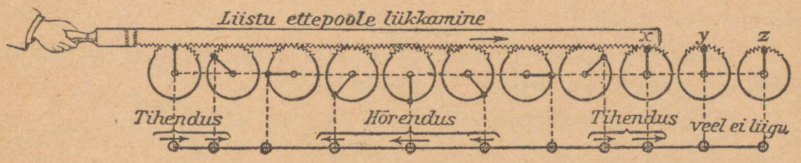
b) **Veelained:** lastakse tasasele veepinnale punktis *A* (J. 548) kivi kukkuda, siis tôrjub see vee kôrvale ja moodustab *A* ümber valli *B*. Et aga *A* ja *B* oma endisele kohale tagasi püüavad, siis sattuvad nad vônkuvasse liikumisesse. Kivi kohtamise kohal veega tekib laienev kontsentriline laine, mis kalda poole veereb. (Puu tükike kiigub kohal, millest laine läbi läheb.)

Vennad Weber'id tekitasid veelaineid pikas prismalises klaasvannis, ja panid tähele, et veesolevad osakesed, mis pinna läheduses, kujutavad ringjooni, allpool aga ellipsisi, mis sügavuse kasvamisega ikka pikergusemaks venivad, nii et suurem telg lainte sihis lamab. Tähendab, suuremal sügavusel on liikumine pikuti (longitudinaalne).

§ 136. Pikki-lained.

1. Pikki- ehk longitudinaalses laines liiguvad osakesed oma rea sihis edasi ja tagasi. Vônkuvate osakeste juhtringid on edasiliikumise sihis.

Laine edasiliikumise näitamiseks võib kujutada juhtringe, kui väikseid hammasrattaid, mis ülemises osas mônda märki kannavad (nagu x, y, z joonisel 549). Lükatakse nendest hammaslatt üle, siis hakkavad märgid pööruma, iga järgmine vähe hiljemini eelmisest. Projekteeritakse üksikute juhtrataste märgid liikumise sihile (= lainte kiir), siis saadakse vônkuva osakese olek laines.



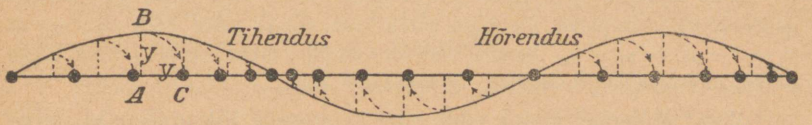
J. 549. Laine ehitus.

2. Konstruktsioon. Et pôik- ja pikkilaine elongatsioon

$$y = a \sin 2\pi\,(t/T - x/\lambda)$$

ühesuurune, siis leitakse pikkilaine osakeste elongatsioon, kui pôiklaine ordinaadi y edasiliikumise sihis (laine kiires) maha paneme (kôik ühes pöörde sihis!). Seda näitab j. 550.

3. Tihendused ja hôrendused. On suurem hulk osakesi lainetavalt liikumas, siis võib mônel silmapilgul tähelepanna, et üks salk osakesi ühele, teine-teisele poole, kolmas jälle nii kui esimene, jne. laine sihis



J. 550. Pikkilaine konstruktsioon.

oma paigalolemise kohast ära on tôugatud. Selle juures tekivad pôiklainte harjade ja orgude asemele osakeste olekus tihendused ja hôrendused.

J. 550 on kohe näha: tihenduse ja hôrenduse kohad ei vasta mitte pôiklaine harja ja orule, vaid nendele kohtadele, kus see laine kiirt lôikab.

4. Pikkilainte näitused leiame spiraalvedrude ja ôhu lainetavas liikumises.

Pikkilaineid võib tekitada ka metall-kepis, kui sellele haamriga otsa pihta pikuti sihis lüüa ja sõrmedega (pöidla ja näitaja sõrmega) keppi kekskelt kinni hoida. Samati tekivad pikkilained ka pingul olevates pillikeeltes, kui neid vaiguste näpudega pikuti hõõruda; nad hakkavad klirisema.

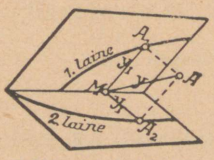
§ 137. Töö edasikandmine laintega.

Füüsikalistes laintes ei liigu edasi ainult geomeetriline kuju, vaid andub edasi osakeselt osakesele (elastse kooshoiu tõttu) impuls. Kus see ennast ilmutab, seal teeb ta tööd.

Laine on kõigest harilisem looduse abinõu töö ülekandmiseks kauge maa peale.

Lainte löögid kallastel uuristavad kaljud ja purustavad kivid. Merelained tõstavad kergesti oma harjadel ka raskeid laevu.

Piitsanööri laineliikumisega kantakse töö-osake löödava turjale.



J. 551. Lainte liitmine.

§ 138. Interferents.

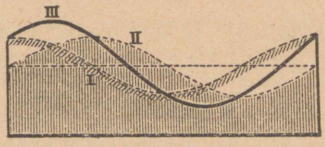
1. Kahe lainetava liikumise **üheajaline mõju** massiosakese peale nim. **interferentsiks.** Mõjuvad osakese *M* peale kaks põiklainet, siis saadakse igal momendil ühinenud liikumiste keskelongatsioon parallelogrammi lause põhjal (J. 551).

On mõlema laine liikumise võnkumised ühes tasapinnas, siis liituvad elongatsioonid:

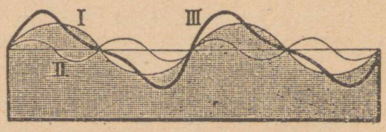
$$y = y_1 + y_2.$$

Võib juhtuda, et liitmisel summa asemel tuleb vahe leida, sest et elongatsioonidel vastupidise liikumise tõttu vastupidine märk võib olla, nii et $y_1 + (-y_2) = y_1 - y_2$. Saadus võib ka null olla, tähendab, sel juhusel läheb osake, mõlemas laines liikudes, üle tasakaalu koha.

2. a) Mõlemal lainel võib olla ühesugune **liikumise siht,** laine



J. 552. $\lambda_1 = \lambda_2$.



J. 553. $\lambda_1 : \lambda_2 = 2 : 1$.

Lainte liitumine.

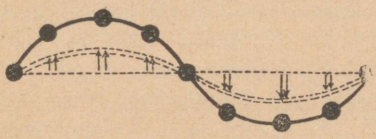
pikkus λ ja võngu välde T. Selle vastu on aga lähtepunktid ja võngukaugused isesugused. Nagu arvutamisel või joonistusel

näidata võib, tekib siis kahe siinuslaine ühinemisel jälle **siinuslaine** (kui resultant), mille laine pikkus ja võngu välde samasuurused, aga lähtepunkt ja võngukaugus a isesugused, kui kahel osalainel (J. 552).

b) On aga mõlemate lainte pikkused isesuurused, siis nad siinuslaineks ei ühine, vaid laine on enam-vähem keeruline (J. 553).

3. Iseäralised juhused. On kahel ühesugusel lainel, mis ühes sihis liiguvad, isesugused lähtepunktid, siis öeldakse, et neil on käiguvahe (J. 552).

a) **On käiguvahe null,** või λ, või $2\,\lambda$, jne., siis langeb hari harjale, org orgu. Elongatsioonide liitmisel tekib laine, millel pikkus λ samasugune, kuid võngukaugus kaks korda suurem (J. 554).



J. 554. Laine saab tugevamaks.



J. 555. Lained hävinevad.

b) On mõlemate lainte **käiguvahe** $\lambda/2$ või paarita mitmekordne arv $\lambda/2$, siis kohtab ühe laine hari teise laine oruga ja ümberpöördud (J. 555). Selle järeldusel **mõlemad lained hävinevad. (Interferents kitsas mõttes.)**

4. Kaks vastupidi liikuvat ühesugust lainet annavad ühinedes liikumise kuju, mis harilikust (edasiliikuvast) lainest täiesti lahku läheb.

a) On ühes kohas A interferentsi mõjul elongatsioon null, siis on ta null ühel ajal ka kõigis punktides.

Tõendus: I laines osakese B jaoks, mis punktist A kaugusel x, on: $y_{\mathrm{I}} = a \sin 2\pi\,(t/T - x/\lambda)$, II laines (selles peame x negatiivseks arvama): $y_{\mathrm{II}} = a \sin 2\pi\,(t/T + x/\lambda)$. Elongatsioon $y = y_{\mathrm{I}} + y_{\mathrm{II}} =$ (siinuste summa-lause põhjal) $2a \cdot \sin(2\pi\,t/T) \cdot \cos(2\pi\,x/\lambda)$. Punkti A ($x = 0$) jaoks saame: $y_0 = 2\,a \cdot \sin(2\pi\,t/T)$. Võrdub see nullile, siis on kõik elongatsioonid ühel ajal null.

b) Saadud valemi järele on osakese B **võngukaugusel** $a' = 2a \cos(2\pi\,x/\lambda)$ **kindel väärtus,** kuid ta on isesuurune isesugustel kohtadel (x). Kindlais kohtades on ja jääb ta terveks liikumise ajaks nulliks. Neid kohti nim. **sõlmedeks.**

$\cos(2\pi\,x/\lambda)$ võrdub nullile vastavalt kindlatele x väärtustele, mis üks teisest $\lambda/2$ kaugusel.

Kõige suurem elongatsioon on osakestel, mis kahe sõlme keskel asuvad; need kohad nim. **paisudeks.**

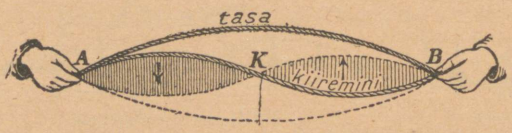
Põhjus: $a' = 2\,a \cdot \cos(2\pi x/\lambda)$ on kõige suurem, kui koosinuse väärtus 1. Siis on $a' = 2\,a$. See juhtub nende x väärtustele, mis $\lambda/4$ kaugusel sõlmedest.

d) Liitunud laine kuju on igal momendil **siinuskujuline.**

Tõendus: valemis $y = 2\,a \sin(2\pi t/T) \cdot \cos(2\pi x/\lambda)$ on t iga liikumise momendi jaoks kindel arv. Tähendab, y oleneb ainult kaugusest x. Aga koosinus- ja siinusjoonte kujundid ühtuvad.

e) **Nähtus:** iga laine osa liigub kahe üks teise järeloleva sõlme vahel nii, et meile näib, nagu tekiks nende vahel **värtna kujund;** ühel ajal käib liikumine paigal olevast kohast ühele poole, tagasi — paigal olevasse kohta, üle selle teisele poole jne.

Kõrvalolevais osades on liikumine sarnane, samasugused värtnad, kuid liikumine neis on alati vastupidine, nii et ühel ajal ikka kahe harja vahel org ja kahe oru vahel hari asub.



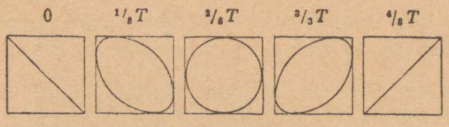
J. 556. *A*, *K*, *B* on sõlmed. Seisvad lained.

Et selle juures ühinenud laine olek mitte edasi ei liigu, siis nim. sarnaseid laineid **seisvateks lainteks** (J. 556). Selle juures võrdub kahe värtna pikkus interfereerivate lainte pikkusele λ.

Vaatluse all olnud põiklainte interferentsi nähtused tekivad ka vastavalt pikkilainte interferentsil.

§ 139. Isesugustes võnkumispindades olevate lainte interferents.

1. Ühe osakese tee leiame Newton'i lause põhjal, kui igakord elongatsioonid y_{I} ja y_{II} parallelogrammi lause põhjal ühendame.



J. 557.

Võtame kaks ühesugust lainet, mis kahes teine teisega ristjoones olevates tasapindades liiguvad.

a) Kui neil käiguvahet ei ole, siis on ikka $y_{\mathrm{I}} = y_{\mathrm{II}}$. Sellepärast võngub osake **sirgjoonel,** mis tasapindade vahel olevat täisnurka poolitab. Uus võngukaugus on $a \cdot \sqrt{2}$, kui antud kaugus a oli (J. 557).

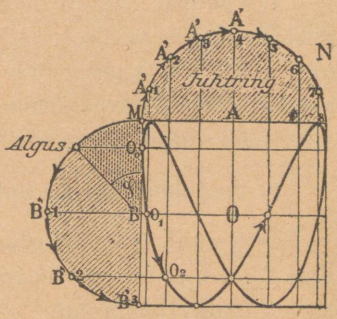
b) Algab teine laine vähe hiljem (näiteks, faaside vahe $^1/_8\ T$), siis on lainte ühinemisel osakese vônkumise tee kallakilolev **ellips**, mille kôrvaltelje pikkus peateljest küll lühem, kuid siiski valitud faaside vahest oleneb.

d) Vôrdub faaside vahe $^1/_4\ T$, siis on kôrvaltelg ühepikkune peateljega, ja vônkumise tee on **ringjoon.**

Suureneb faaside vahe veelgi, näiteks $^3/_8\ T$, siis tômbub ringjoon jälle ellipsiks, mis eelmise suhtes 90^0 vôrra pööratud.

Vôrdub faaside vahe $^1/_2\ T$, siis muutub ellips sirgjooneks, mis esimesel juhusel saadud sirgjoonega ristjoones.

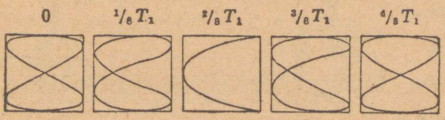
Edasi korduvad faaside vahe kasvamisel vônkumis-teed vastupidises järjekorras.



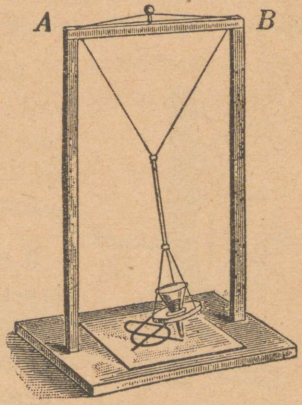
J. 558. Kahe vôngu ühendus.

2. Vônkuva osakese liikumise tee konstruktsioon leidub kergesti kahe laine juhtringi abil (J. 558). On môlema laine vôngu-ajad isesugused, siis tekivad liikumisel iseäralised läbipôimitud jooned, n. n. Lissajous kujundid (J. 559 ja 560).

Peab punkt 0 joonisel 558 vônkuma harmooniliselt a) horisontaalselt, nagu punkt A joonel MN, ja b) ristjoones, nagu punkt B joonel MB_3, siis leidub tema tôeline olek, kui antud ajaks juhtringide pôhjal punktide A ja B olekud üles leiame ja neid parallelogrammi lause pôhjal ühendame. Punkt 0 kujutab sel juhusel n. n. Lissojous-kôverjoone.



J. 559. $T_1 : T_2 = 1 : 2$.



J. 560. Lissajous kujund.

3. Ülesanne. Leida vônkuva punkti tee, kui vônguvälted suhtuvad kui 1 : 2, s. o. $T_1 : T_2 = 1 : 2$.

V. a) On faaside vahe null, siis tekib arvu 8 kujuline vônkumis-tee. — b) Kasvava faaside vahega (näit. $^1/_8\ T$) paindub arvu 8 keskpaik külje poole, kunni ta viimaks, kui faaside vahe $^1/_4\ T$, parabooli sarnaseks kaareks muutub, jne. (J. 559).

Katse (J. 560). Trehtrist jookseb liikumisel liiva. Et trehter kahes sihis vôib liikuda (paralleelselt raamile AB ja ristjoones sellele, isesuguste vônguväldetega), siis on vôimalik selle abinôuga Lissajous kujundisi tekitada.

§ 140. Lainte peegeldus (refleksioon).

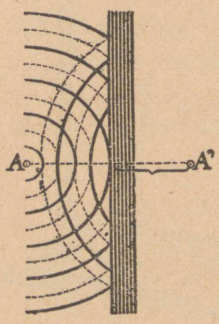
1. Vaatlus. Sattub laine, mis senni ühes keskkonnas liikunud, teise keskkonna piirile, siis tekib, nagu vaatlus näitab, kaks nähtust: a) üks osa lainest **peegeldub** ja liigub sama kiirusega tagasi, b) teine osa tungib uude keskkonda ja liigub seal edasi. Lähema vaatluse alla tuleb antud kohas ainult peegeldatud osa.

2. Peegeldumisel on kaks juhust:

a) Kohtab laine **hõredama** keskkonnaga, siis järgneb peegeldus ilma faasi muutmata. Laine liigub tagasi nii, nagu oleks ta piirilt ainult ümber pööranud.

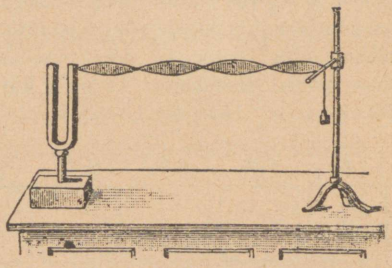
b) Kohtab aga laine **tihedama** keskkonnaga, siis peegeldub laine **poole laine kaotusega.** (Viivitus $t' = \frac{1}{2} T$.)

Põhjus. Elastse põrke seaduse põhjal muutub iga osakese liikumine kindla seinaga kokkupõrgates järsku vastupidiseks, s. o. peegeldudes liigub ta nii, nagu laine osake, mis esimesest osakesest ½ laine kaugusel.



J. 561.

Liigub, näiteks, vee laine punktist A (J. 561) vastu seina, siis peegeldub ta nii, et harjast org tekib, ja ümberpöördud.


J. 562. Melde'i häälehargi katse.

3. Et laine ja selle peegeldatud laine ühesugused on, aga vastupidi liiguvad, siis moodustab nende interferents seisva laine. **Seisvad lained tekitatakse niiviisi kõige lihtsamini.**

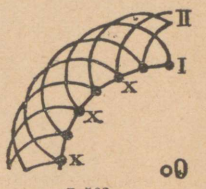
Ilusad seisvad lained saab Melde'i häälehargi-katsel (J. 562). 2 m pikkune valge villane lõng koormatakse 1—2 g ja kinnitatakse häälehargi haru külge. Hääleharki poognaga tõmmates tekitatakse seisvad lained.

4. Esimene sõlm on, kui peegeldumine sünnib kindlalt seinalt, seina peal, kui aga järelandvalt seinalt, siis ¼ λ kaugusel sellest.

§ 141. Huygens'i printsiip.

1. Huygens'i printsiip. Huygens (1678) juhtis esimesena tähelpanu selle peale, et iga laine osakest X võib omakord vaadelda **kui tekitajat lähtepunkti** järgnevale laine käigule.

2. Tarvitamine keralainel (J. 563). Tekib mõnesuguses ühetaolise aine punktis 0 laine, siis laguneb see laine igas sihis ühesuguse kiirusega laiali ja mõnesugusel momendil asuvad ühesugustes faasides olevad punktid ühel kerapinnal (I lainepind). Huygens'i järele võib selle pinna punkte X võtta kui lähte- (alg-) punkte uutele laintele (elementaar-laintele), mis jälle ühtlaselt edasi liiguvad ja mille riivaspind alglainele järgnev laine on (J. 563; II lainepind).

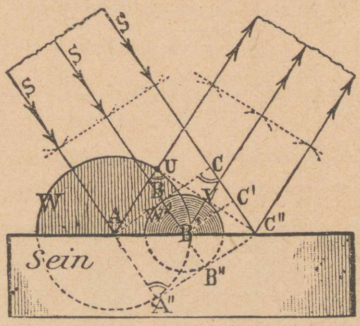


J. 563.
Huygensi printsiip.

Väikest osa ülisuure raadiusega keralaine pinnast võib tasapinnaliseks laineks pidada.

3. Tasapinnalise laine peegeldus Huygens'i printsiibi järele (J. 564). On punktid A, B, C laine eesrinnas (ristjoonel laine sihile), mis sihis S seina vastu langeb, siis võib neid uute lainte keskpunktidena võtta.

Kunni laine punktist C punkti C'' jõuab, liigub laine A ümber ainult tagasi (sest seinast läbi ei pääse) kaugusele $AU = A\,A'' = C\,C''$. Samal ajal laguneb sama kiirusega elementaar-laine punktist B kunni B' ja punktist B' kunni V, nii et $B'\,V = B'B$.



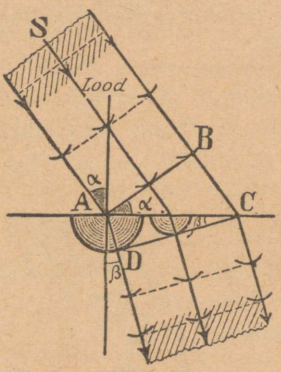
J. 564. Refleksioon.

Uute lainte pindade ühine riivaja on $U\,V\,C''$, mis peegeldatud laine eesrinda kujutab. Kolmnurkade ühtivuse tõttu:

$$\triangle A\,C''\,C \cong \triangle C''A\,A'' \cong \triangle C''A\,U$$

leiame, et nurk $A\,C''\,C$, mille all laine kiir seinale langeb, võrdub nurgale $C''A\,U$, mille all kiir seinast peegeldub **(peegeldumise seadus)**.

4. Tasapinnalise laine murdumine Huygens'i printsiibi järele (J. 565). On AB väike osa laine eesrinnast, mis sihis S ühest keskkonnast teise keskkonda tungib, siis võib punkte A ja B kui uusi lainte keskpunkte vaadelda. Kunni laine punktist B punkti C liigub, ei lagune laine punktist A teises keskkonnas mitte endise kiirusega c_1, mis temal B ja C vahel, vaid väiksema kiirusega c_2 (kui näit., teine keskkond tihedam esimesest). Laialdumise raadius AD on sellepärast vähem, kui BC, ning nende vahel on maksev võrre: $BC : AD = c_1 : c_2$.



J. 565. Murdumine.

Punktist C uuele lainepinnale tõmmatud riivaja CD on teise keskkonda tunginud laine eesrind. Kolmnurgas $\triangle ABC$ on $\sin\alpha = \frac{BC}{AC}$, $\triangle ADC$ on $\sin\beta = \frac{AD}{AC}$; tähendab $\sin\alpha : \sin\beta = BC : AD = c_1 : c_2$, s. o. **langemisnurga α ja murdumisnurga β siinuste vahel on olemas kindel suhe,** mis laine laialilagunemise kiiruste suhele mõlemas keskkonnas võrdub **(murdumise seadus).**

Hääl (akustika)

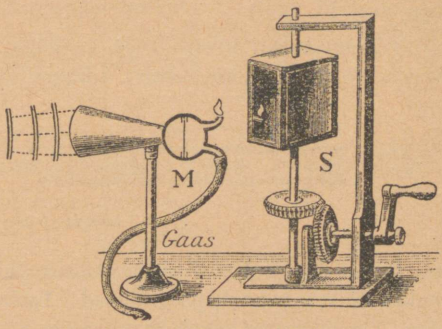
§ 142. Hääle laialilagunemine.

1. Tekkimine. Hääle tekkimiseks vaja mõni keha võnkuma panna.

Klaasi pihta löömine; pillikeele tõmbamine; paberiribast ülepuhumine, nii et hääl tekiks; häälehargiga miski vastu löömine.



Võnkuv keha annab õhule tõukeid, mis tõuke kohtades õhuosakesi tihendavad; tihendus liigub edasi, enese asemele hõrendust jättes; sedaviisi tekib õhulaine. Tähendab: **õhulained on pikkilained.**



J. 566. Manomeetri leek.

Tõestamiseks tarvitakse **manomeetri leeki** (J. 566), mis elastse vaheseinaga (membraaniga *M*) varustatud kapslil põleb. Trehteri (toru) abil juhitakse tekitatud õhulained vaheseinale. Iga membraanini jõudnud tihenduse tegevusel tõmbub leek koomale, mida võib näha, kui leegi kuju kiiresti tiirlevas peeglis *S* vaadelda. (Võrdle: helide analüüs, § 146.)

2. Hääleks nim. ärritust, mille meie kuulmise meele abil saame; hääle allikaks — keha, mis selle ärrituse esile kutsub. Sellepärast on



J. 567. Hääle lained.

hääle allikateks ikka võnkuvad kehad. Nendega õhus või ümbritsevas keskkonnas tekitatud lained nim. häälelainteks, kunni nad meie kuulmise peale mõjuvad. Hääle ärritus tekib, kui kõrva trumminahale sekundis rohkem, kui 16 ja vähem, kui 35000 tihendust langevad (J. 567).

3. Hääle kiirus ôhus on 333 m/sek (0° C ja mis tahes rôhul ning hôrendusel). See kasvab temperatuuri T tôusmisel valemi järele $c = 333 \cdot \sqrt{T : 273}$ m/sek, milles T abs. temperatuuri tähendab.

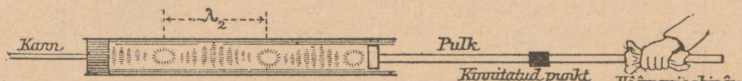
Hääle kiiruse môôtsid täpselt 1822 a. Humboldt ja Arago. Kindlaks tehtud kaugusel (S) lasti suurtükist ja môôdeti ära aeg (t), mille vôrra hääl tulesähvatamisest hiljem kätte jôudis.

Hääle kiirus vees on 1435 m/sek, kindlates kehades kunni 4000 —5000 m/sek.

Hääle kiirust vees môôtsid (1827) esimest korda Colladon ja Sturm Genfi järvel. Sel puhul kôlistati vees kella ja anti samal ajal püssirohu süütamisega valguse signaali.

4. Hääle lainte **lainepikkust** λ ôhus vôib nähtavaks teha Kundt'i toru abil (J. 568).

Kundt'i katse: ühest otsast kannuga kinni pandud klaastorusse riputatakse vôimalikult ühetasaselt korgipulbrit (parem lükopoodiumi); lahtise



J. 568. Seisvate lainte tôendus.

otsa ette seatakse metallist vôi klaasist pulk. Hôôrumisel tekitab viimane ôhulaineid, mis kannult peegelduvad. Tekkinud lainte liitumisel ilmub seisev laine. Ôhuliikumine paneb ka torus oleva pulbri liikuma; kus ôhuliikumine suur, sealt paisatakse pulber ära; sôlmedes pulber tiheneb.

Sôlmede vaheline kaugus vôrdub $\lambda/2$.

a) Katse näitab, et **kôrgemate helide** lained on lühema lainepikkusega.

b) Katset kasutatakse ka selleks, et **hääle kiirust** hôôrutud kepis leida.

Kepis tekib ka seisev pikilaine. Kui kepp keskpaigast kinnitatud, siis on selles punktis laine sôlm, vabad otsad kujutavad laine paisu. Tähendab, kepi pikkus L vôrdub kepis tekkiva seisva laine poole lainepikkusele. Lainte pikkused kepis ja ôhus suhtuvad, kui hääle kiirused kepis ja ôhus. (Lainepikkus on ju ühel vôngul tekkinud edasiliikumine.)

d) Sarnaselt tarvitatakse Kundt'i katset kiiruse leidmisel gaasides. (Strehl'i järele on see $^2/_3$ gaasi môleküülide kiirusest.)

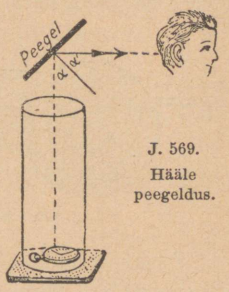
Katse: täidetakse toru valgustusgaasiga ja môôdetakse lainepikkust. See leidub 1,4 korda suurem, kui ôhus. Tähendab, hääle kiirus valgustusgaasis on ka 1,4 korda suurem, kui ôhus.

5. Hääle tugevuse kahanemine. Et hääle lained kerapinna sarnaselt laiali lagunevad, siis kahaneb nende tugevus hääle allika kauguse ruuduga.

Erand. Juhitakse häält torude kaudu, siis seda kahanemist ei ole, sest et hääles edasikanduv energia kõrvale ei laialdu. Tarvitamine rääkimistorudes majades, laevadel.

6. Hääle peegeldumine. Langevad hääle lained tihedama keskkonna pinnale, siis peegelduvad nad hariliku peegeldumise seaduse järele (J. 569).

Katse. Seatakse taskukell vildist alusele ja ümbritsetakse vildist toruga, siis võib kella tiksumist ainult toru sihis kuulda (hääle kiir). Hoitakse peeglit toru kohal ja pööratakse teda pikkamisi nii kui vaja, siis võib leida niisuguse oleku, milles kõrvalolev kõrv kella tiksumist iseäranis tugevasti kuuleb. Selle juures võib kergesti kindlaks teha, et hääle kiir peegeldub peeglilt nii, et $\alpha = \alpha'$.



J. 569. Hääle peegeldus.

Kaja on metsadelt, kaljuseintelt ja müüridelt peegeldatud hääl. Kaja nim. ühe, kahe, ... silbiliseks, kui ta $^1/_{10}$, $^2/_{10}$, ... sekundi pärast peale hääle tekkimist tagasi tuleb. Ta on mitmekordne, kui hääl mitu korda tekkimise kohta tagasi tuleb.

Sekundis võib kõrv vahet teha ainult 10 silbi vahel. Tähendab, ühesilbiline kaja saab kuuldavaks eraldi alghäälest ainult siis, kui ta $^1/_{10}$ sekundit hiljem tuleb, s. o. millal tema käigu pikkus edasi-tagasi 33 m, s. o. kui ta 16,5 m kauguselt peegeldub.

On tee lühem, siis segab varempeegeldatud hääle kõla ja seda nim. **vastukõlaks,** mis iseäranis tühjades ruumides tundub.

Tühjaruumi vastukõla hävitatakse pehmete seina vaipadega ja ruumi sisseseadetega. — Hääle peegeldusel põhjenevad ka n. n. sosistamise väärid, rääkimise ja kuulde torud.

7. Hääle kujud. Oluliselt on olemas kolm hääle kuju: **pauk, müra** (kära, kahin jne.) ja **heli.**

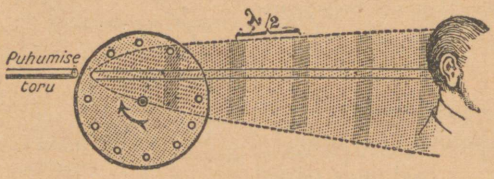
Pauk on tingitud lühikesest järsust õhupõrutusest (piitsa plaks); **müra** (kära, lärm, kohin) on mitme häälelaine korratu seganemine (rahvahulga kära).

Heliks nim. aga seda meeldivat hääle tunnet, mille korralised (= rütmilised) õhuvõnkumised meie kõrvas tekitavad. (Heli, mis tekib metallnõu vastu lüües.)

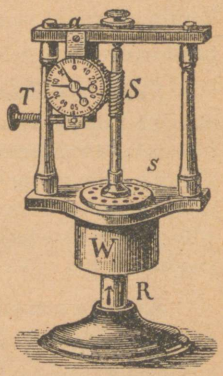
§ 143. Heli kôrgus.

1. Heli (tooni) kôrguse määrab tihenduste arv n, mis sekundis kôrva ulatab. Mida suurem see arv, seda kôrgem on heli. Sireeni abil võib seda selgitada.

Sireen (J. 570) on ringitaoline metall-ketas, mille ääre läheduses ühesugusel kaugusel rida ühesuuruseid ümmargusi augukesi läbi on löödud. **Katse.** Ketas pannakse tiirlema ja puhutakse ôhuvool torukese abil möödaliikuvate augukeste peale; ôhuvool saab siis sekundis nii palju tôukeid, kui palju selle aja jooksul augukesi möödub. On kettas m auku ja tiirleb ta sekundis n korda, siis tekib heli, mis $m \cdot n$ võngule sekundis vastab. Keerutatakse ketast kiiremini, siis tôuseb heli kôrgemale.



J. 570. Seebeck'i sireen.



J. 571. Iseliikuv sireen.

Cagniard de Latour'i sireenis (J. 571) hakkab sireeni ketas s, milles augud viltu puuritud, toru R kaudu tuulekarpi W sisseaetava ôhuvoolu môjul iseenesest tiirlema. Tiirlemise arvu näitab sireeniga ühendatud arvestaja.

Tähendab, iga tooni (heli) võib lühidalt vastava vônkude arvuga ära tähendada. Muusikas tarvitatakse helisid ainult 32 kunni 4000 võnguni. (Muusika palasid võib arvudes kirjutada.)

2. Pariisi kammertoon, kriipsuga a', vastab **435 võngule** sekundis. Teda peetakse Viini rahvusvahelisel muusika konferentsil (1885) tehtud otsuse põhjal normaal-tooniks. Tema lainepikkus on 76 cm.

Tôendus. Hääle allikalt, mis kammertooni a' annab, liiguvad sekundis 435 tihendust, mis 333 m (= hääle kiirus) pikkuse ruumi peale ära jagunevad; sellepärast on lainepikkus

$$\lambda = \frac{333 \text{ m}}{435} = \mathbf{76{,}6 \text{ cm}}.$$

3. Kahe tooni **intervalliks** nim. nende vônkude arvude suhet n_1/n_2. Teatud intervallidel on omad nimetused. Intervall 2 nim. oktaaviks, $^3/_2$-kvintiks, $^4/_3$-kvartiks.

Muusikalisi toone on 7 oktaavi, nagu see toonide reast 32—4000 järgneb:

kontra oktaav	C_1	($32\frac{5}{8}$),	teine oktaav	c''	(522),
suur oktaav	C	($65\frac{1}{2}$),	kolmas oktaav	c'''	(1044),
väike oktaav	c	($130\frac{1}{2}$),	neljas oktav	c''''	(2088).
esimene oktaav	c'	(261),			

4. Heliredeliks nim. kindlat intervallide järjekorda. Toon, millele intervallide järjekord ehitatud, nim. põhitooniks. (Põhitooniks võib iga toon olla.)

a) **Diatooniline duur-heliredel.** Puhudes sireeni, millel 24, 27, 30, ... jne. auku ühes reas, leiame et duur-heliredeli oktaavi kaheksale toonile järgmised suhtelised võnkude arvud vastavad

C	*D*	*E*	*F*	*G*	*A*	*H*	*c*
Põhitoon	sekunda	terts	kvart	kvint	sekst	septim	oktaav
24	**27**	**30**	**32**	**36**	**40**	**45**	**48**
ehk **1**	$^9/_8$	$^5/_4$	$^4/_3$	$^3/_2$	$^5/_3$	$^{15}/_8$	**2**

Kui järgnevate toonide intervallid üles otsime, siis leiame, et mõned toonid üks teisest kaugemal (täistoonid), teised jälle ligemal (pooltoonid) on. Leiame intervallide väärtused:

C *D* *E* *F* *G* *A* *H* *c*

24 : 27 : 30 : 32 : 36 : 40 : 45 : 48

Inter-vallid: $\overset{\frown}{^9/_8}$ $\overset{\frown}{^{10}/_9}$ $\overset{\frown}{^{16}/_{15}}$ $\overset{\frown}{^9/_8}$ $\overset{\frown}{^{10}/_9}$ $\overset{\frown}{^9/_8}$ $\overset{\frown}{^{16}/_{15}}$

Intervallidel on järgmised nimetused: $\gamma_2 = \frac{9}{8} = 1{,}125$ suur täistoon; $\gamma_3 = \frac{10}{9} = 1{,}111$ väike täistoon, $\delta_1 = \frac{16}{15} = 1{,}0666$ pooltooni.

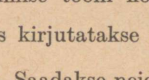
Põhjus. Ehitatakse C peale kaks korda järgimööda pooltooni, siis saadakse arv $C \cdot 1{,}0666 \cdot 1{,}0666 = C \cdot 1{,}138$, mis peaaegu sama suur on, kui oleks suur täistoon ehitatud ($C \cdot 1{,}125$).

Sellest näeme ka seda, et kahe pooltooni käik ($\gamma_1 = 1{,}138$) suurem on, kui suur täistoon ($\gamma_2 = 1{,}125$). Sellepärast saadakse veel kaks pooltooni: a) pooltooni äravõtmisel suurest täistoonist $\delta_2 = \gamma_2 : \delta_1 = 1{,}0546$ ja b) ülejääk väikesest täistoonist, kui pooltooni ära võtame $\delta_3 = \gamma_3 : \delta_1 = 1{,}0416$.

b) **Moll-heliredelis** on terts E ja sekst A asemel kaks tooni, mis n. n. väikese pooltooni $\delta_3 = {}^{25}/_{24}$ võrra madalamad. Saadud toonid E' ja A' nim. **väikeseks tertsiks** ja **väikeseks sekstiks.**

d) **Laiendamine.** Tahetakse duur-heliredelit mõne teise tooni nagu C peale ehitada, siis leitakse, et vaja on täistoonide inter-

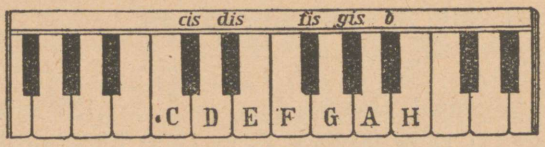
vallidesse panna vahetoone pooltooniliste intervallidega. Selle läbi tekib oktaavi rohkem kui 8 tooni.

Saadakse vahetoonid eelmise tooni kõrgendamisega poole tooni võrra (= korrutamine δ_1 - ga), siis kirjutatakse nootide ette rist  ja nim. noodid: cis, dis, fis, gis, ais. — Saadakse neid aga järgmise noodi madalamale laskmisega, siis pannakse nootide ette ♭ ja nim. neid: des, es, ges, as, b.

Sarnase poolitamisega on aga võimata heliredelit täpselt ühe tooni peale ehitada, mispärast soovitavate toonide saamiseks heliredelis lähedal seisvaid toone tuleb tarvitada. Selle järeldusel on nii moodi saadud duur-heliredelite muusikaline iseloom väga mitmesugune.

c-duur: $\gamma_2\ \gamma_3\ \delta_1\ \gamma_2\ \gamma_3\ \gamma_2\ \delta_1$, iseloom: mehine, tõsine, paraadimarss,
d-duur: $\gamma_3\ \gamma_1\ \delta_2\ \gamma_3\ \gamma_2\ \gamma_1\ \delta_2$, iseloom: rõõmus, tants,
e-duur: $\gamma_1\ \gamma_2\ \delta_3\ \gamma_2\ \gamma_1\ \gamma_2\ \delta_3$, iseloom: pidulik,
f-duur: $\gamma_2\ \gamma_3\ \delta_2\ \gamma_1\ \gamma_2\ \gamma_3\ \delta_1$, iseloom: tõsine,
g-duur: $\gamma_3\ \gamma_2\ \delta_1\ \gamma_2\ \gamma_3\ \gamma_1\ \delta_2$, iseloom: sarnane c-duurile,
a-duur: $\gamma_2\ \gamma_1\ \delta_2\ \gamma_3\ \gamma_1\ \gamma_2\ \delta_3$, iseloom: idülliline,
h-duur: $\gamma_1\ \gamma_2\ \delta_3\ \gamma_1\ \gamma_2\ \gamma_3\ \delta_2$, iseloom: suurepäraline.

Puhtalt hääleseadmisel (nagu siiamaani arvati) ilmub oktaavi ainult märkide ♯ ja ♭ mõjul 10 uut tooni. Klaveri oktaavis on aga kokku ainult 12 tooni (J. 572).



J. 572.

e) **Ühtlaselt tempereeritud heliredel** (häälte sead). Klaveril asetatakse oktaavi lihtsalt 12 tooni, mille intervallid kõik ühesuurused $\delta = \sqrt[12]{2} = 1{,}059$. Sarnase matemaatiliste intervallide järjekorraga toonide rida nim. tempereeritud heliredeliks. Selles on ainult oktaav puhas intervall.

§ 144. Obertoonid, heli värv, konsonants.

1. Obertoonid. Igal põhitoonil on salk obertoone, s. o. sarnaseid toone, mis järgimööda 2, 3, 4, 5, . . . korda rohkem võnkusid teevad, kui põhitoon.

Tooni c obertoonid on näit., c, c', g'', c'', e''', g''', . . .

Obertoonide lainte pikkused kujutavad rea 1, ½, ⅓, ¼, . . ., kui põhitooni laine pikkus on 1.

2. Heli värv. Harva heliseb mõni toon ilma mingisuguse obertoonita. See, mis muusikas kuuldub, on tõepoolest toonide ja obertoonide segu, n. n. helid.

Obertoonideta helid kõlavad pehmelt ja tuhmilt, üldse mitte väga meeldivalt. **Manomeetrilistel uurimistel** (§ 142) ei ole helide lainte kujud puhtad siinusjooned, vaid väga keerulise ehitusega kõverikud.

Missugune obertoon põhitooni tekkimisel kõvemini kuuldub, oleneb muusika riista ehitusest. (Harilikult on nende tugevus vastavalt järjekorrale.) Näiteks, klaveril heliseb kaasa (esimese obertoonina) teine obertoon $^1/_6$, kolmas $^1/_3$, neljas $^1/_6$ tugevusega.

Obertoonid annavad igale helile mitmesugustel muusika riistadel isesuguse **heli värvi.**

Kas mõni heli klaveril, flöötel või lauljaga on tekitatud, võib kohe ära tunda, sest et kõigil neil isesugused obertoonid väljenduvad. — Inimesi tuntakse ka hääle kõla järele.

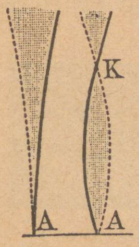
3. Konsonants. Tekitavad kaks või rohkem heli, kui nad ühel ajal kuulmise peale mõjuvad, meeldiva kõla, siis nim. seda konsonantsiks, vastasel korral dissonantsiks. Meeldiv kõla on seda täielikum, mida lihtsam helide intervall. Kõige tuttavam meeldiv kõla on n. n. ***c*-duur-kolmkõla** $C : E : G = 4 : 5 : 6$.

Sarnaselt hästi kõlab ***f*-duur-akkord** $F : A : C'$ ja G-duur-akkord $G : H : D'$. Neil on kõigis viisides tähtis osa.

Konsonantsi põhjus seisab **ühiste obertoonide** väljendumises.

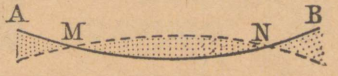
§ 145. Heli allikad.

1. Vardad võnguvad kergesti põigiti. a) On varras **ühe otsaga** kinnitatud, siis kujutab kinnituskoht sõlme ja vaba ots paisu (J. 573). Varras kujutab võnkudes $^1/_2$ värtnat = $^1/_4\,\lambda$ (põhitoon).



J. 573.

Varras võib võnkuda ka mitme sõlmega, näit. $^3/_2$ värtnat ($\lambda' = \lambda/3$; kolmas obertoon), ehk $^5/_2$ värtnat ($\lambda'' = \lambda/5$) jne. Omapärane ühe otsaga kinnitatud varraste helide värv (nagu mängu kastides) on tingitud **paarita obertoonidest.**

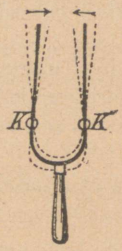


J. 574.

b) On varras kinnitatud mõlemast otsast, siis võngub ta kui pillikeel (võrdle J. 579).

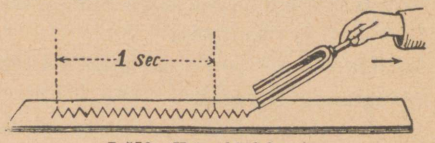
d) Kinnitatakse varras **kahes punktis** *MN* (J. 574), mis ühekaugusel keskpunktist, siis võngub ta nõnda, et neis punktides sõlmed on (1 värten = $\lambda/2$; põhitoon).

Ta võib ka kui palju tahes sõlmedega (värtnatega) *M* ja *N* vahel võnkuda. Suuremalt jaolt väljendub lühikestes varrastes esimese obertoonina üheksas. — Kellade mäng orkestris. — Laste klaas-harmoonik. Ksülofon.



J. 575.

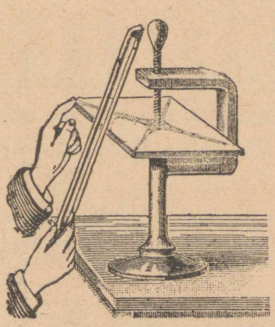
e) Häälehark on U-sarnaselt painutatud teras-varras, mis põlvega jalale kinnitatud (J. 575). Tõmmatakse viiuli poognaga häälehargi harusi, siis võnguvad otsad suure elavusega ühel ajal sisse- või väljapoole. Selle-juures tekivad põlve ligidal 2 sõlme (s. o. mitte võnkuvad kohad), kuna põlv ühes jalaga jala sihis koputavalt liigub.

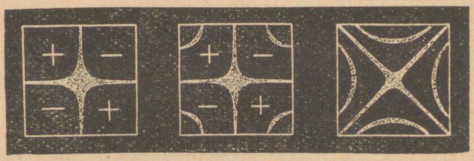


J. 576. Katse häälehargiga.

a) Häälehargi harude liikumist võib järelkatsuda, kui pika niidi otsa riputatud elevandiluust kerakese nende vahele seame (J. 583). b) Tema võnkumise näitamiseks, kinnitatakse ühe haru külge kirjutav nõelake ja tõmmatakse siis helisevat hääleharki kiiresti üle tahmaga kaetud klaastahvli (J. 576). d) Hääleharki tarvitatakse ainult normaal-toonide tekitamiseks.

2. Võnkuvaid platesid tarvitatakse heli allikatena iseäranis kellade kujul. Kui neid poognaga tõmmata, siis jagunevad nad mitmeks üks teisele vastupidiselt võnkuvaks osaks. Need osad on piiratud joontega, mis helisemisel paigal seisavad (sõlmjooned).


J. 577.



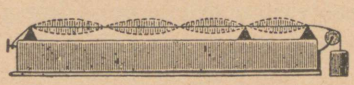
J. 578. Chladni helikujundid.

Järelkatse (J. 577). Seda on hästi näha liivaga üle riputatud ümmargustel või ruudulistel platetel, mis keskpaigast kinni hoitud ja helisema pandud (n. n. Chladni helikujundid, 1787. J. 578).

3. Membraanid (trummi-nahk) on äärtel kinnitatud. Nad võnguvad harilikult ilma obertoonideta; nende tooni kõrgus muutub pingega.

4. Pillikeelte vônkumist uuritakse monohordil (J. 579). Selgub, et keele lühendamine ja suurem pinge selle tooni kôrgendab.

a) **Ühesugusel pingel** suhtuvad toonide võngu arvud vastuproportsionaalselt keelte pikkusele. Jagatakse, näit. roobiga, keel suhtes 1 : 2, siis on ühe osa toon teise osa oktaav.



J. 579. Monohord.

Keele jagamine: eraldatakse roobiga ¼ pikkust ja tômmatakse poognaga lühemat osa, siis võngub ka pikem osa, mille juures ta (J. 579) ülejäänud $^3/_4$ osaks jaguneb. Sôlmede ja paisude järelkatsumine paberitest ratsutajate abil.

Sellepärast tekivad pillikeelel kergesti obertoonid (flageolethelid).

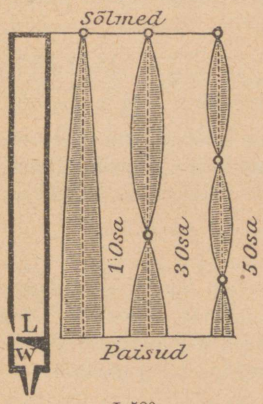
Neid võib kuuldavaks teha, kui vônkuvat keelt tasa puudutada keskpaigas, kolmandikus, neljandikus jne. pikkuse osas.

b) Taylor'i järele on **pillikeele vônkude arv,** kui pikkus l cm, pinge P düüni ja mass m grammi iga 1 cm pikkusele,

$$n = \frac{1}{2l}\sqrt{P : m}$$

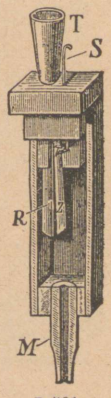
Missuguse tooni annab 25 cm pikkune keel, mis ½ g raske, kui pinge 5 kg? (1 kg = 981000 düüni). V. Mis vastab n = 313.

d) Vardad ja keeled võivad ka pikuti vônkuda. Selle juures tekitavad nad kôrgeid (klirisevaid) helisid.



J. 580.
Kinnine vile.

Põhjus: vônkude arv leitakse valemist $n = v : \lambda$; kindlatel kehadel on aga v = 3000 kunni 8000 m/sek, kuna λ vôrdlemisi väike (näit. põhitoonile vastav laine pikkus on kahekordne keele pikkus), sellepärast on n väga suur arv.



J. 581.
Keelvile.

5. Viled on torud, mille sisemine ôhk puhumisel vônkuma pannakse (vilistamine auguga-vôtmega). Puhumine sünnib mundstüki abil. Viimase ehituse järele nim. vilesid mokkviledeks (J. 580) ja keelviledeks (J. 581).

Mokkviledes juhitakse karbist W ôhuvool terava ääre L vastu, mida n. n. mokaks nim. Mundstüki kohal valitseb puhumisel tugev

õhuliikumine, n. n. pais. On toru ots lahti, siis on ka seal pais. On aga ots kinni, siis valitseb seal vaikus, s. o. — tekib sõlm.

a) **Kinnise otsaga** viles on kinnises otsas vaikus ja lahtises otsas kõige suurem liikumine, sellepärast annab vilepikkus l põhitooni poolvärtna ehk veerand lainepikkuse.

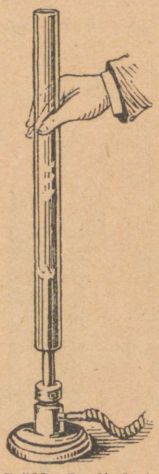
Põhitoon (kinnises torus): $l = \frac{\lambda}{4}$, $\lambda = 4l$

Võrdlus ühe otsaga kinnitatud varda võnkumisega näitab, et ka siin ainult **paarita obertoonid** võivad tekkida.

b) **Lahtistes viledes** on mõlemas otsas kõige suurem liikumine, põhitoonil tekib keskpaigas sõlm, nii et vilepikkus l kaks poolvärtnat ehk poole lainepikkust kujutab.

Põhitoon (lahtises torus): $l = \frac{\lambda}{2}$, $\lambda = 2l$

Obertoonid tekivad, kui lahtiste otste vahel kaks või rohkem sõlme asuvad, tähendab, kui $l = \lambda$ või 2λ või $3\lambda \ldots$. Sedaviisi võivad selles viles **kõik obertoonid** tekkida.



J. 582. Laulja leek.

Lahtine vile annab samase põhitooni, kui pool nii pikk kinnine vile (sõlmede ja paisu ühtlase oleku tõttu), aga neis ei kõla kokku mitte ainult paaris, vaid ka paarita obertoonid.

Keelviles (J. 581; keelpill) juhitakse õhk karbist keele Z peale, mis võib olla läbikäiv või pealelööv.

Sarnaste vilede tooni otsustab keele pikkus. Ülemine toru osa on ainult tooni kõvendamiseks. — Traadi S (häälekark) nihutamisel saab muuta keele pikkust nii, et tekkival toonil õige kõrgus oleks.

6. Vilede tarvitamine.

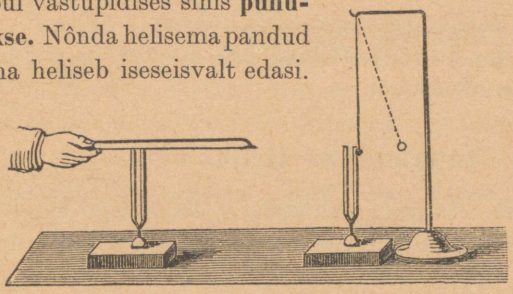
Flööte on mokkpill; klarnet, oboe, fagott, harmoonium ja lõõtsapill — keelpillid, niisama ka laste pasunad. Orelil on mokk- ja keelviled. Puhkpillides moodustavad puhuja huulte ääred (sarnaselt keelekõri häälepaeltele) vile keele.

7. Laulja leek. Klaastorudes olevaid õhusambaid võib helisema panna, kui valgustus- või vesiniku gaasi leeki nendesse juhtida. Leek tõmbub selle juures kõik see aeg natuke kokku (tõendus tiirleva peegli abil) ja paneb tõusva õhuvoolu võnkuma.

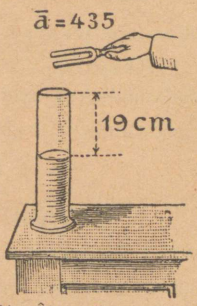
Tarvitataval lambil peab iseäranis peenike avaus olema (J. 582).

§ 146. Resonants.

Resonantsiks nim. kehade kaaskõlamist, kui hääle lained nende peale langevad. — a) Resonants tekib iseenesest ainult siis, kui langeva häälelaine võnkude arv keha enese võnkumis-arvuga ühtub. Sel juhusel kõveneb, hääle tõukest tõukeni, keha enese võnkumine, nagu pendli võnkumine, kui selle peale 1, 2, 3, ... võngu lõpul vastupidises sihis **puhutakse.** Nõnda helisema pandud keha heliseb iseseisvalt edasi.



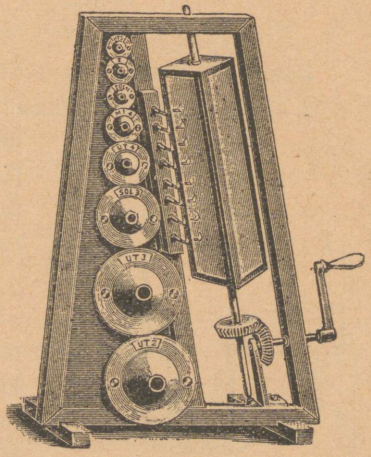
J. 583. Resonantsi katse.



J. 584. Õhusamba resonants.

a) Lauldakse klaveri keelte kohal mõni noot, siis helisevad vastavad keeled ja nende obertoonid kaasa. — b) Tõmmatakse poognaga häälehargi haru mööda, siis heliseb ka teine sarnane häälehark edasi ka siis, kui esimese helisemise puutudes lõpetame (J. 583). — d) Löödud häälehark kõlab nõrgalt; hoitakse teda aga klaassilindri (J. 584) kohal, millesse pikkamisi vett valatakse, siis kuuldub häälehargi toon mõnel kindlal veekõrgusel selgesti; see tuleb sellest, et siis õhusamba enese toon samasugune on, nagu häälehargilgi (õhusammas võngub ½ värtnaga, tähendab, tema kõrgus peab $\lambda/4$ olema).

b) **Sunnitud resonants** tekib, näit., siis, kui helisev keha, nagu häälehark, vastavale alusele kinnitatakse, mis sellega kaasa võnkuma sunnitakse (häälehargi resonantskast).

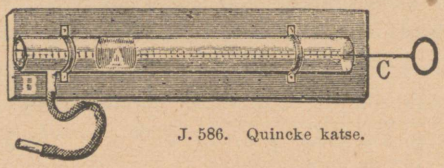


J. 585. Resonaatorid.

2. Tarvitamine. a) Helide analüüsiks.

Kera-, koonuse- või silindrisarnaseid resonaatorisi, mis vastavalt kindlatele toonidele ritta seatud, võib Helmholtz'i järele helide analüseerimisel tarvitada (J. 585). Need resonaatorid on ühendatud manomeetri leekidega.

Lauldakse aparaadi ees mônda nooti, siis nähtakse kiiresti tiirlevas peeglis nende tulukeste kokkutômbumist, mille resonaatorid helile vastavad (J. 566).



J. 586. Quincke katse.

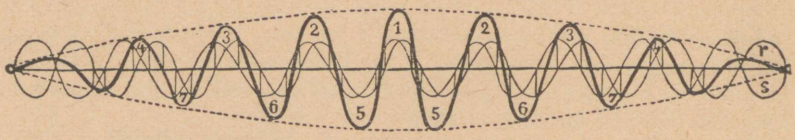
b) Hääle kiiruse leidmiseks gaasides:

Quincke järele täidetakse klaastoru (J. 586) mitmesuguste gaasidega ja leitakse kuulmisel (toru *B* pannakse kôrva) selle ôhusamba pikkus *l*, mis normaal-häälehargi toonile vastab.

Pikkus *l* on ½ laineliikumise värtnat klaasis, tähendab, $\lambda/4$. On häälehargi vônkude arv *n* teada, siis hääle kiirus $v = n \cdot \lambda$.

§ 147. Interferents. Heljumised.

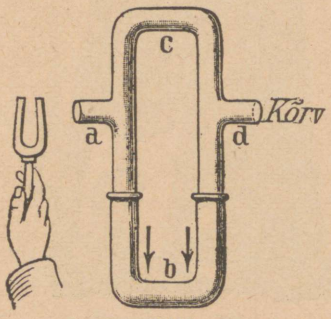
1. Differents-toon. **Sorge** (1744) leidis, et kahe tooni kooskôlamisel veel kolmas toon kuuldub, mille vônkude arv kahe esimese tooni vônkude arvu vahele (differentsile) vôrdub.



J. 587. Heljumiste põhjus.

Helmholtz'i järele on ka toonide summa kuulda.

2. Heljumised. Puhutakse, näit., kahel vilel toone, mille vônkumiste arvud vähe üks teisest lahku lähevad, siis tuleb kuuldavale rütmiline toonitugevuse kasvamine ja kahanemine, mis heljumisteks kutsutakse.



J. 588.

Heljumiste arv sekundis vôrdub vônkude arvu vahele. Heljumised on interferentsi nähtus: toonitugevuse kasvamine tekib, nagu J. 587 näitab, sellest, et lainte harjad tugevamini üks teisele lähenevad, kahanemine aga sellest, et lainte ühinemisel ühe laine hari ikka rohkem ja rohkem teise laine oruga hävitatakse.

3. Kaks ühesugust tooni vôivad üks teist ka täiesti hävitada. Selles seisabki üks paremates häälelaine iseloomu tôendustest.

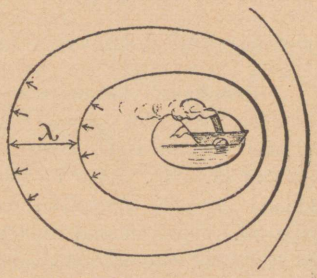
Quincke katse interferents-toruga (J. 588). Hoitakse helisev häälehark avause a ees, siis tuleb heli punktist d kahte teed mööda kõrva, nimelt lühikest haru c ja väljatõmmatavat haru b mööda. Kui c ja b tee pikkustes vahet ei ole, siis kõvendavad teine teist punktis d mõlemad kohtavad lained; on aga vahe $\lambda/2$, siis hävitavad osalained ühinedes teine teist.

Annab häälehark kammertooni ($n = 435$, mille $\lambda = 76$ cm), siis peavad teed c ja b 38 cm võrra lahku minema, et tooni kadumine sünniks.

§ 148. Doppler'i printsiip (1842).

1. Nähtus. Vilet andev vedur sõidab vaatlejast mööda. Vile toon kuuldub vaatlejale lähenemisel kõrgem, eemaldumisel madalam, kui ta tõepoolest on.

Põhjus. Lainte kontuurjooned ei ole kontsentrilised. Igal hiljem tekkinud lainel on teine keskpunkt. Järgnevad lained tungivad eelmistele (liikumise sihis) ligemale, nii et tihendused kiiremini üks teisele järgnevad ja kõrgema tooni mulje tekitavad (J. 589). Teiselt poolt aga on tihendused üks teisest kaugemal, lainepikkus λ näib suurem olevat ja sellepärast kuulduv toon madalam.



J. 589. Doppleri printsiip. Pildil elliptiliselt kujutatud lained on tõeliselt ringkujulised.

2. Tooni kõrgus. On tooni tõeline võnkude arv n, siis jõuavad meie kõrva 1 sekundis n võnku, nende tee on 333 m. On veduri kiirus v, siis saame selle lähenemisel juba $(333 - v)$ pika tee peal n lainet. 333 m pikusel teel kohtavad siis rohkem kui n lainet, nimelt:

$$n' = \frac{333}{333 - v} \cdot n \qquad n' > n$$

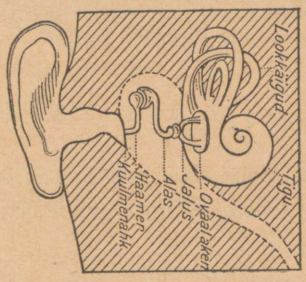
Uus tooni kõrgus näib selle tõttu kõrgem. **Eemaldumisel** tuleb $+ v$ asemel $- v$ väärtus võtta. — Doppler'i printsiibil on ka valguse õpetuses vastav tähtsus.

§ 149. Rääkimise ja kuulmise orgaan.

1. Hingamise õhutoru laiendatud ülemine osa on **häälekõri,** mis häält tekitab. Selles on kaks valget elastset **häälepaela,** mis oma äärte vahele kitsa prao, **häälepilu,** jätavad. Rääkimisel on häälekõri tegevus nagu mokkvilel. Hingamisel on häälepilu lahti; rääkimisel

tômbuvad häälepaelad tugevasti pingule, ning kopsudest väljasurutud ôhuvoolu môjul tekitavad nad toone.

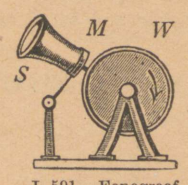
Suukoobas on osalt toonide kôvendajaks (resonaatoriks), osalt häälikute tekitamiseks. Viimast võib järelkatsuda, kui suukoopale mitmesugused olekud anda ja sõrmega nipsu palge pihta lasta.



J. 590. Sisemine kôrv.

2. Kôrv on hääle **analüseerimiseks.** On olemas väline, keskmine ja sisemine kôrv. Välise kôrva ülesanne on ainult hääle kinnipüüdmine; ta seisab koos hääle kaanalist, mis väljaspool kôrvaleheks laieneb ja seestpoolt elastse kuulme-nahakesega, trumminahaga, kinni kaetud on. Viimase taga asub keskmine kôrv kuulmeluukestega ja siis sisemine kôrv, mis saadud hääle analüseerimiseks määratud.

Helmholtz'i kuulmise teooria: kuulmenaha peale juhitud vônkumised antakse keskmises kôrvas rea luukestega (haamer, alas, jalus) edasi teise elastse membraanile, ovaal-aknale, mis kuulmevedelikuga täidetud tigu eraldab (J. 590). Tigu on väliselt sarnane tigule viinapuu aedades. Tema kaanal on piki tômmatud vaheseinaga, membrana basiliaris, 2 kaanaliks jagatud. Tigus on suur hulk peenikesi ergu-pulgakesi mitmesuguses pikkuses ja pinges, n. n. Corti-kiud, mis peaajuga kuulmis-ergu kaudu ühenduses.



J. 591. Fonograaf.

Nimetatud pulgakestest ja veel vaheseinas membrana basiliaris olevatest põikkiudest vastavad häälele ainult need, mille vônkumine kokkukôlas saadud hääle lainega. Sedaviisi lahutatakse hääl osadeks ja kantakse môistusele edasi.

3. Fonograafi ehk rääkimise aparaadi leidis 1875 a. Edison. Ta seisab koos kahest osast: kôvendatud vahast tehtud silindrist *W* ja rääkimise torust *S*, mis ôhukese klaas-membraaniga kinni kaetud. Viimase küljes on peitli sarnane nôel, mis silindrit puudutab (J. 591).

Tarvitamisel lastakse silinder kella mehanismi abil kiiresti tiirelda; samal ajal nihutatakse iga tiiruga ka toru kruvi mööda natuke kôrvale.

Räägitakse toru ees, siis hakkab membraan vastavalt vônkuma ja surub nôelaga silindri pinnale rea punktisarnaseid enam või vähem sügavaid ja korrapäralisi augukesi. Need read kujutavad fonogrammi.

Lastakse, ümberpöördud, membraani nõela üle sarnase fonogrammi liikuda, siis hakkab membraan jälle vastavalt võnkuma, mis juurelisatavate torudega kuuldavaks tehakse. Sel põhjal räägibki fonograaf.

Ülesanded.

1. Leida hääle kiirus raudtraadis Newtoni valemi $C = \sqrt{E : d}$ (E = elastsusmoodul, d = õhu tihedus.) järele. Kui palju nõuab hääl aega, et rauast telegraafi juhes $s = 12$ km ära käia? (V. $C = 3691$ m/sek, $t = 3{,}25$ sek.)
2. Kokku seada Pariisi kammertooni ($a' = 435$) võnkude arvu järele diatoonilise duur-heliredeli üksikute toonide võnkude arvud ja lainte pikkused.
3. Kui suur on kammertooni a' kvinti lainepikkus valgustusgaasis? (V. 71,45 m).
4. Kui joonis 568 on tehtud mõõdukavas (masstaabis) 1:15, siis missuguse tooni tekitab kepp, kui toru a) õhuga, b) valgustusgaasiga täidetud? Kuidas neist andmetest leida hääle kiirus hõõrutud kepis? (V. $n_1 = 888$, $n_2 = 1243$, $C = 1252$ m/sek.)
5. 120 cm pikk pillikeel vaja jagada nõnda, et ta osades annaks a) põhitooni ja kvinti, b) duur-kolmkõla. Kui pikad on osad? (V. 72 cm, 48 cm ja 48,7; 38,9; 32,4 cm.)
6. Leida duur-kolmkõlad kahes kõrvuti olevas oktaavis.
7. Missuguse tooni annab terasest keel, mille pikkus 1 m, kaal 4 g ja pinge 5 kg. (V. $n = 55{,}37$, ligikaudu kontra A.)
8. Kaks ühesugust pillikeelt annavad mõlemad kammertooni. Üht neist pingutatakse 1 kg võrra tugevamini. Suur oli endine pinge, kui nüüd sekundis 5 heljumist tekib? (V. $P = 43{,}25$ kg.)

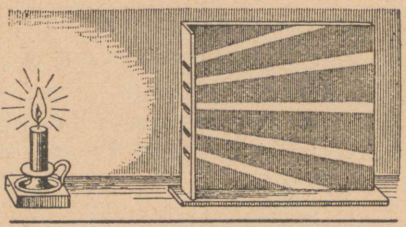
Valgus (optika)

§ 150. Valguse laialilagunemine.

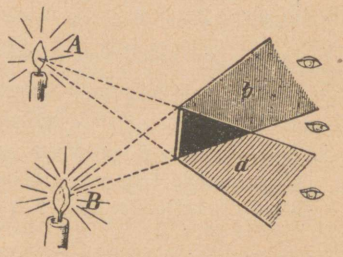
1. Valguseks nim. tunnet, mida meie nägemise ergu ärritamisel saame. Füüsiker aga môistab valguse all selle ärrituse põhjust, s. o. füüsikalist nähtust, mis (valgust andvast) kehast välja läheb ja ruumis laiali laguneb.

2. Kôik nähtavad kehad, nagu teame, avaldavad sarnast ärritust meie silmale. Sellepärast öeldakse: nähtavad kehad kiirgavad valgust.

Kehasid, millel oma valgus, nim. valguse allikateks (päike, kaartuli, gaasi leek). Teised kehad on pimedad. Viimased saavad nähtavaks (kiirgavad ise valgust), kui valgus nende peale langeb. (Kuu paistab päikese valgusel.)



J. 592. Valguse laialilagunemine.



J. 593. Täis- ja poolvari.

3. Kehade läbipaistvus. Mônest kehast (keskkonnast, vaheainest) paistab valgus läbi. Läbipaistvuse astme järele on ained läbinähtavad (ôhk, vesi), läbipaistvad (matt-klaas, ôhuke paber) ja läbipaistmatad (raud). Väga ôhukeses kihis on ka viimased läbipaistvad (näit. lehtkuld).

Järeldus: sellepärast tungib ka pimedate kehade peale langenud valgus natuke nende pinnasse.

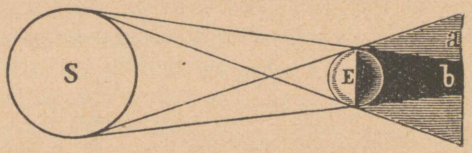
4. Ühetaolises (homogeen) keskkonnas laguneb valgus sirgjooneliste kiirte kujul. Peenikesi sarnaste kiirte kimpusid võib näha, kui kiiri tolmuga vôi suitsuga täidetud ruumi kas seina sihis vôi vasta seina tungida lastakse (J. 592).

Põhjus. Tolmu vôi seina kübemekestelt peegeldub valgus ka kôrvaloleva vaatleja sihis (Tyndall).

5. Varjud. Läbipaistmata kehade taga tekib puuduliku valgusega ruum, n. n. vari, sest et valguse kiired ainult sirgjooneliselt laiali laguneda võivad (J. 593).

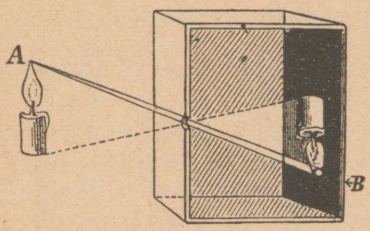
Ruumi, kuhu valgust sugugi ei tungi, nim. **täisvarjuks.** Ruumi, kuhu valgust ainult valgustandva keha mõnelt osalt tungib, nim. **poolvarjuks.**

a) On silm täisvarjus, siis ei näe ta valguse allikat sugugi; on silm aga poolvarjus, siis näeb ta valguse allikast ühe osa. Vaatamine raamatu varjus (J. 593), kui raamat kahe valguse allikaga valgustatud. — b) Ära seletada maakera täis- ja poolvarju ehitust (J. 594). — Ainult punktisarnased valguse allikad annavad kehade taga teravalt piiratud täisvarju koonuse.

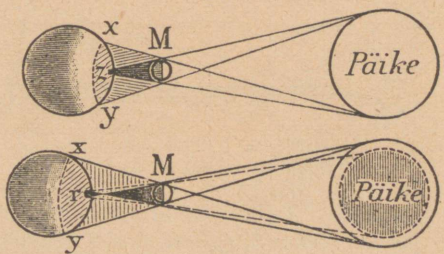


J. 594. Maakera vari. *a* = Poolvari, *b* = Täisvari.

6. Camera obscura (J. 595). Valguse sirgjoonelises laialdumises põhjeneb piltide tekkimine n. n. camera obscura's, mis enesest kinnist kasti, mille eesseinas **väike avaus** ja tagaseinaks mattklaas, kujutab.



J. 595. Camera obscura.



J. 596. Kohal *r* on ringikujuline ja *z* kohal täielik päikese varjutus.

Seletus. Igast kasti ees olevast kehapunktist *A* läheb läbi avause väike valguse koonus. Sellepärast tekib tagaseinale iga punktile *A* vastav samavärviline valguse plekk *B*. Valguse plekid *B* seaduvad niisama, kui punktid *A*, ainult vastupidises järjekorras ja sedaviisi tekib kasti tagaseinale ümberpöördud mitte-selge (segane) keha pilt. Pilt on seda selgem, mida väiksem avaus, kuid selle tõttu on ka valgustus vastavalt vähem.

Küsimus: miks on päikese paistel väikeste augukeste ükskõik missugused kujud, näit. akna luukides, ikka ümmarikud? Niisama ka metsas, puude lehtede vahelt maa peale langenud valgus? (V. Need on päikese pildid.) Mis tekib nende asemele, kui on osaline päikese varjutus? (J. 596.)

Ülesanded.

1. Teha plekisse auguke ja saada selle läbi 110 cm kaugusel päikese kujutis; see on 1 cm lai. Mitu kaarekraadi on selle järele päikese laius? (V. Umbes ½°.)
2. Pimestatud toa akna luugis on liikuva ketta abil võimalik tekitada avausi, mille laius 1 mm, 2 mm ... Avause ees hoitakse eesriie (ekraan). Kuidas tekib eesriidele vastasseisva maja pilt: a) kui suuremaid avausi tarvitatakse? b) Kui ekraani avausest eemaldatakse?

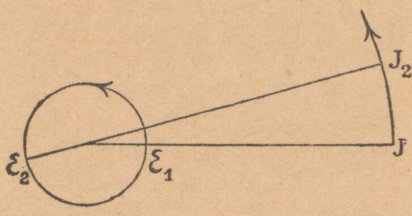
§ 151. Valguse kiirus.

1. Valgus tarvitab laialilagunemiseks aega. Vabas ilmaruumi eetris on tema tee **1 sekundis 300000 km** (40400 geogr. penikoormat) pikk.

a) Sarnane kiirus on võrreldes maapealiste kaugustega väga suur; valguse kiir jõuaks sekundis 7½ korda ümber maakera käia.

b) Ilmaruumi kaugustele on ta aga väike; nii tarvitab valgus 3½ aastat aega, et lähemalt kinnistähelt, α-Centauri, maa peale jõuda! Linnutee tähed on üle 3700 valgus-aasta meilt eemal. Liiguvad kinnistähed ruumis edasi (nagu uuemal ajal kindlaks tehtud), siis näeme meie neid mitte seal kohal, kus nad juba on, vaid kus nad olid võib olla mitu tuhat aastat tagasi.

2. Olaf Römer'il õnnestas valguse kiiruse mõõtmine ilmaruumis 1670 a.



J. 597. Römeri valguse kiiruse mõõtmine.

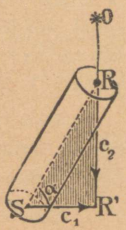
Kunni Jupiter olekust J_1 olekusse J_2 liigub (J. 597), jõuab maakera punktist E_1 punkti E_2; tähendab, maakera on sel juhusel oma orbiidi läbimõõdu võrra Jupiterist kaugemal, kui enne. Olekus $E_1 J_1$ on Jupiteri kõige lähema saatja varjutuse aeg iga 42½ tunni järele (umbes). Tähendab, on võimalik sama saatja varjutuse aega täpselt ette arvata olekus $E_2 J_2$, sest et aeg, milles maakera punktist E_1 punkti E_2 jõuab, teada on (200 päeva).

Römer leidis aga Pariisi tähetorni tabelitest, et see arvutatud aeg 986 sekundi õigest ajast maha jääb ja järeldas sellest, et valgus 986 sekundi maakera orbiidi läbimõõdu (297 milj. km) ärakäimiseks tarvitab. Sellest leidis ta valguse kiiruse 41965 penikoormat sek.

3. Bradley valguse kiiruse mõõtmine (1827) põhjeneb kinnistähtede aberratsiooni nähtusel. **Aberratsiooniks** nim. nähtust, et pooluse läheduses olevad kinnistähed aasta jooksul taeva võlvil väikseid ellipsisi kujutavad, mille suurem telg kõigil tähtedel täpselt ühepikkune ja nimelt 40,89″ (kaare sekundid) on.

Põhimõte (J. 598). Horisondile nurga α all kalduvat toru RS võib nii kiirelt edasi liigutada, et vihma tilk R oma langemise teel $R\,R'$ torusse ei puutu.

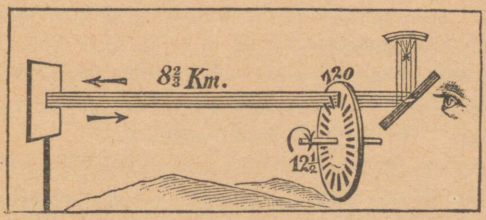
Selleks on ainult vaja, et torupunkt S sama ajaga punkti R' jõuaks, kui R punkti R'. Punktis S olevale silmale näib, nagu langeks tilk telge $R\,S$ mööda.



J. 598.

Järeldus. On $R\,S$ pikksilm, mis maakera kiirusega ($C_1 = 4{,}13$ penikoormat sek.) liigub, OR valguse kiir, mis kiirusega C_2 tähelt O maakera peale langeb, siis nähtakse tähte sihis $R\,S$. Valemist $\operatorname{tg} \alpha = C_2/C_1$ järgneb, kui $\alpha = 90^0 - 20{,}445''$, et C_2 on umbes 41000 penikoormat.

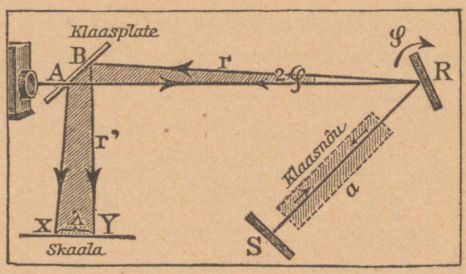
4. Fizeau näitas (1849), et valguse kiirust ka maakeral võrdlemisi lühemate kauguste abil mõõta võib (J. 599).



J. 599. Valguse kiir tuleb $\frac{1}{18144}$ sek. jooksul tagasi.

Omas katses tarvitas ta ratast, millel 720 auku ja niisama palju sama laiu vahesid (hambaid) oli. Augu kaudu juhiti kiir ristjoones umbes 8633 m kaugusel olevale peeglile, millelt kiir sama teed mööda lähtekohale tagasi peegeldus. Paigaloleva ratta augu läbi peegli poole vaadates, nägi ta, et vaateväli peegeldatud valgusega valgustatud oli.

Keerutati aga ratast nii kiirelt, et ta selle lühikese aja jooksul, kui kiir edasi-tagasi peeglini liikus, ühe augu laiuse võrra edasi jõudis nihkuda, siis langes peegeldatud kiir lähtekoha asemel järgmise vahesena (hamba) peale ja vaatlejale näis vaateväli pime olevat. Sarnane nähtus tekis siis, kui ratas sekundis 12,6 korda ringi tiirles. Sellega tarvitas auk eest ärakeeramiseks (et tema asemele vahesein tuleks) $\frac{1}{720 \cdot 2 \cdot 12{,}6} = \frac{1}{18144}$ sek. Valguse tee selle ajaga oli $2 \cdot 8{,}633$ km, tähendab, tema tee 1 sek 313274 km. Fizeau saavutuse parandas Cornu 1871—74 a. 300350 km/sek peale.



J. 600. Foucault mõõtmine.

5. Foucault valguse kiiruse mõõtmise viis (1854) põhjeneb tiirleva peegli tarvitamisel.

Aparaadi sisseseade. Punktist O (J. 600) väljaminev kiir läheb läbi klaasplatte A, langeb peeglile R, millest peegeldub ristjoones teisele peeglile S.

Viimane peegeldab kiirt jälle peeglile R ja kiir tuleb sama teed mööda punkti A tagasi. Siin peegeldub osa sellest kiirest môôdulauale $x\ y$. Tiirleb peegel R teljel, mis joonistuse tasapinnale ristjoones, siis trehvab peeglilt S peegeldatud kiir temas teise oleku, mille tôttu kiir mitte punkti A, vaid punkti B ja viimaks punkti Y jôuab.

Arvutus. Kunni valgus tee 2 a teeb, liigub X tee $XY = \lambda = (r + r') \cdot 2\ \varphi$. 1898 a. leidis Michelson selle metoodi järele korduvalt valguse kiiruse väärtuse 300350 km.

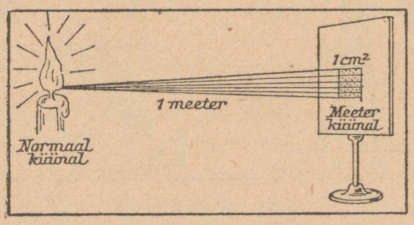
Kui Foucault peeglite R ja S vahele klaasnôu seadis (J. 600), mis pooleni veega ja pealt ôhuga täidetud oli, siis leidis ta, et vastavate λ suhe oli, kui 3 : 4, s. o. et valguse kiirus vees on kôigest 30000 penikoormat.

Ülesanded.

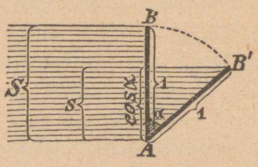
1. Kui palju tarvitab valgus aega päikeselt maakerani? (V. 500 sek.)
2. Mitme aastaga jôuab kiirrong (20 m/sek) päikeseni, vôi α-Centauri'ni, mis meilt 3½ valgusaastat kaugel? (V. 236 ja 52,5 milj. aastat.)
3. Kui kaugel meilt on Alkyone, kui valgus temalt maakerani 576 a. tuleb? Kas teatakse seal juba 30-aastase sôja käikudest, kui tema peal elutsevatel hingedel vôime on maakera sündmusi eraldada? (V. Umbes 5450 biljoni km.)

§ 152. Valguse tugevuse môôtmine (fotomeetria).

1. Valguse tugevuse üksuseks on n. n. normaalküünal (NK), s. o. kindla kokkuleppe teel tekitatud leek. Saksamaal tarvitatakse Hefneri



J. 601. Meeterküünla môiste.



J. 602.

küünalt, s. o. amülatsetaadiga pôleva lambi leek, mille kôrgus 40 mm, kui tahi paksus 8 mm.

Ligikaudu on:

lahtine gaasi leek	10 NK	Petroleumi leek	15—20 NK
Aueri lamp	60 „	Kaartuli	2000 „
Hôôglamp	16—50 „	Hôôglambid (suured) .	6000 „

Valguse hulka, mis Hefnerküünlalt 1 m kaugusel oleva 1 cm² peale langeb, nim. lumen'iks.

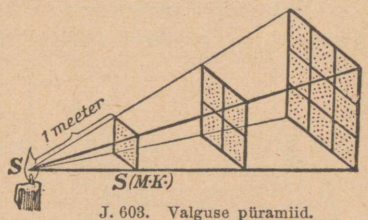
2. Pinna **valgustuseks** nim. valguse hulka, mis pinna 1 cm² peale langeb.

Valgustuse üksuseks on **meeterküünal** (MK), s. o. valguse hulk (J. 601), mis ühelt normaalküünlalt 1 m kauguselt 1 cm² pinnale ristjoones langeb.

3. Valgustuse seadused. a) Valgustus kahaneb pinna kalduvusega valguse kiirte sihile. Ta on kõige suurem, kui valguse kiired pinnale ristjoones langevad.

Tõendus: seisab pind cm² AB ristjoones kiirtele, siis langeb ta peale valguse hulk S (J. 602). Pööratakse pinda nurga α võrra olekusse AB', siis on langevate kiirte hulk s vähem:

$$\boxed{s = S \cdot \cos \alpha}$$



J. 603. Valguse püramiid.

b) Pinna valgustus kahaneb valguse allikalt eemaldamisel proportsionaalselt kauguse ruudule (J. 603).

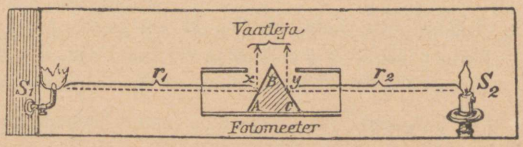
Tõendus. On joonisel 603 leegi S tugevus J normaalküünalt, siis langeb 1 cm² pinnale 1 m kaugusel J lumeni valguse hulka; 2 m kaugusel jaguneb see valguse hulk 4 cm², 3 m kaugusel 9 cm² ... r m kaugusel r^2 cm² peale. Sellepärast langeb 1 cm² peale r meetri kaugusel ainult:

$$\text{valgustus } x = \frac{J}{r^2} \text{ (MK)}.$$

Mõlemaid seadusi kokku võttes, saame üldise valgustuse valemi:

$$\boxed{\text{Valgustus } x = \frac{J}{r^2} \cos \alpha \text{ (MK)}.}$$

4. Valguse tugevuse mõõtmine (fotomeetria). Kahe valguse allika S_1 ja S_2 tugevust võrreldakse nende valgustuse x ja y võrdlemisega. Võrdlus sünnib **fotomeetrite** abil. Vanemad fotomeetrid on Ritchie, Rumfordi ja Bunseni omad.



J. 604. Ritchie fotomeeter.

a) **Ritchie metood** (J. 604). Kastikeses oleva avause all on näha ülemine serv võrdtahuliselt katuse moodi kokku pandud valgelt paberi ribalt ABC, mille üht tahku valguse allik S_1, teist S_2 valgustab. Valguse allikate nihutamisega

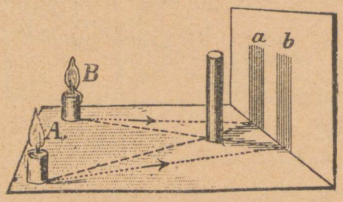
saadakse niisugune olek, milles mõlema pinna valgustus ülevalt vaatajale täiesti ühesugune. Siis on:

$$\text{valgustus } x = \text{valgustus } y \text{ ehk } \frac{S_1}{r_1^2} = \frac{S_2}{r_2^2} \text{ ehk } \boxed{S_1 : S_2 = r_1^2 : r_2^2}$$

s. o., valgustavad kaks valguse allikat pinda ühte moodi, siis suhtuvad **allikate tugevused nii, kui pinna kauguste ruudud.**

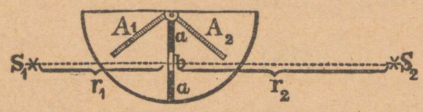
On tugevus S_1 teada, siis võib ka S_2 üles leida.

b) **Rumfordi metood** (varjude fotomeeter; J. 605). Võrreldatavad valguse allikad A ja B heidavad valge seina peale kepi varjud a ja b. Viimased ei ole päris pimedad, sest et a saab valgust allikalt B, b-allikalt A. Allikaid seatakse senni kaua, kunni nende varjud a ja b üks teist puutuvad ja ühte moodi valgustatud on. Siis saame: valgustus a = valgustus b jne., nagu eelmisel juhusel.



J. 605. Rumford'i varjude fotomeeter.

d) **Bunseni meetood.** Paberilehe a keskpaigas (J. 606) on õliplekk b, tähendab, paistab sellest kohast läbi. Mõlemalt poolt on ta aga mitte ühetugevuselt valgustatud. Sealt poolt, kus leht tugevamini valgustatud, paistab tume plekk (laik) heledal pinnal (miks?), teiselt poolt ümberpöördud. Valguse allikaid seatakse senni, kunni nurga all seatud peeglid A_1 ja A_2 ühesugust laigu valgustust näitavad.



J. 606. Bunseni fotomeeter.

5. Nõuetav valgustus lugemisel.

On kunstlik valgustus 50 MK, siis on sama hea lugeda, kui päevavalgel. Töö tegemise kõige vähemaks (tervishoiu suhtes) valgustuseks, mida silmad välja kannatavad, on 10 meeterküünalt. Tänavate valgustuse alammääraks on 0,1—1 MK.

Ülesanded.

1. Õpilase vihu laius on $b = 12$ cm ja kõrgus $h = 15$ cm. Temast eemal horisontaal-sihis $a = 4$ m ja vertikaal-sihis $b = 3$ m põleb Aueri sukk tugevusega $J = 60$ NK. Kui suur on vihu valgustus ja kui palju saab see valgust? [V. Valgustus $x = \frac{60}{5^2} \cos \alpha$; α on nurk loodjoone ja kiire vahel; tähendab, $x = 1{,}44$ MK; valguse hulk $S = 1{,}44 \cdot 12 \cdot 15 = 259{,}2$ (lumeni).]

2. Gaasi leek 3 m kaugusel annab Ritchie kastis samasuguse valgustuse, kui tiku tuli 20 cm kaugusel? Missugune on valguse allikate tugevuste suhe? (V· 225:1.)

3. Kui suure valgustuse annab kaugusel r valguse allik, mille tugevus S? Kas on sellest lugemiseks küllalt?

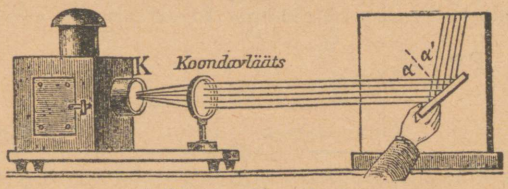
Tugevus S . .	28 NK	4000 NK	90 NK	16 NK	32 NK
Kaugus r . .	2 m	10 m	3 m	1 m	2 m

§ 153. Valguse kiire peegeldus (refleksioon).

1. Langeb valguse kiir peeglile, siis peegeldub ta sellelt. Selle juures maksavad **seadused:**

a) Langeva kiire nurk pinna ristjoonega langemise punktis võrdub peegeldatud kiire nurgale sama ristjoonega, ehk lühidalt

langemise nurk võrdub peegelduse nurgale ($\alpha = \alpha'$).



J. 607. Peegelduse tõendus.

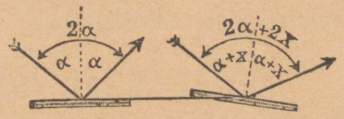
b) Langev ja peegeldatud kiir on ühes tasapinnas pinna ristjoonega langemis-punktis.

Tõendus. Nõialaternast lastakse (J. 607) selge paralleelne valguse kiirte kimp nõnda, et ta ekraanile pikuti langeks ja hoitakse kiirtes väikest tasapinnalist peeglit.

2. a) Tasapinnalisele peeglile langenud **paralleelsed kiired** peegelduvad paralleelselt.

Tõendus: et kõik α võrdsed, siis on ka kõik α' võrdsed.

b) **Ristjoones peeglile langenud kiired** peegelduvad samas sihis ($\alpha = 0$, sellepärast ka $\alpha' = 0$).



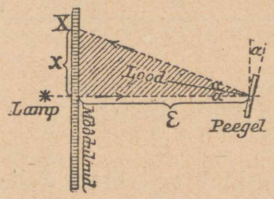
J. 608.

3. Pöörub peegel (tähendab, ka tema ristjoon) nurga x, siis pöörub peegeldatud kiir nurga $2x$.

Tõendus. Peegeldatud kiire nurga-kaugus langevast kiirest oli algusel 2α (J. 608), pärast pöörumist aga $2(\alpha + x)$; tähendab, peegeldatud kiir on tõepoolest $2x$ võrra kaugemale pöörunud.

Seda nähtust tarvitatakse kahel tähtsal juhusel:

a) **peegliga mõõtmises.** Selles liigub peegeldatud kiir mõõdulauda mööda (J. 609).

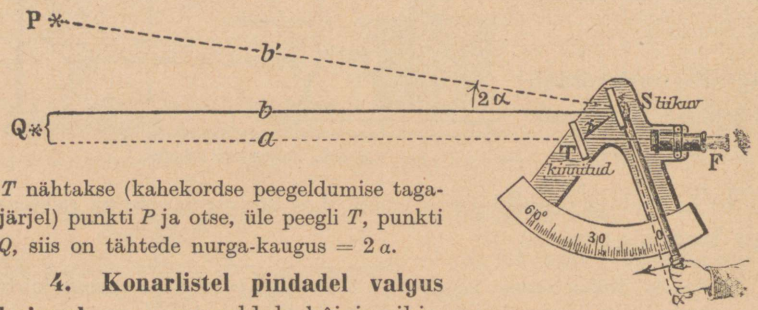


J. 609. Mõõtmine peegliga.

Pöörab peegel nurga α, siis pöörub mõõdulaua keskelt tulnud kiir nurga 2α. Võrrandist $\frac{x}{\varepsilon} = \operatorname{tg} 2\alpha \left(= \text{umbes } 2\alpha \frac{2\pi}{360}\right)$ võib α leida.

b) **peegliga sekstandis,** mis võimaldab kahe tähe P ja Q nurgakauguse mõõtmist (J. 610).

Ta seisab koos ringi sektorist, mille keskpunktis vars (alhidade) pööravalt kinnitatud. Selle varre külge on kinnitatud ristjoones sektori pinnale peegel S. Teine peegel T kinnitatakse sektori harule nii, et ta peeglile S paralleelne, kui alhidade null-punkti näitab. Keeratakse alhidade nurga α võrra nii, et punktis



J. 610. Sekstant.

T nähtakse (kahekordse peegeldumise tagajärjel) punkti P ja otse, üle peegli T, punkti Q, siis on tähtede nurga-kaugus $= 2\alpha$.

4. Konarlistel pindadel valgus hajuneb, s. o. peegeldub kõigis sihis, sest et sarnast pinda võib vaadelda kui pinda, mis koos seisab suurest hulgast korratult ja kallakile kokkupandud tasapinnakestest. Hajutud valgus teeb ühelt poolt valgustatud pinna nähtavaks **igalt** poolt.

Videvikku seletakse kui hajutud päikese valgust, mis õhus olevatelt kübemekestelt peegeldatud.

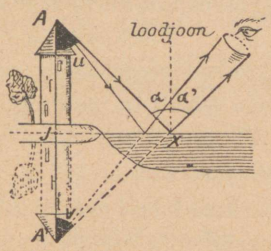
§ 154. Tasapinnaline peegel.

1. Peegeldumise seadus. Tasapinnaline peegel peegeldab kõik kiired, mis valguse punktist A tulevad nii, nagu tuleks peegeldatud kiired punktist A', mis punktiga A ühel loodjoonel ja sama kaugel peegli taga, kui punkt A peegli ees. Punkt A' nim. punkti A kujutiseks (peegelpildiks).

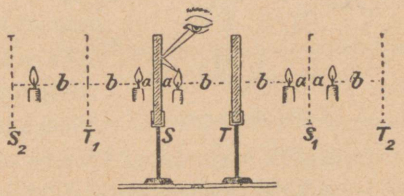
Tõendus. Kui $AJ = A'J$, siis vaja tõendada, et $\alpha = \alpha'$ (J. 611). $\triangle AJX \cong \triangle A'JX$, tähendab, $\sphericalangle u = \sphericalangle v$. Et aga $\alpha = u$, kui põiknurgad, ja $\alpha' = v$, kui vastasnurgad, siis $\alpha = \alpha'$.

2. Keha kujutis peeglis. Iga peegli ees oleva asja punktile A vastab peegli taga sama kaugel olev kujutis A'; sellepärast on asi ja kujutis sümmeetriliselt võrdsed, ainult pahem ja parem pool on vahetatud.

Kui kirja peeglis vaadata, siis saadakse n. n. **peeglikiri.** Kustutus-paberile jäänud kiri on ka peeglikiri. Miks? Sarnase kirja lugemine peegli abil. — Tõstes peegli ees oma paremat kätt, märkame, et peeglis see pahemaks käeks on.



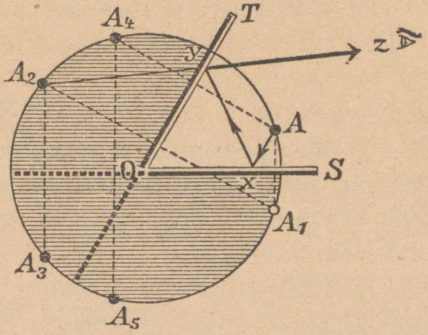
J. 611. Peegelduse seadus.



J. 612. Paralleelsed peeglid.

3. Mitmekordne peegeldus. Harilikud klaaspeeglid peegeldavad peaasjalikult amalgaamiga kaetud klaasi tagapinnalt. Natuke peegeldab ka eespind. Sellepärast nähtakse selge kujutise kõrval ka nõrka kujutist, mis klaasi eespinnast oleneb.

4. Kui kahe paralleelse peegli S ja T vahele mõni asi seada, siis tekib peeglites lõpmata hulk selle asja kujutisi, mis kõik ühel sirgjoonel asuvad (J. 612).



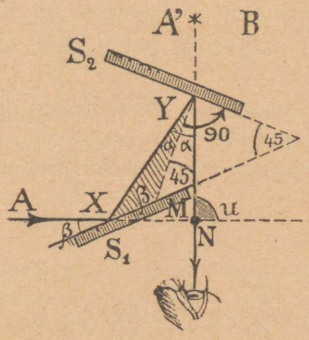
J. 613. Kujutiste ehitus nurkpeeglis.

Põhjus. Iga kujutis ühes peeglis peegeldub uuesti teises. Kujutiste kaugus: on asja kaugus peeglitest a ja b, siis järgnevad kujutised üks teise järele kaugustel $2a$, $2b$, $2a$, $2b$ . . ., mida ehitus joonisel näitab.

5. Nurkpeegliks nim. kahe tasapinnalise peegli ühendust (S ja T) mõnesuguse nurga δ all. Nende vahele seatud asi peegeldub nii mitu korda (mitmekordne peegeldus), mitu korda δ nurgast $(360^0 - \delta)$ vähem. Kujutiste ehituse saame (nagu J. 613 näha), kui oletame,

et asi A esiteks peeglis S punktis A_1 peegeldub, saadud kujutis peegeldub omakord peeglis T jne. Ehk ümberpöördud.

Kõik kujutised seisavad ringjoonel, mille keskpunkt peeglite lõikjoonel.



J. 614. Nurkpeegel.

Kaleidoskoop on 30^0 avausega nurkpeegel, mille peeglite vahele on pandud kogu värvilisi klaaskillukesi, mis kuueharalises tähekujus 12 korda peegel duvad. — Peegelsaalid.

6. Välja-mõõtjate nurkpeeglis on nurk $\delta = 45^0$. Tuleb kiir $AXYN$ pärast kahekordset peegeldumist vaatleja silma, siis seisab ta oma algsihile ristjoones. (Tarvitatakse väljal täisnurkade määramiseks.)

Tõendus (J. 614). On $AXYN$ kiire tee, siis leiame kolmnurgast $\triangle XYM$, et $\alpha + \beta = 45^0$, ja kolmnurgast $\triangle XYN$, et $2\alpha + 2\beta = u$, tähendab, $u = 90^0$.

Ülesanded.

1. Järve kaldal on 50 m kõrgune torn. Kui kaugel kaldalt peab olema lootsik, et see torni otsast vaatlejale järves tekkiva päikese kujutise kinni kataks, kui päike 45^0 (30^0) kõrgusel horisondist on? [V. 50 m (86,6 m).]
2. h m kõrguse tuletorni valguse kujutist näeb laevalseisja alanemise-nurga α all. Kaugel on vaatleja tornist, kui teada, et ta silm a m merepinnalt on? [V. $\varepsilon = (a + h) : \operatorname{tg} \alpha$.]

§ 155. Nõgus-peegel.

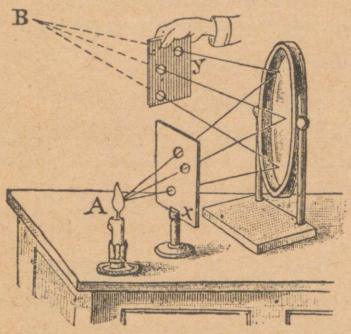
1. Sfääriliseks ehk kerapinnaliseks peegliks nim. igat poleeritud kerapinna tükki. Peegeldab nõgus sisemine külg, siis nim. ta **nõgus- ehk konkaavpeegliks,** peegeldab aga kumer välispind, siis-**kumer- ehk konvekspeegliks.**

2. Nõgus-peeglite peegeldamise seadus on: kõik kiired, mis punktist A peeglile langevad, peegelduvad nii, et jälle ühest punktist B läbi lähevad (ehk näivad läbi minevat). Selle seaduse tingimiseks on, et peegli suurus võrreldes oma raadiusega ja punkti A kaugusega väike oleks.

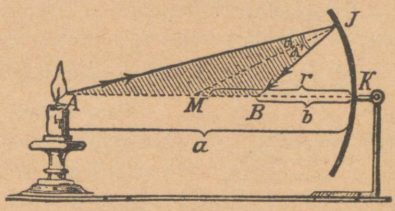
Järelkatse aukudega ekraani abil (J. 615).

Kiirte ühinemine ei ole aga üsna täielik. Hea ühinemise tingimiseks on nõue, et peegli avausnurk (kesknurk, apertur) väike oleks. Punkt A nim. asjapunktiks, B — kujutiseks (piltpunktiks).

3. Nõgus-peegli võrrand (valem). (J. 616.) Kiir punktist A trehvab peegli punktis J. Sellesse punkti tõmbame ristjoone (= kera raadiusele) JM ja ehitame $\sphericalangle \alpha = \sphericalangle \alpha'$. Tarvitades saadud kolmnurgas $\triangle ABJ$ nurga-poolitaja lauset, leiame $JA : JB = MA : MB$.



J. 615. Põhiseadus.



J. 616. Nõgus-peegli valem.

On peegel võrreldes kaugusega AJ väike, siis võib J asemele K panna ja saame võrre $KA : KB = MA : MB$, ehk kui AK, BK, MK märgime tähtedega a, b, r, $\frac{a}{b} = \frac{a-r}{r-b}$; risti korrutades: $ar - ab = ab - br$; jagades $abr - ga$:

$$\frac{1}{b} - \frac{1}{r} = \frac{1}{r} - \frac{1}{a}, \text{ ehk } \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{2}{r} = \frac{1}{(r/2)} = \frac{1}{f}.$$

Tähendab, asja kauguse a ja kujutise kauguse b vahel on olemas n. n. nõgus-peegli võrrand:

$$\boxed{\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}}, \text{ milles } \boxed{f = \frac{r}{2}}$$

Tähelepannes, et ehituse järgi punktid A, B; M, K isekeskis harmoonilised on, leiame väited:

a) kujutis asub asjaga ikka ühel peegli teljel (AK) ja nende punktid lahutavad harmooniliselt raadiuse MK lõpupunktide kauguse.

b) kujutise ja asja punkte võib ümber paigutada (sest $\alpha = \alpha'$; J. 616).



J. 617. Tulipunkt.

4. Tulipunktiks (ehk fookuseks) nim. punkti, millesse peegelduvad nõgus-peeglile paralleelselt langenud kiired (J. 617). Selle punkti kaugust nõguspeeglist nim. **tulipunkti kauguseks.**

Tulipunkti nimetus tuleb sellest, et sellesse punkti mitte ainult valguse kiired, vaid ka soojuse kiired koonduvad.

a) **Tulipunkti kaugus** peeglist on $r/_2$.

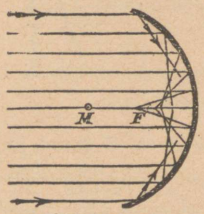
Tõendus. Paralleelsed kiired tulevad lõpmata kaugelt punktist A. Vastava peegeldatud kiirte koonduspunkti B leiame, kui nõgus-peegli võrrandis $a = \infty$ asetame. Sel juhusel $1/a = 0$ ja $b = f = r/2$. Sellepärast võib ka öelda:

b) Tulipunkt on lõpmata kauge asja kujutispunkt.

d) Nõguspeeglil on **lõpmata palju tulipunkte.**

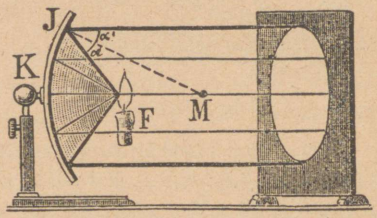
Iga raadiuse keskpunkt on sarnane tulipunkt (paralleelsed kiired lastakse langeda peeglile paralleelselt valitud raadiusele).

e) Suurte avaustega peeglitel ei ole kindlat tulipunkti (J. 618).



J. 618. Tulijoon.

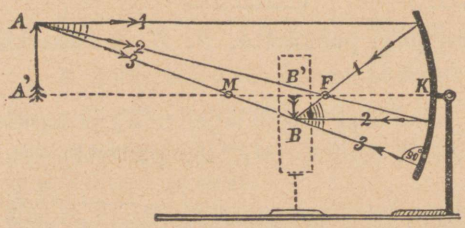
Peegeldatud paralleelkiired katavad helendavat pinda, mille põiki läbilõige arvu 3 kujuline. Seda joont nim. tulijooneks ehk katakaustikaks. Teda võib näha päikese valgusel ringikujulistes kumerates plekkribades või plekist tiiglites (kohvitassis, kuldsõrmuses).



J. 619. Reflektor.

f) **Kiired, mis tulipunktist** nõguspeeglile langevad, peegelduvad üks teisele paralleelselt (J. 619). Tarvitamine reflektorites.

5. Kujutispunkti ehitus. Harilikult valitakse üks peegli diameetritest **optiliseks teljeks** ja märgitakse sellel asuv tulipunkt F (J. 620). Kui need andmed olemas, siis on joonestuse abil võimalik kergesti leida punkti B, mis mõne väljaspool telge asuva asja punkti A kujutis on. Selleks tarvitatakse lõpmata kiirtehulgast, mis punktist A välja lähevad, järgmised kolm:



J. 620. Kujutise ehitus.

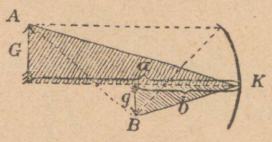
a) **paralleelne kiir,** s. o. mis paralleelne optilisele teljele. See peegeldub tulipunktist läbi;

b) **keskpunkti** (ehk pea-) **kiir,** mis kera keskpunktist M läbi läheb, ristjoones peeglile langeb ja eneses peegeldub.

d) **Tulipunkti kiir,** mis tulipunktist läbi läheb ja paralleelselt optilisele teljele peegeldub.

Need kolm ja kõik teised kiired, mis punktist *A* tulevad, peavad peegeldudes lõikuma otsitavas kujutispunktis *B*. (Punkti *B* leidmiseks on juba kahest kiirest küllalt.)

Seisab asi, näit. nool *AA'*, ristjoones valitud optilisele teljele, siis on niisama ka kujutisega *BB'*. (Kujutise ja asja vastavad punktid asuvad ikka ühel diameetril.)



J. 621. Kujutise suurus.

6. Kujutise suuruse leidmiseks võetakse tipp-kiir *AK*, mis ka punktist *B* läbi peab peegelduma (J. 621).

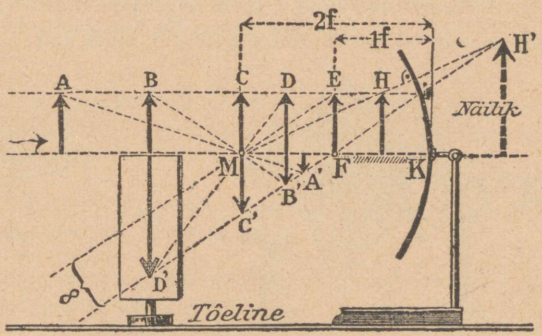
Saadud kolmnurgad on sarnased, sest et optiline telg nurga punktis *K* pooleks jagab. Sellepärast:

$$G : g = a : b$$

s. o. asja suurus suhtub kujutise suurusele nagu asja kaugus kujutise kaugusele. — Tähendab v suurendust g/G, sii son

$$\text{suurendus } v = b/a$$

7. On asi tulipunktist kaugemal, siis lõikuvad peegeldatud kiired tõeliselt ja peegel annab tõelised (mis võib eesriidele saada) ümberpöördud kujutised. Kujutise koht ja suurus leitakse kas joonestuse abil või võrranditest:



J. 622. Nõgus-peegel kui joonestus-peegel.

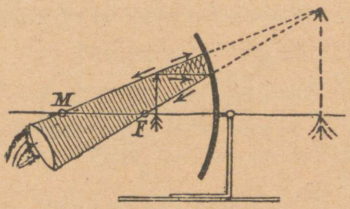
$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f};\quad G : g = a : b.$$

On $a = \infty$, $2f$, $1f$, siis on $b = 1f$, $2f$, ∞ ja $g = o$, G, ∞.

Liikumise seadus (J. 622). Liigub asi peegli poole, siis liigub kujutis peeglist eemale ja suureneb. Kujutis ja asi kohtavad keskpunktis ja on siis ühesuurused. Tähendab

kujutis → ja asi ← liiguvad vastupidi.

8. On asi peegli ja tulipunkti vahel, siis on kujutis näilik (imaginaarne, virtuelle) otsekohene ja ikka suurendatud (J. 623).



J. 623. Nõgus-peegel kui vaate-peegel.

Nõgus-peegli võrrandist järgneb:

$$b = \frac{a \cdot f}{a - f}.$$

Kui $a < f$, siis on b negatiivne, aga absoluutselt suurem kui a. Võrrandist $G : g = a : b$ järgneb siis, et $g > G$. Peegel annab suurendatud näilikud kujutised peegli taga.

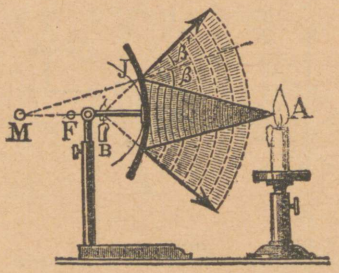
Näide. 120 cm kaugusel nõgus-peegli ($r = 60$ cm) ette on seatud 8 cm kõrgune hõõglamp. Leida kujutise laad, koht ja suurus. V.: $a = 120$ cm, $f = 30$ cm. Et $a > f$, siis on kujutis tõeline. Edasi maksavad võrrandid:

I. $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$, millest $b = 40$ cm. II. $G : g = a : b$, millest $g = 2\frac{2}{3}$ cm.

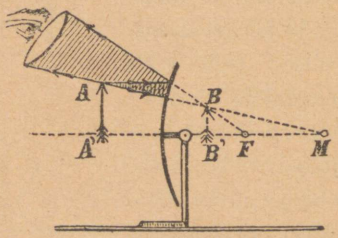
Tähendab, kujutis tekib 40 cm kaugusel peegli ees ja on $2\frac{2}{3}$ cm suur.

§ 156. Kumer(konveks)-peegel.

1. Kujutiste laad. Kumer-peegel hajub (ajab laiali) kiiri, mis mõne asja A pealt tema pinnale langevad. Näib, nagu tuleksid



J. 624. Kumer-peegel.



J. 625. Kujutiste ehitus.

peegeldatud kiired mõnest kiirgamise keskpunktist B, mis peegli taga (J. 624). Tähendab, kumer-peegel annab ümbritsevate asjade **näilikud** kujutised.

Kujutised on vähendatud ja otsekohesed. (Kujutised aedade klaaskerades, jõulupuu ehtekerakestes, vorminõõpides.)

Kumer-peeglile langenud paralleelsed kiired hajunevad punktist F, mis vastava raadiuse keskpunktis asub, nagu nõgus-peeglis. Punkti F nim. tulipunktiks (parem hajumis-punktiks).

2. a) **Kujutiste ehitus** sünnib kumer-peeglis niisama kahe kiire abil kolmest, nagu seda nõgus-peeglis tarvitati. Seda näitab J. 625. Kiirte käigu seletus!

b) Kujutiste arvutamisel maksavad kumer-peeglites samad seadused, kui nõgus-peeglites!

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f} \qquad f=\frac{r}{2} \qquad G:g=a:b$$

Kõik suurused, mis teisel pool peeglit asuvad, nagu raadius r ja tulipunkti kaugus f, tulevad võtta negatiivsed.

Näide: olgu $r = -30$ cm, $a = 1$ m; siis on $f = -15$ cm. Võrrandist $\frac{1}{100}+\frac{1}{b}=-\frac{1}{15}$ leiame: $b = -13$ cm, s. o. kujutist tuleb otsida 13 cm kaugusel peegli taga. — On asja suurus $G = 50$ cm, siis järgneb võrrandist $G : g = a : b$, et kujutise suurus $g = 6{,}5$ mm.

Ülesanded.

1. Nõguspeegel annab asjast, mis kaugusel $a = 2$ m, tõelise kujutise $b = 70$ cm kaugusel. Kui suur on peegli kumeruse raadius? (Joonis.) (V. $r = 103{,}7$ cm.)

2. Eemal oleva maja 1,9 m kõrgune aken annab 55 cm kaugusel nõgus-peegli ees 3 cm kõrguse kujutise. Kui kaugel on maja ja kui suur on peegli kumerus? (V. 24,8 m; $r = 108$ cm.)

3. Mitu mm kaugeneb nõguspeegli ($r = 90$ cm) kujutis, kui asja kaugus 30 m pealt 20 m peale kahaneb? (V. 3,5 mm.)

4. Kui suur on päikese kujutis ja valguse koondumise suurus (kontsentratsioon) sellesse teleskoobis, mille peegli tulipunkti kaugus 4 m ja avause laius 50 cm? (V. 3,64 cm; konts. = 182 kordne.)

5. Seatakse nõgus-peegli ($r = 80$ cm) ette 1 m kaugusel väike tasapinnaline peegel, mis nõguspeegli teljele nurga 45^0 all kaldub; peale selle veel 60 cm kaugusel põlev küünal. Kus tuleb otsida tekkinud kujutist ja missugune see on? (V. Kujutis on tõeline, kaks korda suurem ja 20 cm kaugusel peeglist.)

6. Prilli-klaas on eestpoolt nõgusaks lihvitud. Suur on nõgususe raadius, kui 2,5 m kaugusel oleva lambi valgus koondub punkti, mis 42 cm kaugusel klaasist? (See koht leitakse valge paberilehe hoidmisel klaasi ees.) (V. $r = 71{,}9$ cm.)

7. Tuletada kumer-peegli võrrand.

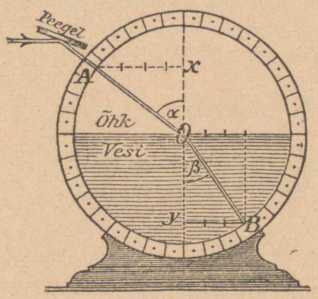
§ 157. Valguse kiire murdumine.

1. Murdumise järelkatse. Katsed näitavad, et kui valguse kiir kahe keskkonna piirpinnale sattub, siis ta kahte ossa jaguneb: üks läheb endisesse keskkonda tagasi, teine tungib uude keskkonda ja **murdub.**

On uus keskkond optiliselt hõredam, kui endine, siis murdub kiir loodjoonest kaugemale; on aga uus keskkond optiliselt tihedam, siis lähemale.

Järelkatseks juhitakse pimedas ruumis nõia-laternast kiir, nagu J. 626 näitab, õhust veega täidetud nõusse nii, et kiir valget kraadidesse jagatud ketast mööda libiseks.

2. Tähistamine. Ristjoont, mis mõlema keskkonna piirpinnale langemise punktis O tõmmatud, nim. langemise loodjooneks; nurk α, mille langev kiir loodjoonega moodustab, nim. langemise nurgaks ja nurk β, mille murtud kiir loodjoonega moodustab, — murdumise nurgaks.



J. 626. Murdmine vees.

3. Murdumise tugevus leitakse Snelliuse (suri 1626) järele järgmiselt (J. 626).

Langemise punktis O kujutatakse ring (n. n. üksusring) ja märgitakse lõikepunktid A ja B langeva ja murtud kiirega. Siis tõmmatakse neist punktidest loodjoonele

ristjoon Ax ja **ristjoon By**

(n. n. siinuskaatetid) ja jagatakse üks teisega. Saadud arv nim. murdumise näitajaks. Tähendab:

$$\textbf{murdumisnäitaja } n = \frac{Ax}{By}.$$

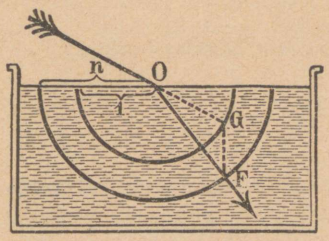
4. Murdumise seadus. Selgub, et n suurus muutmataks jääb, kui suur α ka ei oleks. Sellepärast on olemas seadus:

a) langemise nurga α ja murdumise nurga β vahel on olemas suhe

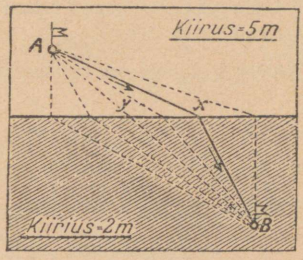
$$\boxed{\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n}$$

b) loodjoon on langeva ja murtud kiirega **ühes tasapinnas.**

Murtud kiire ehitus Weierstrass'i järele (J. 627): kujutatakse langemise punktist **raadiustega 1** ja n kontsentrilised ringjooned ja pikendatakse langevat kiirt teises keskkonnas kunni lõikumiseni punktis G ringjoonega, mille **raadius 1.** Siis leitakse punkt F ringjoonel raadiusega n, mis loodjoonel G all asub (s. o. FG on paralleelne langemise loodjoonele). Saadud punktist F läheb murtud kiir läbi. (Tõendus: siinus-lause tarvitamine $\triangle FGO$.)



J. 627. Murtud kiire konstruktsioon.



J. 628. Lühem tee.

5. Murdumise näitaja n on isesuguste keskkondade paarile isesuurune. Näiteks:

Õhust	Vette	Kroonklaasi	Flintklaasi	Teemanti
$n=$	$^4/_3$	1,5	1,7	2,5

a) **Arvu n mõiste.** Foucault (1854) leidis (§ 151) et murdumise näitaja võrdub valguse kiiruse suhele mõlemas keskkonnas; näiteks, õhu ja vee vahel:

$$n = \frac{\text{valguse kiirus õhus}}{\text{valguse kiirus vees}} = \frac{40000 \text{ penikoormat}}{30000 \text{ penikoormat}} = \frac{4}{3}.$$

Analoogia. Rattasõitja tahab kohast A sõita B-sse (J. 628) ja peab selle juures ühest maa-alast teise sõitma, kus teed pinna tõttu isesugused. Piirkonnas A võib ta kiirusega 5 m, piirkonnas B aga kõigest 2 m sõita (vilets tee). Kuidas peab ta sõitma, et kiiremini eesmärgile jõuda?

Vastus. Leitakse, et lühem tee, mis lühema ajale vastab, on tee, mis üle x läheb, aga mitte sirgjoon punktist y läbi. (Tihedamas piirkonnas on tee loodjoonele ligemal!)

Ka valguse kiir püüab keskkonnast lühema ajaga läbi tungida, sellest murdumine sünnibki.

b) **On murdumise näitaja** keskkondade A ja B vahel n, siis on ta B ja A vahel $\frac{1}{n}\left(=\frac{\sin\beta}{\sin\alpha}\right)$.

d) **Tahetakse kahe aine** A ja B murdumise näitajat üks teise suhtes leida, siis võetakse nende vahele õhk. On ainete murdumise näitajad n_1 ja n_2 ja otsitav n_x, siis

$$\boxed{n_x = \frac{1}{n_1} \cdot n_2}$$

Tõenduseks asetame näitajate asemele kiiruse suhted ja leiame, et võrrand on õige.

Näide: kui suur on vee murdumise näitaja flintklaasi suhtes?

$$V \cdot n_x = \frac{1}{n_1} \cdot n_2 = \frac{3}{4} \cdot 1{,}7 = \mathbf{1{,}28}.$$

6. Kaldumine $(\alpha - \beta)$ suureneb α kasvamisel.

Põhjus. Et $\sin \alpha = n \sin \beta$, siis on $\sin \alpha - \sin \beta = (n-1) \sin \beta$, ehk

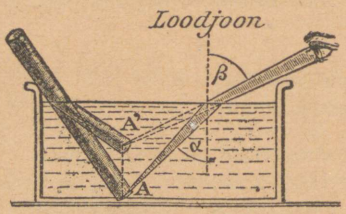
$$2 \sin \frac{\alpha - \beta}{2} \cdot \cos \frac{\alpha + \beta}{2} = (n-1) \sin \beta, \text{ millest}$$

$$\sin \frac{\alpha - \beta}{2} = (n-1) \frac{\sin \beta}{2 \cdot \cos \frac{\alpha + \beta}{2}}.$$

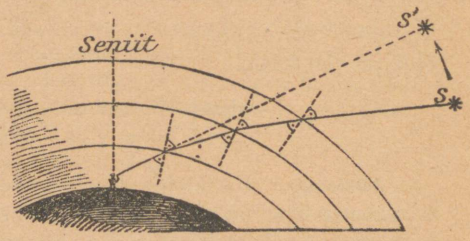
Sellest on näha, et $\alpha - \beta$ kasvab, kui α ja ühes sellega ka β kasvab.

7. Valguse murdumisel põhjenevad järgmised nähtused.

a) Kallakile vette pandud kepp paistab veepinna kohalt murtud olevat, vette ulatav osa on tõstetud. (Seletus on joonisel 629; $\beta > \alpha$, sest et vesi õhust



J. 629. Kepp näib murtud olevat.



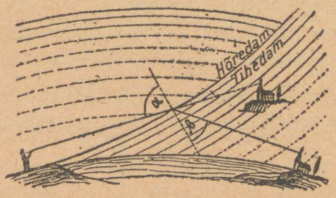
J. 630. Kiire murdumine.

tihedam.) Veega täidetud nõu põhi paistab kõrgemal olevat, niisama ka kõik, mis vees on. Tõstmine on seda suurem, mida ligemal vaatleja silm veepinnale. (Katse vette pandud mõõdulauaga.)

b) Kiirte murdumine atmosfääris. Kõrgemal on õhk hõredam. Teda võib mõttes kontsentrilisteks kahaneva tihedusega kihtideks jagada. Tuleb neist kihtidest valguse kiir läbi, siis murdub ta ikka rohkem ja rohkem loodjoonele lähemale. Tähendab, ta kujutab kõverat teekäiku (J. 630). Järelduseks on, et tähed, iseäranis horisondi läheduses, kõrgemal omast õigest kohast paistavad.

d) Kehade värisemine, kui nende peale vaadata läbi isesuguse tihedusega õhukihtide, mis piirituslambi kohal üleskerkivad. (Kinnistähtede sätendamine ja värisemine näitab atmosfääri liikumist.)

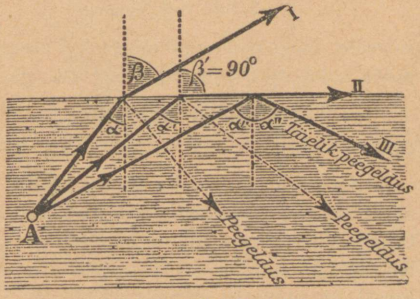
e) Valguse murdumisel põhjeneb ka n. n. terendus, s. o. nähtus, et kauget mere kallast tihti palju ligemal ja kõrgemale kerkinud nähtakse. Seletada J. 631 varal. Tingimiseks on, et tihedam õhukiht hõredama kihiga kõrvale tõrjutakse.



J. 631. Terendus.

§ 158. Täielik peegeldus.

1. Murdumine ei juhtu mitte igakord (J. 632). Tuleb kiir *I* tihedamast, ainest hõredamasse siis peab tema murdumise nurk β langemise nurgast α suurem olema. Suureneb α, siis suureneb ka β, kuid β saab ennem 90^0. Vastav α, millal $\beta = 90^0$, nim. **piirnurgaks** g. Veele on ta $48^0\ 35'$.



J. 632. Täielik peegeldus.

Suureneb α edasi, siis ei või kiir teise keskkonda enam tungida, vaid ta peegeldub **täielikult** endisesse keskkonda tagasi. (Osa saab igal juhusel peegeldatud.)

2. Tähendab, täieliku peegeldumise tingimiseks on: a) kiir peab **tihedamast** keskkonnast tulema.

b) Kiire langemise nurk peab **piirnurgast** g **suurem olema.** Murdumise seaduse järele saame

$$\frac{\sin g}{\sin 90^0} = n;\ \text{tähendab,}\ \boxed{\sin g = n}$$

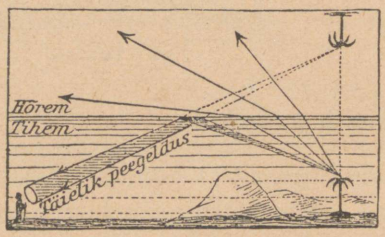
s. o. **piirnurga sin võrdub murdumise näitajale.** Sarnased piirnurgad õhu suhtes on teemandil 23^0, flintklaasil 36^0, kroonklaasil 41^0, veel $48^0\ 35'$.

Katse: juhitakse valguse kiir veega täidetud täisnurgelisesse klaasnõusse alt vastu veepinda. Niipea kui $\alpha > 48^0$, peegeldub kiir täielikult, nagu peeglilt (J. 632).

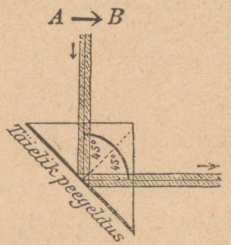
3. Täieliku peegeldumisega seletatavad nähtused:

a) Teemandite tugevam hiilgamine võrdlemisi klaas-imitatsioonidega (järeltehtud teemandid) põhjeneb sissetunginud kiirte tugevamal täielikul peegeldumisel. — Pistetakse tühi kumerik klaas vette, siis läigib see mõnest kohast kui elavhõbe. Seletus! Lume, vahu valge värv jne.

b) Kangastus (J. 633). On kaks õhukihti üks teise peal ja nende tihedus teravalt piiratud (kasvab järsku), siis võib nende piirpinnal täielik peegeldus



J. 633. Fata Morgana.

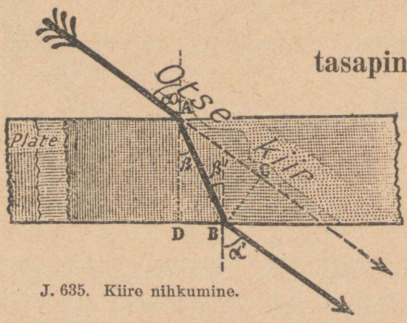


J. 634. Prisma.

juhtuda. See osa pinnast mõjub kui peegel ja temas võib näha kaugeid otsekohe mitte nähtavaid asju, mille kujutis aga ümberpöördud. (Fata Morgana.)

4. Täielikku peegeldumist tarvitatakse täieliku peegeldamisega prismas (J. 634), mis valguse kiirele valguse kaotuseta teise sihi annab.

Sarnaseks prismaks on harilikult täisnurkne võrdkülgne klaasprisma, mille hüpotenuuse pind poleeritud. Ristjoones kaateti pinnale langenud kiir tungib murdumata kunni hüpotenuusi pinnani, mille peale ta nurga 45° all langeb, mis suurem, kui klaasi piirnurk (36° kunni 41°). Sellepärast peegelduvad kiired hüpotenuusi pinnalt täielikult. Tarvitamine täisnurga määramisel, pikksilmas, prismalistes kiikrites (J. 634).



J. 635. Kiire nihkumine.

§ 159. Paralleelsete tasapindadega piiratud kiht (plate).

1. Läheb kiir sarnasest kihist läbi (näit. aknaklaasist), siis **nihkub ta kõrvale,** jäädes paralleelseks endisele sihile (J. 635).

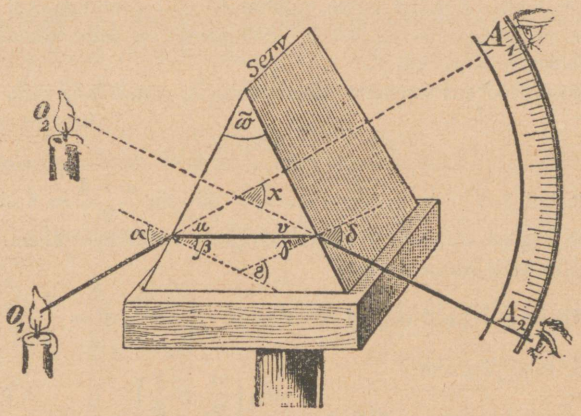
Tõendus: $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n = \frac{\sin\alpha'}{\sin\beta'}$; et aga $\beta' = \beta$ (kui põiknurgad), siis on ka $\alpha' = \alpha$. Väide maksab ainult siis, kui mõlemal pool kihti üks ja sama aine on.

2. Paralleelse nihkumise suurus $BC = l \cdot \sin(\alpha - \beta)$, kui l (AB) on kiirekäigu pikkus kihis. Kui kihi paksus d, siis $l = d : \cos\beta$.

§ 160. Optiline prisma.

1. Prismaks nim. optikas tükk läbinähtavat keha, mis kahe mitte paralleelse tasapinnaga piiratud. Tasapindade lõikejoont nim. **murdvaks servaks;** nurk ω nende vahel — **murdvaks nurgaks.**

2. Kiirte käik: prismast läbiminev kiir (J. 636) murdub kaks korda: sisseminekul kaldub ristjoonele lähemale, väljaminekul — eemale. (Teatud tingimistes võivad kaldumised vastupidised olla.)



J. 636. Kiir murdub murdvast servast kaugemale.

Selle juures selgub, et a) **kiir kaldub murdvast servast kaugemale,** b) asja O_1 **kujutis** O_2 **tõuseb** murdva serva poole.

3. Neli nurkade suhet. Kiire käigu arvutuseks prismas on vaja nurki α, β, γ, δ ja kogukaldumine x teada. Selleks on neli võrrandit:

I. $\dfrac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n$	III. $\dfrac{\sin\delta}{\sin\gamma} = n$
II. $\beta + \gamma = \omega$	IV. $x = \underbrace{(\alpha+\delta)}_{\text{välisnurkade summa}} - \underbrace{\omega}_{\text{sisenurkade summa}}$

Tõendus. I. ja III. on murdumise seaduse põhjal. II. $\beta + \gamma = \varepsilon$ (kui välisnurgale) $= \omega$ (kui ristjoones külgedega nurgad).

IV. $x = u + v$ (kui välisnurk) $= (\alpha - \beta) + (\delta - \gamma) = (\alpha + \delta) - \omega$.

Antud neli võrrandit lahendavad kõik ülesanded prisma suhtes.

4. Kiire kaldumine x on kõige vähem (miinimum), kui ta sümmeetriliselt prismast läbi läheb, s. o. kui tema läbikäigul prisma läbilõikes sarik (võrdhaarne) kolmnurk tekib.

Tõendus põhjeneb sellel, et $(\alpha + \delta)$ on kõige vähem, kui $\beta = \delta$.

$\sin \alpha = n \sin \beta$, $\sin \delta = n \cdot \sin \gamma$; ühendades:

$\sin \alpha + \sin \delta = n (\sin \beta + \sin \gamma)$ ehk:

$$\sin \frac{\alpha + \delta}{2} \cdot \cos \frac{\alpha - \delta}{2} = n \cdot \sin \frac{\beta + \gamma}{2} \cdot \cos \frac{\beta - \gamma}{2},$$ millest [sest et $\beta + \gamma = \omega$]:

$$\sin \frac{\alpha + \delta}{2} = n \cdot \sin \frac{\omega}{2} \cdot \frac{\cos \frac{\beta - \gamma}{2}}{\cos \frac{\alpha - \delta}{2}}.$$

On $\alpha > \delta$ siis on § 157 järele, kaldumine $\alpha - \beta$ suurem, kui kaldumine $\delta - \gamma$, ehk asetades: $\alpha - \delta > \beta - \gamma$. Sellepärast on murd viimase võrrandi paremas pooles suurem, kui 1.

On aga $\delta > \alpha$, siis saadakse sama resultaat; tähendab, ikka on olemas võrratus

$$\sin \frac{\alpha + \delta}{2} > n \sin \frac{\omega}{2}.$$

Ainult kui $\beta = \gamma$, ja sellega ka $\alpha = \delta$, siis $\sin \frac{\alpha + \delta}{2} = n \sin \frac{\omega}{2}$.

Sellest järgneb, et $(\alpha + \delta)$ ja ühes sellega ka x on kõige vähem, kui $\beta = \gamma$, s. o. kui kiire käik sümmeetriline.

5. Minimaal-kaldumisel võrduvad $\beta = \frac{\omega}{2}$, $u = \frac{x}{2}$. Et alati $\alpha = u + \beta$, siis järgneb

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\sin \left(\frac{\omega}{2} + \frac{x}{2} \right)}{\sin \frac{\omega}{2}}.$$

Tarvitatakse optiliste riistade tehastes klaasi murdumise-näitaja leidmiseks, sest et nurgad ω ja x kergesti mõõdetavad.

Näide: klaasprisma, mille murdev nurk 60^0, andis kõige vähema kaldumise 40^0. Siis $n = \sin 50^0 : \sin 30^0 = 0{,}77 : 0{,}50 = 1{,}54$.

6. Kitsa prisma lause. On prisma murdev nurk ω väga väike, siis võib kiirte suhtes, mis prisma tahudele peaaegu ristjoones langevad, $\sin \alpha$, $\sin \beta$, $\sin \gamma$, $\sin \delta$ asemele α, β, γ, δ võtta. Siis leiame kaldumise x väärtuse: $x = (n - 1)\,\omega$.

Tarvitamine läätsades (§ 161).

Ülesanded.

1. Kui suur on kiire paralleelne nihkumine δ, kui plate paksus $d = 10$ cm, murdumise-näitaja $n = 1{,}5$ ja langemise nurk $\alpha = 45^0$? (V. $\delta = 3{,}3$ cm.)
2. Jälgida valguse kiire käiku kroonklaasist prismas, mille murdev nurk $\omega = 60^0$, kui $\alpha = 45^0$ a) joonestusel, b) arvutusel. (V. $\alpha = 45^0$; $\beta = 28^0\ 7{,}6'$; $\gamma = 31^0\ 52{,}4'$; $\delta = 52^0\ 22{,}7'$; $x = 37^0\ 22{,}7'$.)

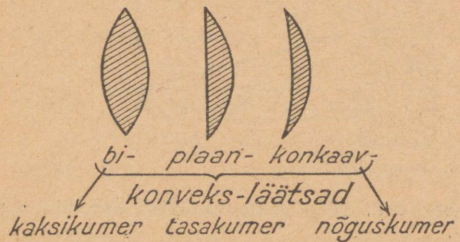
3. Kui suur on ülesandes 2. antud prisma minimaalne kaldumine? ($x_0 = 37^0\,10{,}8'$.)
4. Kui suur on flintklaasist prisma minimaalne kaldumine, kui murdev nurk $\alpha = 60^0$, a) õhus? b) vees? (Viimasel juhusel vaja enne näitaja väärtus vee ja klaasi suhtes leida.) [V. a) $56^0\,25'\,36''$, b) $19^0\,12'\,36''$.]
5. Kui suur on murdva nurgaga $\omega = 50^0$ klaasprisma murdumise-näitaja, kui minimaalne kaldumine $x = 35^0$? (V. $n = 1{,}6$.)

§ 161. Läätsad.

1. Läätsaks nim. läbipaistev keha, mis kahe kerapinnaga piiratud. Kera keskpunktide ühendusjoont nim. läätsa **optiliseks teljeks.** On lääts lõpmata õhuke, siis võib teda mõttes murdva tasapinnaga asetada (peatasapind).

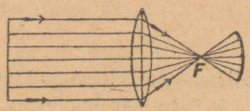
2. Läätsade kujud. Piiravate kerapindade oleku järele on läätsad kahte liiki:

a) ***Koondavad läätsad (kumerad)*** (J. 637):



J. 637.

1. Tundemärk: nende keskpaik on paksem, kui ääred, mille tõttu neid ka konveksläätsadeks kutsutakse.

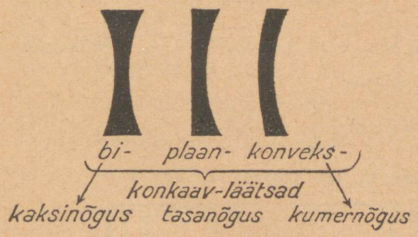


J. 638. Tulipunkt.

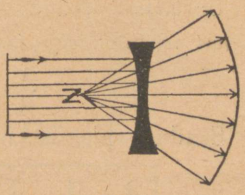
2. Tundemärk: et prisma-lause põhjal prismast läbiminevad kiired ikka paksema osa poole murduvad, siis mõjuvad sarnased läätsad kui koondavad läätsad.

b) ***Hajuvad läätsad (nõgusad)*** (J. 639):

1. Tundemärk: nende keskpaik on õhem, kui ääred ja selle kuju pärast nim. neid ka konkaav-läätsadeks.



J. 639.



J. 640. Hajumispunkt.

2. Tundemärk: prisma-lause põhjal kalduvad kiired paksemate kohtade poole, sellepärast saavad kiired nendega hajutud.

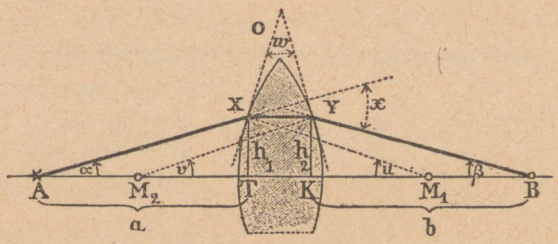
3. Märkide seadus. Läätsa pinna raadius loetakse positiivseks, kui pind kumer, ja negatiivseks, kui pind nõgus.

Näiteks: $r_1 = +15$ cm, $r_2 = -10$ cm, tähendab, läätsa kumerus on väiksem, aga nõgusus suurem (kumer-nõgus).

4. Murdumise seadus läätsades. Kõik kiired, mis ühest punktist A tulevad ja läätsale langevad, murduvad läätsas nii, et pärast seda jällegi ühest punktist B läbi lähevad (ehk ühest punktist näivad välja tulevat).

Selle juures on arvatud ainult õhukesed läätsad ja keskkiired, s. o. niisugused kiired, mis läätsast keskpaiga läheduses peaaegu ristjoones läbi lähevad.

Tõendus: läätsast läbitungiv kiir $AXYB$ murdub kaks korda. On X ja Y murdumise kohad ja XO, YO läätsa riivaspinnad punktides X ja Y,



J. 641. Murdumine läätsas.

siis murdub kiir nagu kitsas prisмas XOY. Tõendus toetub sellele, et kaldumist x kahel viisil võib leida (J. 641):

a) kui välisnurka, b) kitsa-prisma-lause põhjal.

a) $x = \alpha + \beta$

Ligikaudu on

$$\alpha = \operatorname{tg}\alpha = \frac{h_1}{a}$$

$$\beta = \operatorname{tg}\beta = \frac{h_2}{b}$$

b) $x = (n-1)\cdot\omega$

$= (n-1)\,(u+v)$

$$u = \sin u = \frac{h_1}{r_1}$$

$$v = \sin v = \frac{h_2}{r_2}$$

On läätsad lõpmata õhukesed, siis võib lugeda $h_1 = h_2$. Mõlemaid x väärtusi võrdusmärgiga ühendades, saame

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = (n-1)\left[\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right].$$

Saadud valemit kirjutatakse kahes osas:

$$\boxed{\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}} \qquad \boxed{\frac{1}{f} = (n-1)\left[\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right]}$$

ja nim. **läätsa võrrandiks ehk valemiks.**

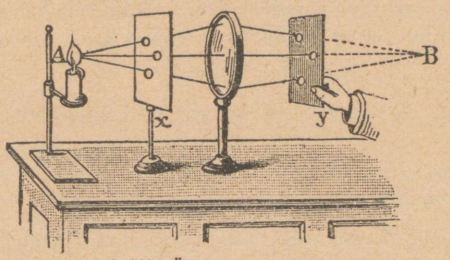
a ja b on punktide A ja B kaugused läätsast, mille "paksus null". Nagu näha, ei olene b kiirte käigust.

A nim. **asjapunktiks,** B — **kujutispunktiks,** a **asja kauguseks,** b **kujutise kauguseks.**

Katse J. 642 tõendab antud seadust. Seletus.

Läätsa valemi võib ka nõguslääatsa jaoks tuletada (ülesanne).

5. Läätsa tulipunktiks (ehk fookuseks) nim. punkti, millesse koonduvad murtud kiired, mis paralleelsed optilisele teljele. Igal läätsal on **kaks tulipunkti,** sest et optilisele teljele paralleelsed kiired ühelt või teiselt poolt võivad tulla. Nende olek leitakse, kui a või b lõpmata suureks arvatakse. Mõlemal juhusel annab läätsa valem sama f väärtuse ja sellega väite: läätsa mõlemate tulipunktide kaugus peatasapinnast on üks ja sama kaugus f **(tulipunkti kaugus).**



J 642. Ühinemise järelkatse.

f arvutamisel vaja märkide seadust N° 3 tähele panna. Arvutades kõiki kuut läätsatüüpi, leitakse:

a) koondavate läätsade tulipunkti kaugus on positiivne (J. 638),

b) hajuvate läätsade tulipunkti kaugus on negatiivne (J. 640).

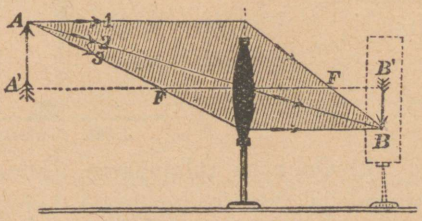
§ 162. Läätsa kujutised.

1. Kujutiste ehitus. Väljaspool läätsa optilist telge oleva asja punkti kujutise leidmiseks tarvitatakse, nagu kerapeegliteski, kolme väljavalitud kiirt, mille käik ette teada (J. 643):

a) **paralleelne** kiir murdub tulipunkti kiireks;

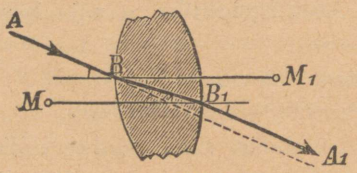
b) **tulipunkti** kiir murdub paralleel-kiireks;

d) **keskpunkti-ehk peakiir,** s. o. mis läbi läätsa keskpaiga läheb, ei murdu läbiminnes, sest et läätsa keskpaik kui paralleelsete tasapindadega piiratud plate mõjub (J. 644).

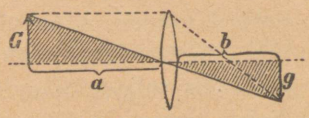


J. 643. Kolm väljavalitud kiirt.

Optiline keskpunkt. Tõmmatakse, nagu J. 644 näidatud, läätsa pindade keskpunktidest M ja M_1 kaks paralleelset raadiust MB_1 ja M_1B, siis on riivaspinnad punktides B ja B_1 paralleelsed. Sellepärast mõjub lääts kui



J. 644.



J. 645. $G:g=a:b$.

paralleelpindadega plate. Sirgjoone BB_1 lõikepunkti optilise teljega MM_1 nim. läätsa **optiliseks** keskpunktiks. See on kindel punkt.

3. Kujutise suurus.

Joonisel 645 märgitud kolmnurkade sarnasusest leiame, nagu ennegi,

$$G:g=a:b,$$

s. o. asja ja kujutise suuruste suhe võrdub nende kauguste suhele. Sellepärast võrdub ka siin suurendus $v = b/a$.

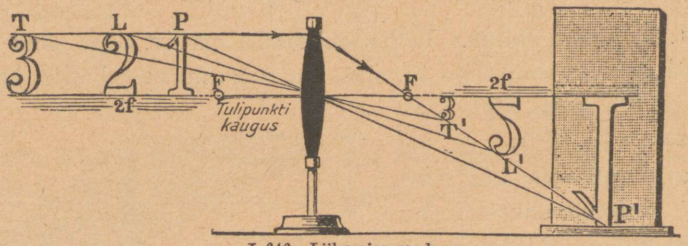
3. Koondavate läätsade kujutised võivad kahte liiki olla:

a) on asi **tulipunktist kaugemal,** siis tekivad tõelised ümberpöördud kujutised.

Kujutiste koht, suurus ja laad leitakse joonestuse (J. 646) või arvutuse teel.

Asetades läätsa valemisse $a = \infty$, $2f$, $1f$ saame $b = 1f$, $2f$, ∞ ja $g = 0, G, \infty$; suurendus $v = 0, 1, \infty$.

Liikumise seadus. Liigub asi läätsale lähemale, siis liigub kujutis läätsast eemale, selle juures suurenedes (J. 646). Kujutis on asja suurune, kui nad n. n. vastaspunktides (s. o. $2f$ kaugusel läätsast).



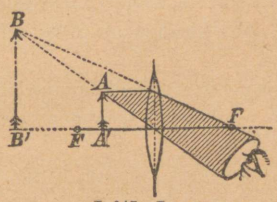
J. 646. Liikumise seadus.

b) On keha tulipunktist ligemal, siis tekivad näilikud, otseseisjad ja ikka suurendatud kujutised. (Suurendus-klaas, luup.)

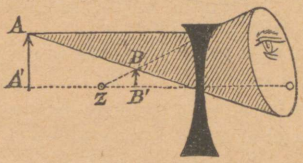
Kiirte käiku näitab J. 647. Seletus!

Tõendus: valemist $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$ saame: $b=\frac{a\cdot f}{a-f}$; on $a<f$, siis on b negatiivne, kuid absoluutselt suurem, kui a.

4. Hajuvate läätsade kujutised on näilikud, vähendatud ja otsekohesed. Kiirte käiku näitab J. 648. Paralleelne kiir murdub nii paksema ääre poole, et näib tulevat eesolevast tulipunktist (hajumispunktist z).



J. 647. Luup.

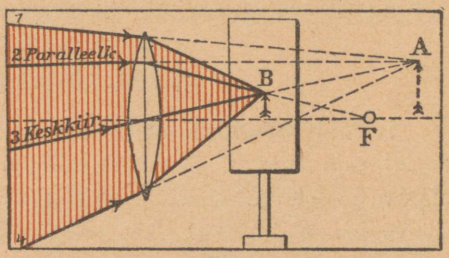


J. 648. Hajumisläätс.

Näide. On $a = 60$ cm, $f = -20$ cm, siis leiame läätsa valemist, et $b = -15$ cm; võrrandist $G : g = a : b$ järgneb et $g = \frac{1}{4} G$.

5. Näilikud asjad (kehad). Peavad kiired lõikuma punktides läätsa taga, siis nim. neid punkte läätsa näilikkudeks asjadeks.

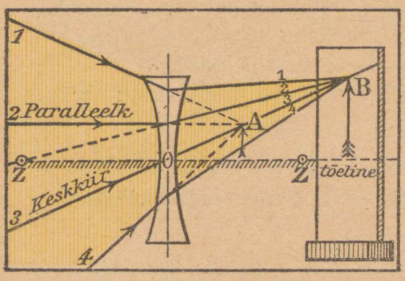
a) **Koondavad** läätsad annavad näilikkudest asjadest tõelised kujutised, sest et nad, nagu J. 649 näitab, koonduvaid kiiri veel rokhem murravad.



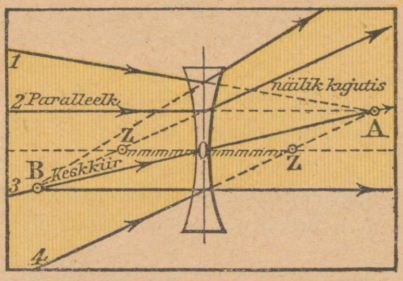
J. 649.

b) **Hajuvad** läätsad võivad anda hajumise tugevuse järele tõelised või näilikud kujutised. Seda näitavad J. 650 ja J. 651.

Kujutise ehitamiseks vaja läätsale langevate kiirte kimbust leida paralleel- ja peakiir.



J. 650.



J. 651.

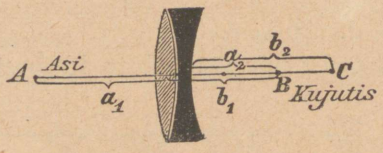
Kui läätsa valemis $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ asja kaugust arvata negatiivseks (näit., $a = -\infty, -2f, -f, 0$) siis leitakse koondavatele läätsadele ikka positiivne b (tõelik kujutis), hajuvatele läätsadele aga ainult siis, kui a on 0 ja $-f$ vahel.

Ülesanded.

1. Kroonklaasist ($n = 1{,}5$) plaankonveks lääts annab 1 m kaugusel olevast kehast tõelise kujutise 40 cm kaugusel. Kui suur on kumeruse raadius?
2. Sümmeetriline bikonveks lääts, raadiusega $r = 30$ cm, annab 1,5 m kaugusel olevast asjast kujutise 37,5 cm kaugusel. Mis klaasist on lääts tehtud? (V. Kroonklaasist.)
3. Kui suur on kuu kujutis flintklaasist sümmeetrilises kaksikumeras läätsas, mille raadiused $r = 30$ cm? [Kuu kaugus $= (60 - 1)$ maakera raadiust; kuu laius $= {}^4/_7$ maakera raadiust.] (V. 2,1 mm.)
4. Kui suur on 2 mm raadiusega veetilga tulipunkti kaugus? sama suure klaas-tilga tulipunkti kaugus ($n = 1{,}5$)? (V. 3 mm; 2 mm.)
5. Prilli nõgusus on mõlemalt poolt 60 cm kumeruse raadiusega. Tema murdumise-näitaja on $n = 1{,}6$. Kui suur on tema hajumis-punkti kaugus? Kui suure kujutise annab ta aknast, mis 10 m kaugusel ja 1,5 m kõrge? (V. $f = -50$ cm, $g = 7{,}1$ cm.)
6. Positiivne lääts annab 2 m kaugusel olevast asjast kujutise 50 cm kaugusel. Kui palju kaugeneb kujutis asja lähenemisel 1 m võrra? (V. 16,7 cm.)

§ 163. Kaks läätsa.

1. Põhiväide. Juhitakse toru, milles kaks läätsa L_1 ja L_2 ühendatud, asja A poole, siis mõjub esimese läätsaga tekitatud kujutis B, olgu ta tõeline või näilik, teise läätsa peale kui asi. Viimane annab siis vastava kujutise C. Kujutist C võib leida joonestuse või arvutuse abil.



J. 652. Läätsapaar.

Joonestusel tarvitatakse iga kujutise punktist B paralleel- ja peakiirt, ka siis, kui need kiired sugugi punktist B välja ei tule, sest kus need kiired murdudes ühinevad, sealt lähevad läbi ka kiired, mis tõepoolest punktist B välja tulevad.

2. Läätsa-paariks nim. kahte tihedalt teine teise vastu olevat läätsa. Väide: läätsa-paar mõjub kui üks lääts.

Tõendus (J. 652). Oleks esimene lääts üksi, siis annaks asi A kujutise B kaugusel b_1. Kujutis B on näilik asi teisele läätsale. (Tema asjakaugus $a_2 = -b_1$.) Sellepärast saame võrrandid:

$$\frac{1}{a_1}+\frac{1}{b_1}=\frac{1}{f_1}\text{ (esimesele läätsale)}\qquad \frac{1}{a_2}+\frac{1}{b_2}=\frac{1}{f_2}\text{ (teisele läätsale).}$$

Liites saame $a_2 = -b_1$ põhjal tähtsa kaksik-võrrandi

$$\boxed{\frac{1}{a_1}+\frac{1}{b_2}=\frac{1}{f}},\qquad \boxed{\frac{1}{f}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}}$$

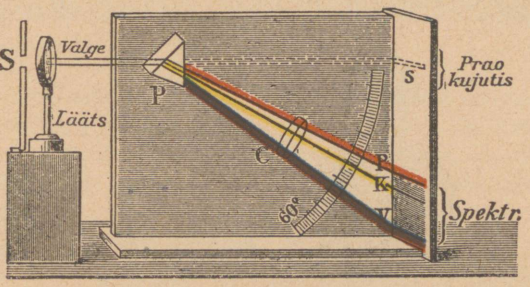
Esimene tõendab, et läätsade paar mõjub kui üks lääts, teine näitab, kuidas leida läätsa-paari tulipunkti kaugust *f* üksikute läätsade tulipunktide kaugustest.

Ülesanded.

1. Torusse on pandud kaks ühesugust positiivset läätsa teine teisest 90 cm kaugusel ($r_1 = 30$ cm, $r_2 = 40$ cm, $n = 1{,}5$). Leida kujutise lõpulik suurus, laad ja koht, kui 12 cm kõrgune keha a) 3 m, b) 60 cm, d) 20 cm kaugusel esimese läätsa ette seatakse.
2. Torusse on 20 cm kaugusel kinnitatud 30 cm tulipunkti kaugusega positiivne ja 20 cm hajumispunkti kaugusega negatiivne lääts. Leida lõpulik kujutise suurus, laad ja koht, mis saadud 50 cm kõrgusega kehalt 2 m kaugusel esimesest läätsast. (V. $b_{II} = -8{,}5$ cm, $g = 5{,}1$ cm.)
3. Ühesuguste kumerustega tasakumer ($r = 30$ cm) flintklaasist ja tasanõgus kroonklaasist läätsad on nii üks teise mahutatud, et nad väljaspoolt tasapindadega piiratud platte moodustavad. Leida ühenduse tulipunkti kaugus! (V. 150 cm.)
4. Seatakse kaks ühesugust läätsa üks teise kõrvale, siis on ühenduse tulipunkti kaugus kõigest pool endisest. Tõendus!

§ 164. Dispersioon (värvide hajumine).

1. Põhi-vaatlused. Juhitakse valge valguse kiir, nagu J. 653 näidatud, prismale, siis hajuneb läbiläinud valgus värvilisteks kiirteks (lehvitaja kujul) annab ja ettepandud eesriide peale värvilise paela, mida **spektrumiks** kutsutakse. Spektrumis on järgmised seitse põhivärvi:



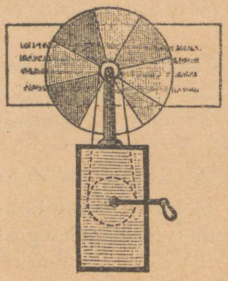
J. 653. Värvide hajumine.

punane, ruuge (orange), kollane, roheline, helesinine, tumesinine (indigo), violett.

2. Newton'i seletus (1672). Selle nähtuse seletuseks oletas Newton: a) valge kiir seisab koos kõiksugustest värvilistest kiirtest, b) igal värvikiirel on oma vähe isesugune murdumine. (Punane murdub kõige vähem, violett kõige rohkem.)

Newton näitas, et spektrumi värve võib jälle valgeks ühendada. Värvilised kiired koondatakse läätsaga (lääts *C* joonisel 655) ühte ja prao kujutis eesriidel on valge.

Valge valguse koosseisu (optilist segu) mitmesugustest põhivärvidest näidatakse harilikult värvilise ümmarguse papist või klaasist ringi abil, mille sektorid vastavalt värvitud ja mis värvita hall näib, kui teda kiirelt tiirlema aetakse (J. 654).

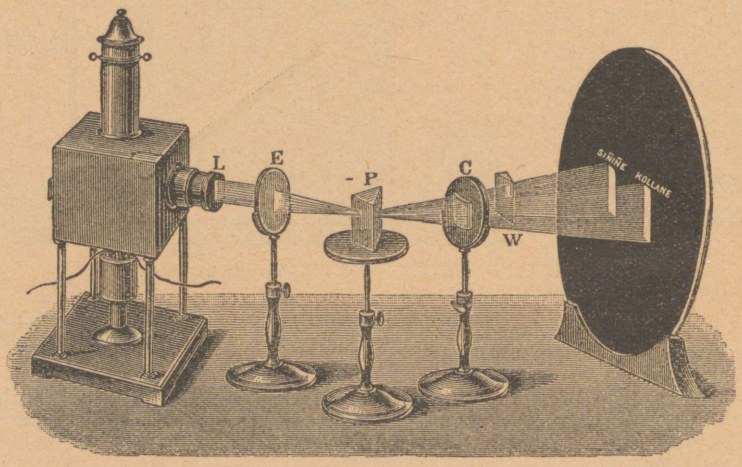


J. 654. Klaasist värviring.

3. Spektrumi üksikud värvid on homogeensed, s. o. neid teist korda enam värvilisteks lahutada ei saa. Selle näitamiseks lastakse eesriides oleva prao läbi spektrumi värviribake edasi minna. Seatakse siis selle kiire ette jälle prisma, mille murdev serv paralleelne esimesele, siis murdub küll see "ühevärviline" kiir, kuid uusi värve ei anna. (Experimentum crucis, otsustav katse.)

Puhtad spektrumid saab, kui prisma ette lääts seatakse, mis paralleelseid kiiri nõnda koondab, et nad spektrumi eesriidel (prismata) selge prao kujutise annavad.

4. Täiendavad värvid. "Valge" värvi mulje võib saada ainult



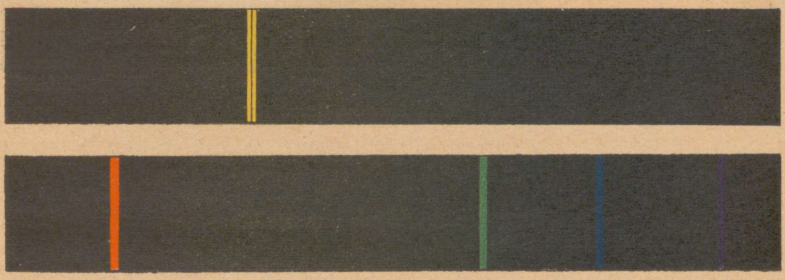
J. 655.

kahe värvi segamisel. Kaks sarnast värvi nim. täiendavateks (komplementäär). Sarnased on näit. kollane ja helesinine, punane ja roheline, ruuge ja violett.

1. Katse tiirleva ringiga, millel kaks täiendavate värvidega sektorit.

2. Katse. Kogutakse eesriidele, nagu J. 655 näitab, silinder-läätsa *C* abil spektrum valgeks praoks. Juhitakse siis ôhukese klaaskillu *W* abil ühendatud kiirte kimbust osake *x* kôrvale, kuna ülejääk *y* endiseks jääb, siis tekivad eesriidel kaks täiendavalt värvitud prao kujutist (*x* ja *y* on värvide segud). Värvide paar muutub klaaskillu liikumisega; miks?

5. Spektrumite liigid (emission- ehk kiirgamis-spektrumid). Uurides valgust, mida mitmesugused valguse allikad kiirgavad, leitakse: a) helendavad gaasid (näiteks, Geissler'i torudes) annavad ainult üksikuid spektraaljooni, s. o. **joonte-spektrumi.**



J. 656. Naatriumi auru ja vesiniku spektraaljooned.

Näiteks, naatriumi aur annab kollase kaksik-joone (n. n. *D* joone), tallium, rohelise, liitium punase ja ruuge, vesinik annab 4 joont, raua aur üle 1000 joone. — **Katse.** Seatakse Bunsen'i gaaslambi peaaegu värvita leek nii, et selle keskruumis selgesti koonus kujuneb; kui seda spektraal-aparaadiga vaadata, siis on **4 vesiniku joont** selgesti näha. (J. 656.)



J. 657. Pidev spektrum.

b) **Hôôguvad kindelkehad ja vedelikud** annavad alati pideva spektrumi, mis punase värviga algab ja temperatuuri tôusmisel violett otsa poole laieneb.

Näited: hôôguvad kaartule söed. — Hoitakse kudumise varrast Bunseni-lambi leegis ja vaadeldakse teda spektraal-aparaadi läbi. Väiksel kuumusel ilmub ainult punane spektrumi ots, kôrgematel temperatuuridel spektrum laieneb; kui varras tulivalgeks kuumeneb, siis on spektrum täieline (J. 657).

d) Baarium ja mõned teised ained annavad ülemineku spektrumi joon- ja pideva spektrumi vahel, n. n. triibulise spektrumi. See seisab koos laiadest spektrumi osadest, mis mõnes kohas iseäranis heledad, teises kohas aga kaovad. Baarium annab väga heledad triibud rohelises osas. Tugeval hajumisel lahunevad triibud paljudeks peenteks spektraaljoonteks.

6. Neelumis-(absorptsioon-)spektrum. Tungib valgus mõnest värvilisest kehast läbi, siis saavad läbiminekul teatud värvid rohkem või vähem kinni hoitud (neelatud). Läbiläinud valguse spektrumis



J. 658. Päikese spektrum.

puuduvad teatud värvid (mustad jooned), või nad on nõrgendatud. (Neelumis-spektrum.)

Pannakse prisma ja spektrumi vahele **punane klaas,** siis saadakse pideva spektrumi asemel ainult selle punane osa.

Lastakse kiir **verest** läbi, siis on pidevas spektrumis kaks tugevat musta joont, kollases ja rohelises osas.

Neelumiskatsed: a) punase klaasi läbi näib kõik punane või must. (Näiteks kollase ja helesinise sektoriga värviringi vaatlemine: sinine on must); b) ümbruskonna vaatlemine ühel ajal läbi helesinise ja punase klaasi: kõik paistab must olevat. Miks? d) Värviliste kehade vaatlemine spektrumi värvides.

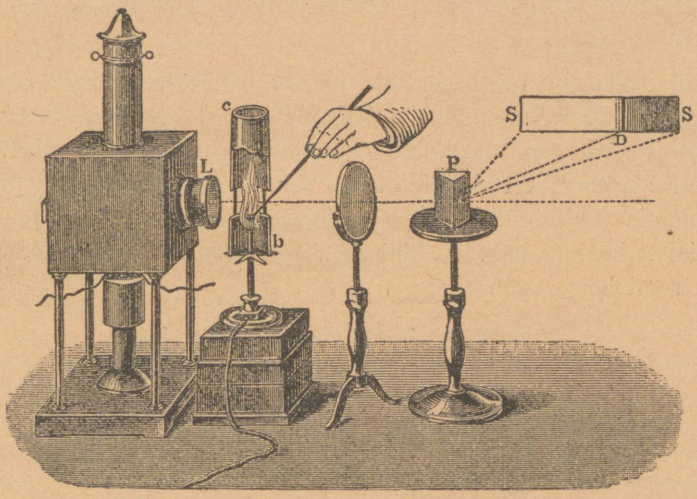
7. Fraunhofer'i jooned (J. 658). Päikese spektrumis tekib hulk tumedaid jooni, mis nende ülesleidja järele Fraunhofer'i joonteks nimetatakse (1814). Tema luges neid umbes 600 ümber ja nimetas väljapaistvamaid neist suurte ladinakeele tähtedega (*A*, *B*, *C*, *D*, — jne.), mis praegugi tarvitusel.

8. Neelumise seadus. Kirchhoff ja Bunsen leidsid 1860 a. seaduse: **hõõguvad gaasid neelavad just neid samu värve, mis nad ise kiirgavad.**

Tõendus: kui kaartule valgust naatriumi leegist läbi lastakse, siis peaks arvama, et kollane joon *D* veel heledamaks saab; katse näitab aga vastupidist: *D* kohale tekib kahekordne tume joon (J. 659). Seda katset nim. **naatriumi joone ümberpööramiseks.**

Selle seaduse põhjal seletatakse päikese spektrumi Fraunhofer'i jooni.

Tulivalge päikese tuum peab andma pideva spektrumi. Päike on aga auru ja vesiniku kihiga ümbritsetud. See kiht neelab valguse kiiri, mida ise kiirgab; kõige pealt peavad päikese spektrumis puuduma 4 vesiniku joont *C F G H*, jne. Tähendab, Fraunhofer'i joonte järele võime otsustada, missugused ained auru kujul päikese atmosfääris olemas on.

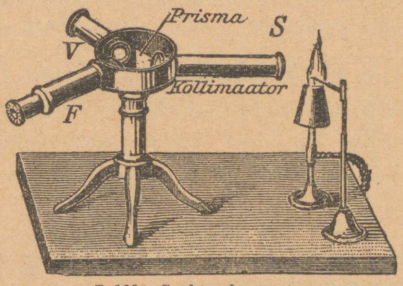


J. 659. Naatriumi joone *D* ümberpööramine Tyndall'i järele.

9. Spektraal-analüüsiks nim. teadust, milles kehade koosseisu nende spektrumite uurimise järele otsustatakse.

Spektrumite põhjal leidsid Bunsen (1860) ja teised uusi elemente.

Spektrumite täpseks vaatlemiseks tarvitatakse **spektraal-aparaati** (J. 660), mis koos seisab kolmest osast: kollimaatorist (praoga toru), **prismast** ja pikksilmast.



J. 660. Spektraalaparaat.

Kollimaatoris on leegi pool otsas pragu *s* ja teises otsas lääts. Pragu seatakse nii, et ta läätsa tulipunktis asub; sellepärast on läätsast läbiläinud kiired paralleelsed. Need tungivad aparaadi keskel olevast prismast läbi. Pikksilma objektiiv *F* koondab oma tulipunkti iga paralleelse kimbu spektraaljooneks. Pikksilma suurendusklaas (luup) on paremaks spektrumi vaatlemiseks. (Öeldakse: pikksilm peab olema seatud lõpmatusele.)

Spektraaljoonte koha määramiseks peegeldub prismalt torus V olev mõõdulaud (skaala), mida pikksilmas ühel ajal spektrumiga vaadeldakse.

10. Spektrumite võrdlus. a) Mitmesugustest ainetest ühesugused prismad annavad mitte ainult isesuguse kalduvuse, vaid ka isesuguse spektrumi laiuse.

b) Seatakse kunstliselt kahe sarnase isesugusest ainest prisma spektrumid ühelaiusteks, siis ei ühtu jälle nende spektrumite Fraunhoferi jooned. Iga klaasiselts moonutab spektrumi omal viisil. Et klaasiseltsi üle otsustada, vaja teada tähtsamate Fraunhofer'i joonte murdumise näitajad. Murdumis-näitajate vahe $(n_G - n_B)$ punaste ja violett kiirte vahel nim. **üldiseks dispersiooniks.** See on oodatava spektrumi laiuse mõõduks.

Fraunhofer'i joonte murdumise näitajad.

	B punane	*C*	*D* kollane	*F* helesinine	*G* viol.	Dispers. $n_G - n_B$
Vesi	1,332	1,333	1,334	1,338	1,341	0,009
Väävelsüsinik	1,618	1,622	1,631	1,655	1,680	0,062
Fraunhofer'i Kroonklaas Nr. 9 .	1,526	1,527	1,530	1,536	1,542	0,016
Flintklaas Nr. 9 . .	1,627	1,630	1,635	1,648	1,660	0,032

Veest, kroonklaasist, flintklaasist, väävelsüsinikust ühesuguste prismade spektrumi laiused suhtuvad ümmarguselt kui 1 : 2 : 4 : 7.

11. Anomaalne dispersioon. Kui valguse kiirt ôônsast prismast, mis fuksiini lahuga täidetud, läbi lasta, siis tekivad spektrumi värvid mitte harilikus järjekorras: **violett, punane, kollane.** Roheline ja helesinine ei pääse sugugi läbi.

§ 165. Akromaatilised prismad ja läätsad. Läätsade vead.

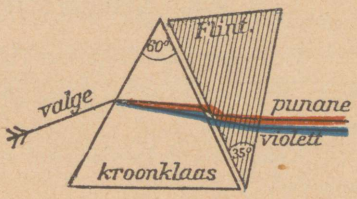
1. Akromaatiliseks prismaks nim. prismade paari, milles valge kiir küll kaldub, kuid värvidesse ei hajune. (Dispersioon = 0.)

Sarnane prisma saadakse, kui isesugusest ainest prismad murdvate servadega vastupidiselt üks teise vastu seatakse ja murdvate nurkade suurus nõnda valitakse, et spektrumi äärmistel värvidel, näit. punasel ja violett,

ühesuurune kaldumine oleks. Prisma-paarist läbitunginud kiire värvid (J. 661) on paralleelselt kõrvale nihutatud, katavad üks teist ja annavad liitudes valge kiire.

On olemas prismade süsteemid, milles kiirte kaldumist peaaegu ei ole, aga selle vastu on tugev dispersioon. Sarnased aparaadid nim. **otsevaate prismadeks.** (Tarvitusel tasku-spektroskoopides, Hofmann'i ja Browningi spektroskoobis.)

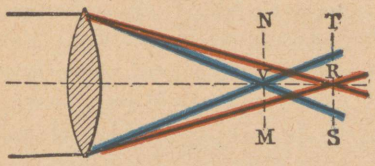
Lihtsamal juhusel on selles kolm prismat: 2 kroonklaasist 99° ja üks flintklaasist 109° murdva nurgaga. Paremad on 5 prismaga.



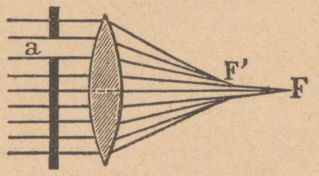
J. 661. Akromaatiline prisma.

2. Akromaatiline läätsa-paar. Üksikul läätsal on igale värvile isesugune tulipunkti kaugus, punasele kõige suurem. (Kromaatiline aberratsioon, J. 662.)

Kujutisel punktis *R* on violett, punktis *V* punane palistus.



J. 662. Kromaatiline aberratsioon.



J. 663. Sfääriline aberratsioon.

Kroonklaasist ja flintklaasist läätsade vastaval ühendusel saadakse akromaatiline lääts, s. o., mille punasel ja violett värvil ühine tulipunkti kaugus, nii et kiirte värvid jälle valgeks valguseks ühinevad (J. 664).

3. Läätsade vigadeks on veel sfääriline aberratsioon (kõrvale kaldumine) ja astigmatism (mitte punktikujuline).

a) Sfääriline aberratsioon oleneb sellest, et läätsa äärtel teistsugused tulipunkti kaugused, kui keskmisel osal. (J. 663; põhjuseks, et kujutised selged ei ole.)



J. 664.

Katse. Kaetakse suurem lääts paberilehega *P*, milles väike avaus *O* ja tekitatakse tema läbi eesriidel elektripirni kujutis *g*, siis leitakse, et kujutis eesriidel natuke nihkub, kui *P* nihutada. — Äärekiirte kinnikatmisega või vastava läätsade kombinatsioonidega (n. n. aplanaadid) on võimalik seda viga vähendada.

b) **Astigmatismiks** nim. omadust, et läätsale viltu langenud kiirte kimp ei anna sugugi punktisarnast kujutist, vaid kaks teine teisega ristjoones ja läätsast isesugusel kaugusel olevat tulijoont.

Katse: lastakse prilliklaasile viltu langeda päikese kiirt ja otsitakse paberilehel päikese kujutist. Seda ei leita. Selle asemel saadakse läätsast isesugustel kaugustel kaks heledat joont, mis üks teisega ristjoones. Läätsade kombinatsioonid, mis sarnast viga kõrvaldavad, nim. anastigmaatideks.

§ 166. Kehade värv. Valguse moondumised.

1. Keha peale langevast valgusest neelab selle pind mõned värvid, kuna ülejäänud värvid (täiendus-värvid) peegeldudes **kehapinna värvi** moodustavad.

Keha näib helesinine, kui mitteabsorbeeritud värvid helesinise värvi annavad.

Sel põhjal saab ära seletada, miks taidurite kollast ja helesinist värvi segades valge asemel roheline saadakse.

Põhjus. Kollane vesivärv laseb läbi kollase + punase + rohelise värvi, helesinine vesivärv aga rohelise + helesinise + violett. Mõlemad koos lasevad läbi (või peegeldavad) ainult rohelise värvi.

Neelab keha kõik valguse, mis tema peale langeb, siis on ta **must.**

Katse: värviliste kehade katsumine spektrumi värvides. — Kui pimedas piirituse-lambi leeki tükike keedusoola panna, siis paistavad kõik punased näo osad, nagu mokkad, paled, mustad olevat, muu aga kollane; miks?

2. Neelatud valguse tegevus. a) Soojusline tegevus: langeb keha peale päikese valgus, siis soojeneb ta neelatud kiirte mõjul. Punased kiired on selle juures violett kiirtest mõjuvamad.

Uuritakse termoelemendi abil kivisoolast prismaga saadud spektrumi üksikute osade soojuslist tegevust lähemalt, siis leitakse, et spektrumi soojusline tegevus üle punase otsa kaugemale ulatab ja et ka selles osas Fraunhofer'i jooned leiduvad. **(Infrapunaste kiirte spektrum.)**

b) **Keemiline tegevus.** Valguse keemilist tegevust näitab riiete pleekimine päikese valgusel.

Vesiniku ja kloori segu plahvatab päikese paistel. Päikese valguse mõjul lahunevad kloorhõbedast mustad hõbeterakesed kohe (päevapildistus).

Violett kiirte keemiline tegevus on suurem, kui punastel. Kui fotografeeritakse päikese spektrumi, mis saadud **kvarts**-prismaga, siis ulatab see violett otsast peaaegu kaks korda kaugemale, kui nähtav spektrum ja selles osas on ka Fraunhofer'i jooni. **(Ultraviolett-kiirte spektrum.)**

Infrapunaste kiirte murdumine on vähem, ultraviolett kiirte murdumine aga suurem, kui nähtavail kiirtel.

d) **Luminestsentsiks** nim. kehade omadust neelatud valgust jälle valguseks moondada. Sarnane moondamine on kahte liiki:

α) **Fosforestsents.**

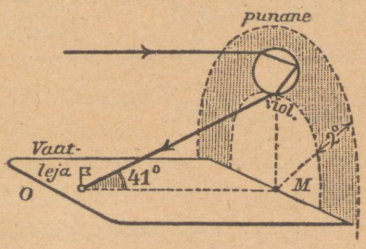
Päikese valgusel hoitud teemant hiilgab pärast seda pimeduses edasi. — Katse mitmesuguste torukestega, mis kaetud Balmain'i helendava värviga või täidetud väävelkaltsiumiga, väävelstrontsiumiga, väävelbaariumiga. Hoitakse neid mõni silmapilk kaartule valguse koonuses ja järsku kustutakse tuli ära: torud helendavad mitmevärviliselt. (Tasku-kellad helendavate numbrilaudadega.) — Fosfori helendus ei ole fosforestsents.

$\overline{\beta}$) **Fluorestsents** ehk värvi moondamine. Valgustatud keha moondab neelatud valguse valguseks, millel väiksem murduvus.

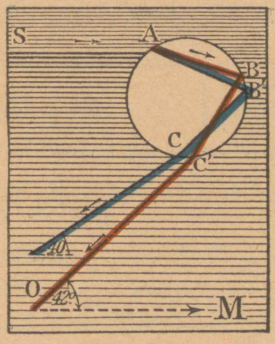
Juhitakse valge valguse koonus petroleumiga täidetud klaasi peale, siis fluorestseerib see helesiniselt. — Magdala-punasega täidetud klaas paistab iga spektrumi värvis must, kollases osas aga helendab ta punaselt. — Baarium-plaatin- tsianüüriga kaetud ekraan helendab ultraviolett kiirtes. Sellele kvarts-prisma abil lastud spektrum näitab ultraviolett osa.

§ 167. Vikerkaar. Vanikud.

1. Seletus. Vikerkaar tekib (J. 665), kui päikese kiired vihmapilve tilkades murduvad ja vaatleja silma peegelduvad. Päike on sel ajal vaatleja selja taga ja päikese kiir *OM*, mis pea kohalt läbi läheb, on sihitud vikerkaare keskpunkti.



J. 665. Vikerkaar.



J. 666. Kiire värvide lahunemine.

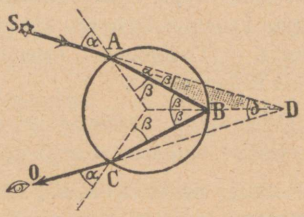
Murdmisega ühel ajal hajuvad veetilgad ka värve, mis põhjal vikerkaar värviline on. Välispoolt on kaar punane, sisepoolt-violett.

Joonist 665 võib telje *OM* ümber keerata. Sellest selgub, et kõik ringjoonel olevad veetilgad päikese ja vaatleja suhtes ühesuguses olekus on.

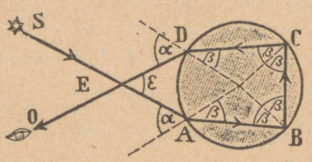
Kui ettekujutada, et veetilgad (J. 666) paralleelselt üks teise peale on asetatud, siis näeme, et vaatleja silma ülemistelt tilkadelt punased, alumistelt aga violett kiired tulevad.

2. Raadius ja laius. Descartes'i (1637) järele võib kiirte käigust näidata (J. 667), et vikerkaare raadius 41° ja laius umbes 2° on.

3. Tilkade suuruse mõju. Vikerkaare värvid ühtuvad spektrumi värvidega harva, **tihti puudub helesinine.** Põhjuseks on tilkadest tulnud kiirte interferents (§ 176), mis tilkade suurusest oleneb.



J. 667.



J. 668.

4. Vahest ilmub vikerkaare kõrvale veel teine kaar, mille värvide järjekord vastupidine ja mis peavikerkaart kontsentriliselt ümbritseb. **Kõrvalvikerkaar** tekib, kui päikese kiir veetilgas kaks korda peegeldub (J. 668).

5. Vanikud (ringid) päikese ja kuu ümber tekivad valguse kiirte murdumisel jää kristallides, mis vahest kõrgetes atmosfääri kihtides heljuvad. Ringi läbimõõt on 22°.

Optilised riistad

§ 168. Projektsioon-aparaat.

1. Projektsioon-aparaat (mida ka skioptikooniks, laterna magica, nõia-laternaks nim.) tarvitatakse selleks, et väikestest asjadest suurendatud kujutisi eesriidele heita. Ta seisab koos kahest osast: objektiivist *P* ja valgustus-aparaadist (J. 669).

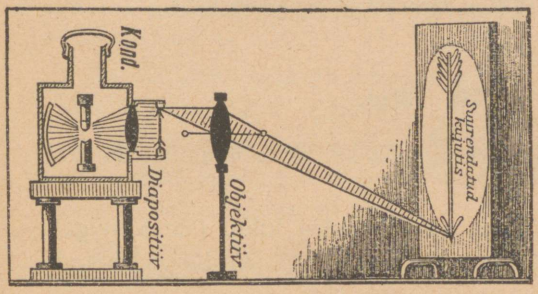
a) **Objektiiviks** on koondav lääts. Väikese asja *A* (pilt klaasil, diapositiiv) võimalikult suurema kujutise saamiseks, seatakse läbipaistev pilt vastaspunkti ja tulipunkti vahele.

Joonisel 669 antud kiirte käigu seletus.

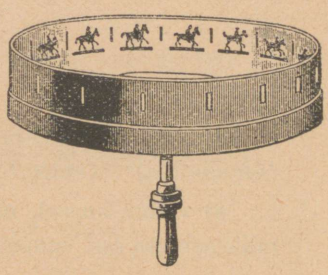
b) **Valgustus-aparaat** on piltide ja asjade valgustamiseks. Selleks on tugev valguse allik (kaartuli), mis plekk-kasti seatud. Valgus juhitakse asja peale n. n. kondensor-läätsa *K* abil.

Suurendus leitakse katseliselt, projekteerides klaasist mõõdulauda. Leitakse, näit., et 1 cm kujutises 40 cm vastab, siis on suurendus $v = 40$.

2. Kinematograaf on projektsioon-aparaat, millega rida liikuva keha päevapilta järgi mööda projekteeritakse, kus juures iga pildivahe-



J. 669. Projektsioon-apparaat.



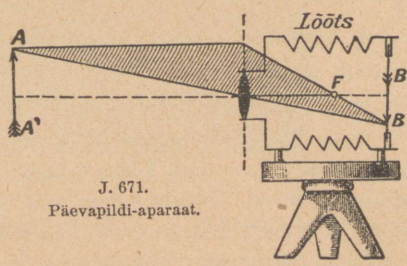
J. 670. Stroboskoop.

tus pimestatakse. Sarnased päevapildid näitavad liikuvat keha igas $^1/_{20}$ sekundis. Et silmal omadus on saadud muljet $^1/_{20}$ sekundi kinni hoida, siis näib vaatlejale, nagu kujutaks pildid pidevat liikumist (elavad pildid).

Sarnaselt mõjub Anschütz'i **stroboskoop** (J. 670). Kitsa prao läbi vaadeldakse pilta, mis liikuva keha üks teisele järgnevaid olekuid lühikestel ajaväldetel kujutavad. Kunni järgmine pilt eelmise asemele jõuab, kustutab vahesein viimaselt saadud mulje. Vaatleja näeb tiirlevas trummis liikuvaid pilta. (Sootroop, eluratas.)

§ 169. Päevapildi aparaat.

1. Päevapildi aparaat (J. 671) seisab koos pimedast kastist, mille eesseinas on keskmise tulipunkti kaugusega koondav lääts **(objektiiv)** ja tagaseinas matt-klaas, mida võimalik objektiivile lähemale või kaugemale nihutada ja mille asemele valgusele tundelik plate võib seada.



J. 671.
Päevapildi-aparaat.

Kujutise saamiseks peab keha objektiivi tulipunktist kaugemal olema. Objektiiv annab kehast AA' tõelise ümberpöördud kujutise BB' kindlal kaugusel b. Seades matt-klaasi sellele kaugusele, saadakse temal keha ümberpöördud kujutis (J. 671).

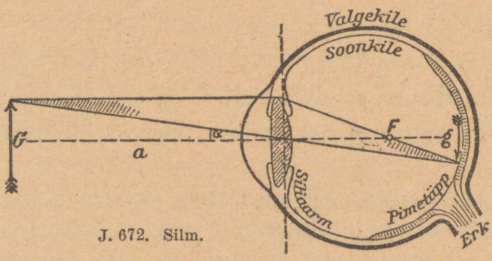
2. Päevapildistus põhjeneb valguse keemilisel tegevusel valgustundeliku platte peale. Selles on kaks protsessi — negatiivne ja positiivne.

Ajaloost. Daguerre oli esimene, kes kinnitas 1838 a. kujutise jooditud hôbe-plattel; Talbot hakkas 1839 a. kloorhôbepaberit tarvitama.

§ 170. Silm.

1. Silm (J. 672) on kerakujuline keha, mille läbimôôt 24 mm (silmamuna). Temas on:

a) **väline kapsel,** mis koos seisab valgest kilest (silma valge), mille eelmise osa kumerus suurem ja läbipaistva sarvkilega kaetud.



J. 672. Silm.

b) **silmalääts,** mis silma sisemise ruumi kaheks kambriks jagab: eelmine kamber sisaldab veesarnast vedelikku, n. n. silmalima, tagumine on täidetud süldisarnase massiga **(klaaskehaga).**

Silmalääts asub ringikujulises nahk-kestas, mille eelmine osa **värvikileks** ehk iiris'eks kutsutakse. Värvikile keskpaigas läätsa ees on ümmargune avaus, mida **silmateraks** (pupille) nim.

Muutliku läätsa eespind on rahulises olekus peaaegu tasapind, tähendab, lääts on peaaegu tasakumer. Siliaarmuskli pingega võib läätsa kuju muuta (deformeerida). Ta muutub kaksikumeraks ja ta tulipunkti kaugus kahaneb.

d) **Vôrkkile,** millega silma sisemine ruum kaetud, môjub kui tundelik kujutiste sein. Temasse hargub peaajust tulev nägemise erk, millel lôpmata hulk otsakesi n. n. „nupukesi" ja „pulgakesi".

Nupukeste abil tunneb silm värvide vahet. Neid on kôige rohkem n. n. vôrkkile koopakeses ehk **kollases täpis;** see on koht, kus kujutised silmas harilikult tekivad. Nende kôrval on pulgakesed, mis valguse vastu tundelikumad, kuid värvidele vahet ei tee (hall valgus).

Silma toitmiseks verega on vôrk- ja valgekile vahel soonkile.

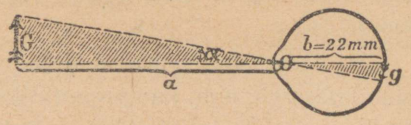
2. Silm on kui läätsaga, diafragmaga ja tundeliku kujutisseinaga **päevapildi aparaat.** Murdvad ained silmas môjuvad kui üks lääts, mille optiline keskpunkt silma läätsas asub (J. 672), umbes 22 mm

kaugusel vôrkkilest. Sellepärast tekib vôrkkilel kaugest asjast G tôeline vähendatud ja ümberpöördud kujutis g.

a) Kujutise suurus g vôrkkilel on väga väike.

Küsimus. Kui suur on 100 m kaugusel oleva 170 cm kôrge isiku kujutise suurus g vôrkkilel? V. $g : 1700 = 22$ (mm) : 100000 (mm), millest järgneb $g = 0{,}37$ (mm).

b) Vôrkkilel tekkiva kujutise suurus g oleneb **vaatenurgst** α, mille all asi silma optilisest keskpunktist näha (J. 673). Kui nurk α väike, siis on $g = b \cdot tg\ \alpha$, milles b ümmarguselt 22 mm.



J. 673. Vaatenurk.

Silm näeb asju, millel üks ja sama vaatenurk, ühesuurustena. (Sellepärast vôib pliiatsit silma ees nônda seada, et ta kaugel olevate suuremate asjade suurune on.)

Mônda **asja vôime näha kauge maa peal** (näit. kärbest) ainult siis, kui temast vôrkkilele tekkiv kujutis vähemalt nii suur on, et see mitu vôrkkile ergupulgakest katab. Selleks peab vaatenurk $\alpha > \frac{1}{2}$ minutit olema.

d) **Silmatera môjub kui isetegutsev diafragma.**

Kui valgus liiga hele, siis tômbub silmatera kokku, et vähem valgust silma lasta; videvikul lugedes läheb silmatera iseenesest suuremaks.

e) Mône asja vaatlemisel langeb selle kujutis tundeliku vôrkkile kohale, **kollasele täpile.**

See koht on ümbruse suhtes vähe sügavam, mille tôttu teda vôrkkile koopaks kutsutakse.

3. Pime täpp. Koht, kus nägemise erk silma juhitud (J. 674),



J. 674. Pimetäpi tôendus paremale silmale.

valgust ei tunne, mispärast teda pimedaks ehk Mariotte'i täpiks nimetatakse.

Katse. Pahemat silma kinni hoides vaadatakse paremaga ringi peale (J. 674) ja lähenetakse joonisele pikkamisi. Teataval kaugusel kaob nägemise väljast valge ruut paremal pool joonisel.

4. Akkommodatsioon (kohanemine). Silm tekitab asjast ümberpöördud kujutise, mis võrkkilele peab langema. Selleks on siliaarmuskel (lihas), mis iseseisvalt silmaläätsa tulipunkti kaugust vastavalt muudab. Sarnast silmaläätsa omadust, kohaneda asja kaugusele, nim. **akkommodatsiooniks.**

a) Ühel ajal võib silmalääts ainult ühe kindla kaugusele kohaneda.

Hoitakse, näiteks, sõrme poole tee peal kunni trükitud leheni ja vaadatakse tema peale, siis on trükk segane; vaadatakse aga trükki, siis ei ole sõrme kujutis selge.

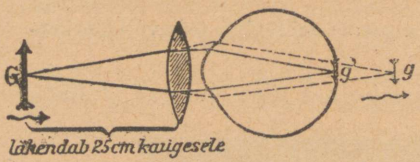
b) Kohanemise omadus on piiratud. Kõige kaugem punkt, mida silm kohastab, nim. **kauguspunktiks** (*F*), ligem — **lähispunktiks** (*N*), ruum nende punktide vahel — **kohanemise ulatuseks.**

Viimase suuruse järele jagatakse silmad kolme liiki:

normaal-silm	*N* 25 cm, *F* lõpmata kaugel,
lühikese nägemisega silm	*N* võib olla 5 cm, *F* kunni 40 cm kaugusel
kauge nägemisega silm	*N* võib olla 40 cm, *F* lõpmata kaugel

5. Prillideks nim. läätsasid, mis silmade ette seatakse, et neil normaalne nägemise kaugus (25 cm) oleks.

a) Tahab **kaugeltnägija** ajalehte lugeda, siis peab ta seda kaugel hoidma. Hoides 25 cm kaugusel, tekib kujutis võrkkile taga. Et kujutist võrkkilele asetada, peab silma tulevaid kiiri tugevamine koondama, mida **koondava läätsa** etteseadmisega saadakse (J. 675).



J. 675. Kauge nägemine.



J. 676. Lühike nägemine.

b) Tahab **lühikese nägemisega** isik prillita lehte lugeda, siis peab ta lehte silma ligidal hoidma. Hoides lehte 25 cm kaugusel, tekib kujutis võrkkile ees. Kujutise saamiseks võrkkilel, vaja kiiri enne silma sattumist natuke hajuda, milleks **hajuvat läätsa** tarvitatakse (J. 676).

Lühikese nägemisega silmamuna on **pikergune.**

Lugedes noores eas videviku valgusel, kummardatakse raamatule ligemale, et tarvilikku valgustust saada. Sarnaste ligidate asjade kujutis on normaal-silmas võrkkile taga. Sellepärast pikeneb silmamuna, et siliaarmusklit pingest vabastada. Nõnda tekib lühikese nägemisega silm. — Vanemas eas

(harilikult 40 ja 50 a. vahel) nõrgeneb siliaarlihas, lähispunkt liigub kaugemale (kauguspunkt *F* ligemale) ja silm muutub kaugelt nägijaks. — On akkommodatsiooni ulatus null, siis peab iga kauguse jaoks isesuguseid prilla tarvitama.

d) **Prillide tugevust loetakse dioptrites.** Öeldakse, et prillide tugevus on *n* dioptrit, kui nende tulipunkti kaugus 1/n meetrit.

6. Nägemine kahe silmaga. Vaadates asja peale kahe silmaga võime otsustada asja ulatuse ja oleku üle ruumis. Selle põhjuseks on, et:

a) vaatluse all olevat asja parem silm natukene rohkem paremalt ja pahem silm-pahemalt poolt näeb (mõlemate silmade võrkkiled lähevad natuke üks teisest lahku);

b) silmade teljed, mis asjapunkti peale sihitud, nurga moodustavad, mis asja lähenemisel suureneb.

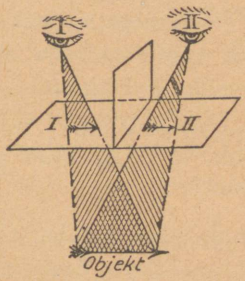
N. n. **stereoskoop-pildid** (J. 677, I ja II) tekivad, kui asi ühe silmaga ja siis teise silmaga tasapinnale projekteeritakse.

Seadus. Mulje ruumis olevalt asjalt on samasugune, kas vaatame teda ennast, ehk tema asemel

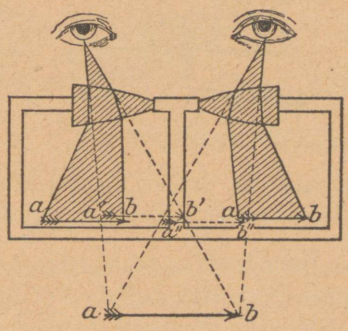
pilti I silmaga I ja pilti II silmaga II.

Sellel nähtusel põhjeneb **stereoskoobi** ehitus (J. 678).

Stereoskoop kujutab enesest kastikest, millesse kaksik pilt ab, *ab* (J. 678) seatakse. Tema keskpaigas on vahesein ja ülemises seinas 2 vaateauku. Prismad



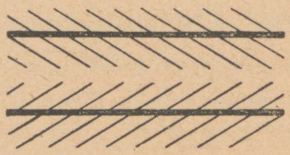
J. 677. I pilt silmale I.
II pilt silmaje II.



J. 678. Stereoskoop.

annavad näiliku piltide nihkumise vaheseina poole (*a' b'*, *a'' b''*), nii et vaatekiired, mis silmadest nendesse juhitud, koonduvad. Passilikul kohanemisel näeb silm ruumis olevat keha *AB*. Stereoskoobi abil on võimalik vale paberiraha õigest ära tunda.

7. Optilised pettumused tekivad a) mitteõigel kauguse hindamisel, b) irradiatsiooni põhjal (s. o. kui võrkkilel tekkinud pildid veel kõrvalolevaid pulgakesi ärritavad), d) pulgakeste kihi väsimisel, e) sellest, et saadud valguse mulje umbes $^1/_{20}$ sekundi kestab.

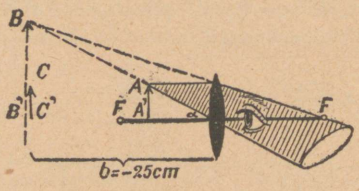


J. 679. Paralleeljooned.

a) **Paralleeljooned,** kui neid viltu joontega läbitõmmata (J. 679) ei näi enam paralleelsed olevat. — b) Tule leegi ees hoitav kudumise varras näib keskelt peenem, kui otstelt. — d) Kui valgel paberil kaua aega sinist riidetükki vaadata ja see järsku ära võtta, siis paistab ase, kus riie oli, täiendavat värvi — kollane olevat. (Seletus: silm väsib sinise kiirte suhtes ja paberilt saadud valgete kiirte sinise osa kohta on ta vähem tundelik, kui täiendava kollase osa vastu.) — e) Hõõguvat süsi, tuld keerutades nähtakse valgustatud ringjoont, aga mitte punkti.

§ 171. Vaatenurk. Suurendusklaas.

1. Nurk, mille all asi näha, n. n. **vaatenurk, suureneb** (ühes sellega ka kujutis võrkkilel), kui asi silmale lähemale seatakse. Lähenemisele on aga normaal-nägemise kaugusega (25 cm silmast) piir pandud, sest et rohkem lähenedes kujutised võrkkilel puuduliku kohanemise tõttu selged ei ole.



J. 680. Suurendusklaas.

2. Luup (suurendusklaas) (J. 680) annab võrkkilel suurema kujutise (suurema vaatenurga α), sest et lubab seada vaatlevat asja silmale palju ligemale, kui 25 cm.

Luup on koondav lääts. Väike asi $g = AA'$ seatakse tulipunktist sedavõrd ligemale, et tekkiv näilik kujutis $g_2 = BB'$ parema nägemise kaugusel 25 cm ilmub.

a) **Ilma luubita** peab asja AA', et teda täpselt näha, parema nägemise kaugusele, kohale CC' (J. 680), seadma. Vaatenurk on väike. Et luup CC' asemel kujutise BB' annab, siis mõjub ta suurendavalt.

b) **Suurenduse** $v = BB' = AA'$ leiame proportsioonist: $BB' : AA' = b : a$, milles b võrdub parema nägemise kaugusele

(25 cm) ja a ligikaudu luubi tulipunkti kaugusele f. Sellepärast

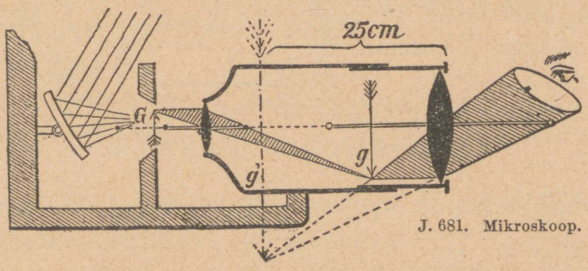
$$\textbf{joonsuurendus } v = \frac{\text{parem-nägemiskaugus}}{\text{tulipunkti kaugus}} = \frac{25}{f}.$$

Täpselt võetud on suurendus 1 võrra suurem, nagu valemi $1/a + 1/b = 1/f$ korrutamisel $|b|$ (absoluut) väärtusega saadakse, tähelpannes, et $b = -25$ cm.

§ 172. Mikroskoop.

1. Mikroskoop (Zacharias Jansen, 1590) seisab koos objektiivist, okulaarist ja valgustajast.

a) **Objektiiv** on asja (objekti) poole seisev lääts. Selle ülesandeks on asjast suurendatud kujutise g tekitamine (J. 681).



J. 681. Mikroskoop.

Objektiiviks on väike **koondav lääts** lühikese tulipunkti kaugusega. Väike asi G peab objektiivi tulipunkti ja vastaspunkti vahel olema. — Objektiiviga saadud esimene **suurendus**, kui f_1 tulipunkti kaugus, on

$$v_1 = \frac{b}{a} = \text{ümmarguselt } \frac{\text{toru pikkus L}}{f_1}.$$

b) **Okulaariks** on luup, mis tekkinud kujutist g veel kord suurendab.

Okulaari suurendus § 171 järele on $v_2 = 25 : f_2$. **Kogusuurendus** on mõlemate saadud suurenduste korrutis, tähendab, $v = 25 \cdot \text{L} : (f_1 \cdot f_2)$.

Tegelikult leitakse suurendus vaatluse teel, mitte aga arvutamisega.

Ühe silmaga vaadeldakse mikroskoobi läbi mm jaotusi ja samal ajal teise silmaga parema nägemise kaugusel olevat mõõdulauda ja selgitatakse, mitu varustamata silmaga nähtavad jaotust sama jaotusele mikroskoobis vastavad.

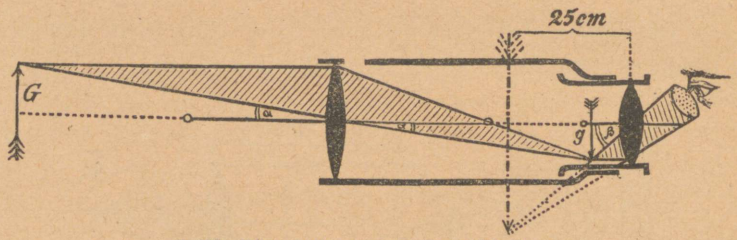
Et okulaar kujutist g teist korda ei pööra, siis on mikroskoobis asja kujutis ümberpöördud.

d) Vaatlusel oleva väikese asja **valgustamiseks** tarvitatakse peeglit, mis päeva- (või lambi-) valgust asjale heidab.

Harilikult on objektiiv ja okulaar koos mitmest läätsast, ehk läätsa paaridest, et veel tugevamaid suurendusi saada (kunni $\frac{1}{4000}$ mm). Selgemate kujutiste saamiseks piiratakse kiiri diafragmaga. Valgustus on vastuproportsionaalne suurenduse ruudule.

§ 173. Pikksilm.

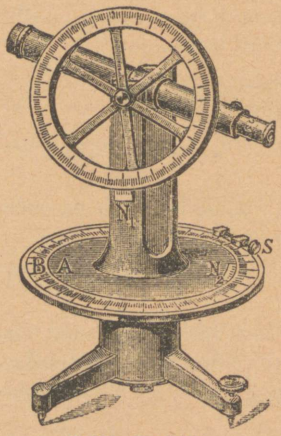
1. Astronoomilises ehk Kepleri pikksilmas (Johannes Kepler, 1611) on kaks koondavat läätsa, objektiiv ja okulaar.



J. 682. Kiirte käik astronoomilises pikksilmas.

a) Objektiiv annab kaugest asjast tulipunkti läheduses väikese kujutise g.

Pikksilma objektiiv on harilikult väga suur, et kujutisele g langevate kiirte hulk võimalikult suurem oleks.



J. 683. Teodoliit.

Kinnistähtede kujutis on täpselt tulipunktis. Päikese, kuu ja rändtähtede kujutised on väikesed kettakesed väljaspool tulipunkti. (Päikese kujutise laius = 1/110 f.)

b) **Okulaar** on suurendusklaas, mis objektiivi kujutist g suurendab.

Kohal, kus okulaaris kujutis g tekib, on n. n. niitide rist, mis võimaldab pikksilma telje seadmist ja koha või suuruse mõõtmist.

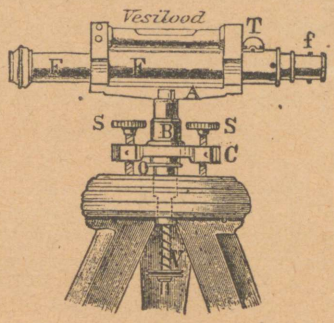
d) **Suurendus** (või ligemale tõmbamine) võrdub peaaegu objektiivi ja okulaari **tulipunkti kauguste jagatisele.**

Tõendus. Ilma pikksilmata on keha nurga α all näha; pikksilmaga on aga kujutise vaatenurk β (J. 682). Kujutiste suurus võrkkilel, nagu § 170 järeldada võib, on proportsionaalne nägemisnurkade α ja β suhele. Ligikaudu $\alpha = \operatorname{tg}\alpha = g/f_1$ ja $\beta = \operatorname{tg}\beta = g/f_2$, millest järeldame, et suurendus $v = f_1 : f_2$.

Tarvitamine. Pikksilma tarvitatakse mitte ainult tähtede vaatlusel, vaid ka nurkade môôtmisel maakeral (nagu teodoliit, J. 683) ja maamôôtmisel kôrgustikkude vôrdluseks, kui ta vesiloega ühenduses on (nivelleerimine; J. 684). — Niisama, kui mikroskoobis, on ka astronoomilises pikksilmas kujutis ümberpöördud.

e) **Nägemise väljaks** nim. punktide ringi, mille keskkiired objektiivist läbi minnes okulaarile langevad. Tähendab, välja määrab ringkoonus, mille tipp objektiivi keskpunktis ja aluseks okulaar.

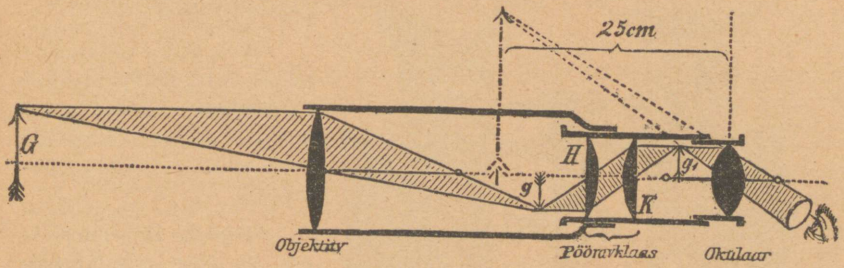
f) **Silma koht.** Silma koht ei ole kohe okulaari vastu, vaid natuke temast eemal, kohas O_2, kus okulaar objektiivi kujutise tekitab.



J. 684. Nivelliir.

Kôik kiired, mis objektiivist läbi lähevad ja okulaarile langevad, peavad ka punktist O_2 läbi minema (seega silma peale môjuma, mis sellesse punkti asetatud).

2. Maa-pikksilm (Schyrl, 1645) on astronoomilise pikksilma teisend. Ta vôimaldab vaatlusasju näha **otsekohe,** mida kätte saadakse ümberpöörava läätsa seadmisega objektiivi ja okulaari vahele.



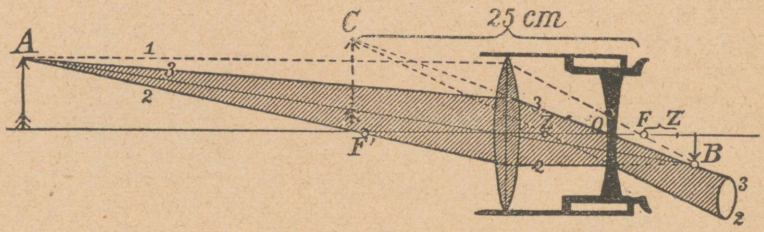
J. 685. Kiirte käik maapikksilmas.

Ümberpöörav lääts seisab koos kahest ühesugusest läätsast H ja K, mis teine teise tulipunkti asetatud (J. 685). See lääts on torusse nii seatud, et objektiiv kujutise g ümberpöörava-läätsa ees olevas tulipunktis annab. Kiirte käigu abil on kerge näidata, et sel juhusel läätsa taga olevas tulipunktis samasuurune kujutis g_1 tekib, mida okulaariga vaadeldakse.

Suurendus on samasugune, kui astronoomilises pikksilmas: $v = f_1 : f_2$, sest et ümberpöörav lääts ei suurenda. Maa-pikksilma toru peab aga pikem olema, kui Kepleri pikksilmal.

3. Hollandi ehk Galilei pikksilmas on objektiiviks koondav ja okulaariks hajuv lääts.

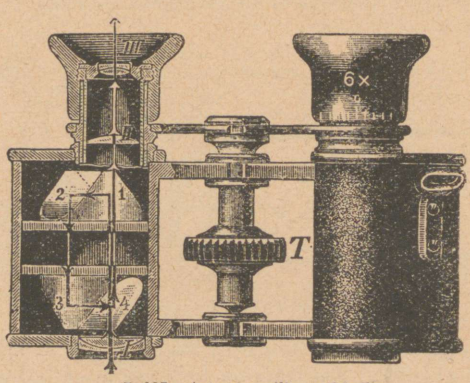
a) Objektiiv annab asja A kujutise B, mis okulaarist kaugemal peab olema; tähendab, kujutist ei teki. b) **Okulaar** hajub kiirte koonuse nii, et selle tipp nagu läätsa ees oleks. Sedaviisi tekib okulaari ees asja otsekohene näilik kujutis C. (Okulaari tulipunkt Z' peab peaaegu ühtuma objektiivi tulipunktiga F.)



J. 686. Kiirte käik Hollandi pikksilmas.

Kiirte käik (J. 686). Kujutise B ehitamiseks tarvitatakse paralleelkiirt 1 ja tulipunkti kiirt 2; peale selle tõmmatakse kujutisest B veel kiir 3, mis okulaari kekspunktist läbi läheb.

Kujutise C ehitamisel võtame arvesse, et kiir 3 takistamata okulaarist läbi läheb ja kiir 2 paralleelselt okulaarile langeb; tähendab, pärast murdumist näib ta eesolevast hajumispunktist tulevat.



J. 687. Astronoomiline pikksilm.
I = akrom. objektiiv, II + III = Campani okulaar.

Okulaarist väljatulnud kiired on hajutud ja piiravad nürikoonust, mille näilik tipp punktis C. Nagu jooniselt 686 näha võib, on kujutis otsekohene.

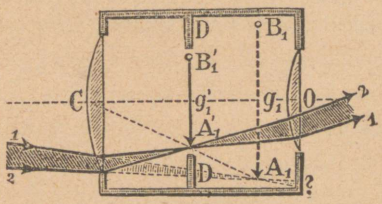
Ajaloost. Hollandi pikksilm on kõige vanem; selle olla juhusliselt prillitegija hollandlase Lippershey pojuke isa töötoas prilliklaasidega mängides leidnud (1608). Sellest oli Itaalias kuulda saanud Galilei, kes siis ise ka niisuguse pikksilma kokku seadis.

Eesomadused. a) Kahe läätsaga saadakse otsekohene kujutis, b) pikksilma pikkus on väike (umbes objektiivi ja okulaari tulipunktide kauguse vahe), d) suurendus on samasugune, kui teistel

pikksilmadel, nimelt tulipunktide kauguste jagatis. Et need kaugused üks teisest vôrdlemisi vähe lahku lähevad, siis on suurendus väike.

Galilei pikksilma tarvitatakse tema hôlpsa kuju pärast välja ja teaatri kiikrites (binoklites) (seisavad koos kahest torust môlema silma jaoks). Uuemal ajal tarvitatakse selleks otstarbeks sarnasel kujul ka astronoomilisi pikksilmi, sest et sissepandud prismade (täieliku peegeldamisega) abil vôimalik on nende toru pikkust lühendada ja ka kuju ümberpöörata, nagu J. 687 seda näitab. Nende suurendus on palju suurem.

4. Mitmest läätsast koosseisva okulaari tarvitamine. Joon. 688 on näha, et objektiivist tulev kujutise g kiirtekoonus (selle jatkamisel) okulaari läätsa sugugi ei kohta, vôi langeb ainult tema äärele. Selle sihi muutmiseks seatakse enne kujutise g tekkimist koondav lääts C, mis kiirte koonust, nagu J. 688 näha, rohkem okulaari keskpaika juhib. Läätsade O ja C ühendust nim. koosseisvaks ehk **Campani** (Huygens'i) okulaariks; C nim. kollektiiv-läätsaks.



J. 688.

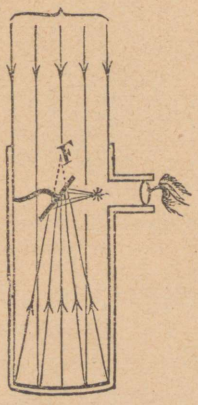
Selle juures väheneb kujutis g_1 natuke, selle vastu aga kasvab vaatlusväli, ja kui O on kollektiivi tulipunktis, siis môjub okulaar akromaatiliselt. (Lahkneb kiir läätsas C kaheks värviliseks kiireks, siis on nad okulaarist O välja tulles paralleelsed.)

Okulaari ette tekkiva kujutise g'_1 kohale seatakse diafragma, mis, esiteks, vaatlusvälja kindlasti piirab ja, teiseks, segavad äärekiired ära hoiab.

Suurendus leitakse tegelikult samati vaatluse abil, kui mikroskoobil (§ 172).

§ 174. Peegel-teleskoop.

1. Peegel-teleskoop (Newton, 1668) on nôguspeegli ühendus okulaariga. Kinnistähe paralleelkiired koonduvad nôguspeegli tulipunktis F. Selle punkti peegeldab (J. 689 kujutatud teleskoobis) väike tasapinnaline peegel teleskoobi külje sees oleva suurendusklaasi ette.


J. 689. Teleskoop.

2. Eesomadus. Nôguspeegli eesomadus seisab selles, et ta mingisugust värvide hajunemist ei tekita; sellepärast tarvitati tähtede uurimisel enne akromaatiliste pikksilmade objektiivi leidmist teleskoopi.

Nôgus-peeglitele vôib kergesti suured tulipunkti kaugused ja avaused anda. Näiteks, $f = 5{,}5$ m, toru läbimôôt $D = 50$ cm. Et päikese kujutise läbimôôt $d = 1/110\ f$, siis on ta selles 5 cm lai! Valguse koondus $= D^2\pi : d^2\pi = 100$ kordne. — Teleskoopi nim. ka reflektoriks; pikksilma dioptrilise objektiiviga — refraktoriks.

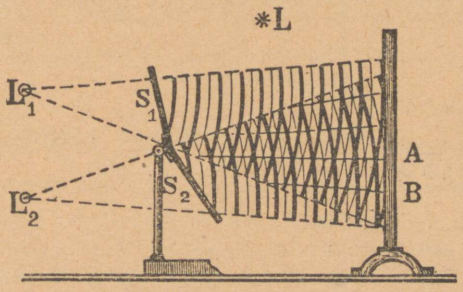
Valguse-lainte teooria

§ 175. Valguse olu.

Newton (1670) kaitses oletust, et valgus, mis valguse allikatelt tuleb, koos seisab väga peenest ainest (aine teooria, emanatsioon- ehk emissioonhüpotees), Huygens (1678) aga selle vastu juhtis tähelpanu selle peale, et valgus ka lainetav liikumine võib olla (undulatsioon- ehk lainte teooria, vibratsioon-hüpotees), milleks ainult mõnesuguse lainteliikumise kandja olemas olemist tuleb oletada (maailma eeter). Viimase teooria järele, mida Newtoni kaaluvate vaadete tõttu algusel tunnistada ei tahetud, paneb valgust sünnitav keha ümbritseva eetrimere võnkuma (nagu häälehark õhu), mille lained ilmatu suure kiirusega laiali lagunevad. Küsimuse otsustas Huygensi kasuks Fresnel'i interferentsi katse (1822), mida vabalt seletab lainte, aga mitte aine teooria.

§ 176. Valguse interferents.

1. Aine teooria põhjal annavad kaks valguse allikat kokku ühe koha peale tingimata rohkem valgust, kui üks. **Fresnel** aga näitas, et juhusel valgus + valgus ka pimedus võib tekkida.



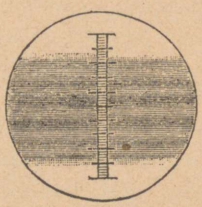
J. 690. Fresnel'i peeglikatse.

Seda nähtust saab vabalt seletada, kui oletada, et valgus on lainetav liikumine. Siis on see interferentsi juhus kitsamas mõttes, kui kaks ühesugust ja ühes sihis liikuvat lainet üks teist hävitavad (selle asemel et tugevamaks saada), sest et nende käikude vahe $\lambda/_2$ (või paarita arvu poollaintele) võrdub (§ 138).

2. Fresnel'i peeglikatse (J. 690). Fresnel näitas, et sarnased interferentsi nähtused (tugevamaks saamine ja hävinemine) tekivad

ka ühe ja sama valguse allika kiirtega, kui neil mõnesugusel juhusel vastav käiguvahe on.

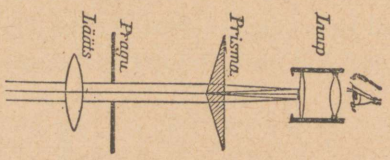
Katseks tarvitatakse kahte peeglit S_1 ja S_2, mis teine teisega väikese nurga (1^0 või 179^0) sünnitavad. Nad annavad valguse allikalt (punktilt) kaks kujutist L_1 ja L_2, mida kaheks valguse lainte lähtekohaks võib pidada. Joonistatakse kaks kontsentrilist ringjoonte süsteemi punktide L_1 ja L_2 ümber, selle juures olgu jooned paaris poollainte arvuga paksemad ja paarita $\lambda/_2$ arvuga peenemad, siis leitakse kergesti kohad, kus valgus tugevamaks saab (ühesuguse paksusega joonte lõikepunktid) ja kus hävineb (paksu ja peene joone lõikepunkt). Interferentsi väli on tumedate ja heledate triipudega kaetud. Selle näitamiseks seatakse temasse ekraan, millele tekivad vahelduvalt heledad ja tumedad jooned A, B ..., mis üks teise kõrval, vastuvalt väikesele laine pikkusele λ, väga tihedalt asuvad (interferents-triibud, J. 691).



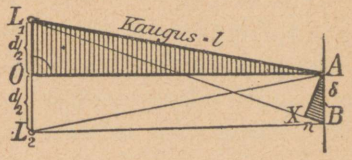
J. 691. Interferentstriibud.

Katset võib korraldada ka **interferents-prisma** abil (J. 692) (Ohm, 1840). See on laia alusega võrdtahuline prisma, mille nurk tipus natuke vähem kui 180^0.

Kaksikumera läätsaga juhitakse valgus praost läbi prisma nüri servale. Iga prisma pool murrab natuke valgust ja tekitab sedaviisi kiirte interferentsi.



J. 692. Interferents prisma.



J. 693.

3. Interferents-triipude kaugus δ võimaldab valguse **lainepikkust** λ välja arvata (J. 693).

Tõendus. J. 693 on $\triangle L_1 O A \sim B X A$ (kui $AX \perp LB$). Sellest järgneb, et $\delta : w = l : d/_2$ ehk $d \cdot \delta = (2\,w) \cdot l$, millest leidub w, kui d, δ ja l mõõdetavad. w aga võrdub $\lambda/_2$, kui B esimene tume triip, mis heledale A järgneb. Tähendab, $\lambda = (d \cdot \delta) : l$. — On, näiteks, $d = 4$ mm, $\delta = 0{,}5$ mm, $l = 4000$ mm, siis $\lambda = 0{,}000\,500$ mm $= 500\ \mu\mu$.

4. Isesugustel värvidel on isesugune lainepikkus. Tehakse Fresnel'i peeglikatset punase, kollase, rohelise, ... valgusega, siis muutub interferents-triipude kaugus AB. Isesugustel värvidel, tähendab, on

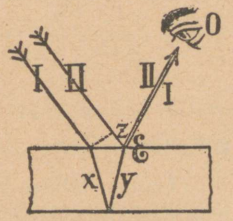
oma lainepikkus. Spektrumi värvidest on punastel kôige suurem, violett-kiirtel kôige väiksem lainepikkus.

Üksikute Fraunhofer'i joonte lainepikkus						
	Punane *A*	Ruuge *D*	Roheline *E*	Helesinine *F*	Indigo *G*	Violett *H*
Lainepikkus $\mu\mu$-des	759	590	527	486	431	397
Vônkumiste arv biljonites $[10^{12}]$. . .	415	534	598	648	731	793

Violett-kiirte vônkude arv on vähe üle kahe korra suurem kui punastel, sellepärast kujutab nähtav spektrum n. n. ühte ainukest oktaavi (vôrdlus toonidega).

5. Valge valgus. Tehakse Fresneli katset valge valgusega, siis ilmuvad heledate ja tumedate triipude asemele spektrumid, mis osalt üks teist katavad.

6. Ôhukeste kelmete värvid. Ôhukesed läbipaistvad kelmed (näit. seebivullil) näitavad valges valguses mitmesugust muutliku värvide mängu, mis oleneb valguse langemisnurgast ja kelme paksusest (pärlmutri läige). Selle pôhjuseks on, nagu J. 694 näitab, kelme ees- ja tagapinnalt peegeldatud lainte interferents.



J. 694.

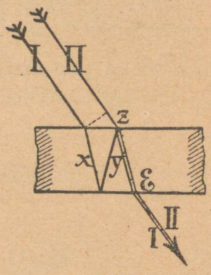
Punktis *E* kohtavate kiirte I ja II käiguvahe on $d = x + y - z$, millele juure tuleb veel $\frac{\lambda}{2}$, sest et kiir II, peegeldudes tihedamalt ainelt punktis *E*, kaotab $\frac{\lambda}{2}$ (§ 141). On käiguvahe $G = x + y - z + \frac{\lambda}{2}$ paarita arv $\frac{\lambda}{2}$ [ühesugusel (homogeen) valgusel], siis hävitavad kiired I ja II üks teist ja silmale paistab kelme tume; on aga see vahe paaris arv $\frac{\lambda}{2}$, siis läigib kelme langevas valguse värvis *F* iseäranis heledasti.

Langeb kelmele valge valgus, siis puudub esimesel juhusel peegeldatud valguses hävitatud värv *F*, mispärast kelme täiendavat värvi paistab olevat; teisel juhusel on aga värv *F* peegeldatud valguses iseäranis tugev.

Langemise nurga muutumistega muutub ka käiguvahe, mispärast valgest valgusest môni natuke teistsugune värv hävineb.

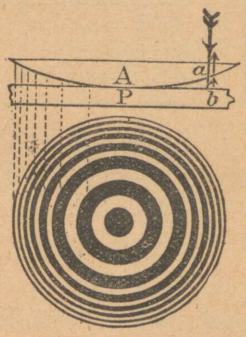
Läbitungivas valguses on värvinähtused vastupidised nähtustele langevas valguses (n. n. täiendavad, komplementäärsed), kuid nõrgemad.

Punktist E ühel ajal väljatulevate kiirte I ja II käiguvahe (J. 695) on ainult $d = x + y - z$, millele $\frac{\lambda}{2}$ juure ei tule, sest et peegeldust tihedamalt keskkonnalt ei sünni. Järelduseks on, et just see värv, mis peegeldudes hävineb, läbipaistvas valguses tugevam on ja ümberpöördud. Paistab kelme langevas valges valguses punane, siis on ta läbipaistvas valguses: valge miinus punane, s. o. roheline.



J. 695.

Paksemate platete tarvitamisel heidavad interferents-triibud üks teise peale, nii et kogumulje valge on.



J. 696. Newtoni värvirõngad.

7. Eelmised nähtused seletavad ka n. n. **Newton'i värvirõngaid** (1675).

Lamab väikese kumerusega tasakumer lääts A kumera pinnaga tasapinnalisel klaasplattel P (J. 696), siis tekib mõlemate vahele õhukiht, ja langev kiir I peegeldub kaks korda, punktides a ja b. Õhukese kelme sünnitab siin õhukiht, mille paksus ühel ringjoonel ühesugune. Et käiguvahe ja sellega seotud interferentsi värv kihi paksusest oleneb, siis tekib iga värv ringkujuliselt.

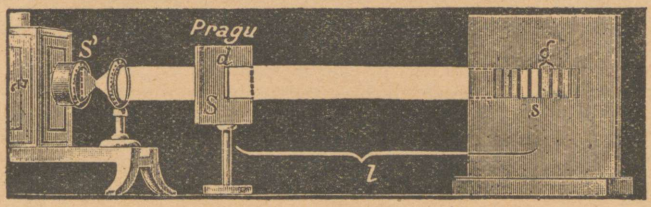
§ 177. Diffraktsioon.

1. Diffraktsiooni nähtus. Läheb laine vette pandud seina praost läbi, siis laguneb ta Huygensi printsiibi põhjal igas sihis laiali, ka kõrvale laine liikumise sihist. Sedasama võib oodata ka valguselt, kui see lainetav liikumine on. Nähtused kinnitavad seda. Sarnast valguse kõrvale lagunemist nim. valguse diffraktsiooniks (paindumiseks). Seda võib näidata järgmise katsega (J. 697):

Projektsioon-aparaadiga heidetakse 3—4 m kaugusel olevale eesriidele selge prao kujutis S' ja seatakse peaaegu paralleelsete kiirte kimpu teine väga peenike pragu S. Siis ilmub, nagu J. 697 näitab, endise prao kujutise kõrvale mõlemalt poolt rida heledaid jooni, mille heledus keskpaigast äärte

poole kiiresti kahaneb. Katses on arvatud ühevärviline valgus. Valges kiires on heledad triibud värvilised. Saadud heledaid kõrvaljooni nim. diffraktsiooni triipudeks (paindunud prao kujutised).

2. Diffraktsiooni triibud on interferentsi nähtus (J. 698). Langeb valgus mõnest punktist ristjoones kitsale praole AB, siis on kõikidel

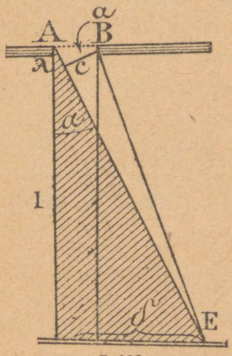


J. 697. Diffraktsioon.

punktidel joonel AB ühesugune võnkumise faas. Huygensi järele laialdub valgus neist punktidest igas sihis. Võiks oodata, et kogueesriie valgustatud saab, aga seda ei ole. Näiteks, punkt E saab olema hele või tume selle järele, kas punktidelt AB langevad kiired käiguvahe tõttu üks teist hävitavad või tugevamaks teevad.

Võrdub äärekiirte käiguvahe $2\left(\frac{\lambda}{2}\right)$, siis hävitavad paindunud kimbus kiired üks teist paarikaupa ja koht E, kuhu nad langevad, on tume. (Esimene tume kõrvaltriip.)

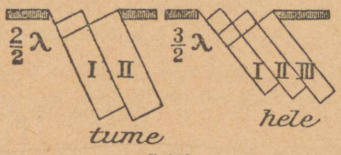
Tõendus (J. 699). Jagatakse kimp kaheks ühesuuruseks osaks ja vaadeldakse ühte moodi märgitud kiiri. Nende käiguvahe on $\frac{\lambda}{2}$, tähendab, nad taandavad teine teise tegevust.



J. 698.

On käiguvahe $3\left(\frac{\lambda}{2}\right)$, siis võib kimpu lahutada kolmeks osaks, millest kaks osa interferentsi mõjul üks teist hävitavad, kuna ainult $\frac{1}{3}$ kimbu valgusest tekkinud interferents-triibu heledus tingitud on. (Esimene hele kõrvaltriip.)

Nii moodi edasi minnes, leitakse, et heledad interferents-triibud ikka vähema ja vähema murrulise



J. 699.

osa paindunud valgusest saavad; tähendab, nende heledus kahaneb kiiresti.

3. Tarvitamine. Diffraktsiooni triipude abil on valguse lainepikkuse arvamine hõlpsam.

On d prao laius AB, l eesriide kaugus praolt, δ esimese tumeda triibu kaugus keskpraost, siis järgneb sarnastest kolmnurkadest (J. 698), et $\lambda : AB = \delta : AE$, sest et äärekiirte käiguvahe sel juhusel peab olema λ. Kaugust AE võib asetada ka eesriide kaugusega l praolt; leiame, nagu ennegi,

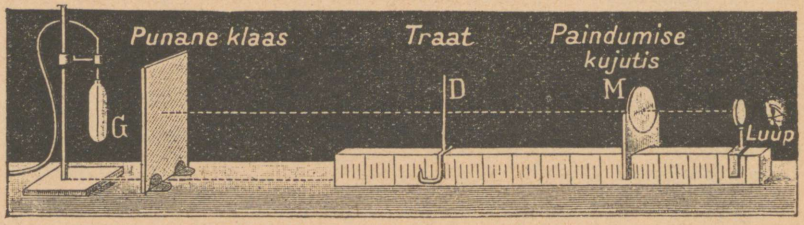
$$\lambda = (d \cdot \delta) : l.$$

4. Diffraktsioon-võre on klaas-plate, millele tihedalt paralleeljooned sisse kritseldatud (tihti 500 kunni 1500 joont 1 mm ulatusel). Sarnane võre mõjub kui iseäranis selge pragu.

Päikese valgus annab nende tarvitamisel hiilgavad diffraktsioonspektrumid tihti suure ulatusega, milles osa Fraunhoferi jooni varustamata silmaga näha.

5. Kiirte paindumise nähtus tekib ka siis, kui heleda joone (näiteks, niit-või praolambi) valguse kiirtes mõnda peenikest traati vaadeldakse.

Traadi mõlema ääre kiired interfereeruvad traadi varjus. Interferentsi nähtust vaadeldakse suurendusklaasiga (J. 700).



J. 700. Valguse paindumine traadi D kohal.

Diffraktsiooni nähtused tekivad, kui poolkinniste silmadega (tähendab, läbi ripsmete) või linnusule läbi kauge valguse allika (päikese) peale vaadatakse. — Päikese ja kuu värvilisi vanikuid saab osalt ka sellega seletada. Hõre musliin-riire, ka akna ruut, millele peale hingatud, võivad diffraktsioon-võreks olla.

Vikerkaar. Udutilgakesed mõjuvad udukogult peegeldatud päikese valguse peale, kui pragu või traatvõre; peegeldatud kiired interfereeruvad ja sellepärast olenevad vikerkaare värvid tilkade suurusest. Nähtavad värvid on suuremalt osalt interferents-spektrumite värvide segu.

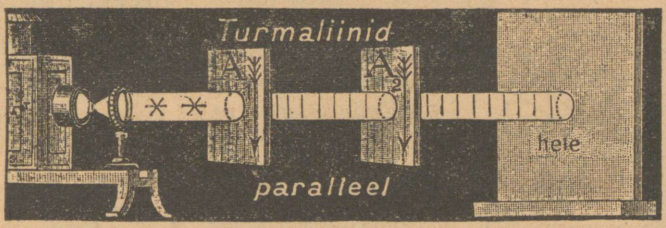
§ 178. Valguse polarisatsioon.

1. Valgus on transversaalne lainetav liikumine (pôiklainte liikumine). Seda näitab katse kahe turmaliin-plattega (J. 701).

Katse. Turmaliini kristallist (kuuetahulisest sambast) lôigatakse paralleelselt samba teljele kaks ühesugust platet P_1 ja P_2, millele telje siht A_1, A_2

ära märgitakse. a) Hoitakse mõlemaid platesid kiirte kimbus nõnda, et nende telgede sihid A_1 ja A_2 paralleelsed, siis on eesriidel hele laik näha. b) Pööratakse aga teine plate P_2 90° võrra, nii et teljed üks teisega ristjoones, siis laiku ei ole. Sellest järeldame: teine plate ei lase valgust, mis esimesest plattest läbi läinud, mitte igas olekus läbi.

Sellest nähtusest järeldatakse, et valgus ainult **põiklainte liikumine** võib olla. Oleks ta pikkilainte liikumine olnud, siis ei peaks teise platte pööramine mingisugust mõju avaldama.



J. 701. Polarisatsiooni nähtus.

2. Polariseeritud valguse mõiste. Fresneli (1821) järele oletatakse:

a) et **„loomulikus"** valguses eetriosakesed võnguvad ristjoones kiirele rutulise vaheldumisega igas sihis.

Kahe kõrvalseisva osakese võnkumise sihid ei ole paralleelsed; ühe osakese võnkumise siht kulgeb valguse kiirusega läbi kiire sihi.

b) et turmaliin-platted läbi lasevad ainult neid võnkumisi, mis paralleelsed turmaliini teljele.

Sarnast kindla võnkumise sihiga valgust nim. **sirgjooneliselt polariseeritud valguseks;** tasapinda, millele ristjoones osakesed võnguvad, nim. **polarisatsiooni tasapinnaks.** — Esimest turmaliini platet, mis valgust polariseerib (ühtepidi sihib) nim. **polarisaatoriks;** teist, mis lubab järelkatsuda, kas valgus polariseeritud, nim. **analüsaatoriks.**

Analüsaator lahutab polariseeritud (tasapinnas oleva) laine $y = a \cdot \sin \omega t$ kaheks ristjoones olevaks komponendiks y_1 ja y_2, millest ta ühe läbi laseb, teise aga hävitab.

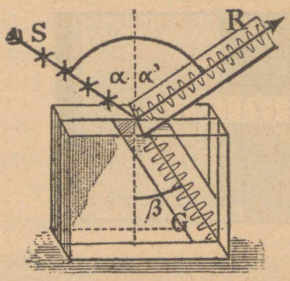
3. Peegeldatud ja murtud kiired on ikka natuke polariseeritud. Juhitakse klaasile loomulik valguse kiir S nurga $\alpha = 55^0$ **all,** siis on nii peegeldatud kui ka murtud kiir peaaegu **täielikult** polariseeritud (katsumine turmaliin-platte abil). Selle juures selgub:

a) et peegeldatud kiires R osakesed ristjoones langemise tasapinnale vônguvad (J. 702),

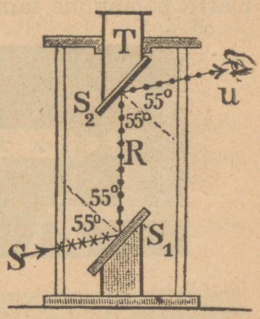
b) et murtud kiires G osakesed langemise tasapinnas vônguvad.

Tähendab, peegeldatud ja murtud kiired on ristjoones teine teisele polariseeritud.

Brewsteri järele on polarisatsioon siis kôige täielikum, kui murtud ja peegeldatud kiired üks teisega ristjoones. (Nôudmisest $\alpha + \beta = 90^0$ järgneb polarisatsiooni nurga leidmiseks $tg\,\alpha = n$).



J. 702.



J. 703. Malus'i katse. (Nörremberg'i polarisatsioon-aparaat.)

a) On kiir S nii polariseeritud, et vônkumised langemise tasapinnas, siis vôib ta ainult murduda (mitte peegelduda). b) On aga kiir S nii polariseeritud, et vônkumised langemise tasapinnale ristjoones, siis vôib ta ainult peegelduda (mitte murduda).

4. Nörremberg'i polarisatsioon-aparaadis (J. 703) tarvitatakse, eelmises osas seletatud pôhjusel, turmaliin-platete asemel polarisaatoriks ja analüsaatoriks mustast klaasist (amalgaamita) peeglid.

Malus'i katse (J. 703). Lastakse esimeselt mustalt peeglilt S_1 55^0 all peegeldatud kiirt R langeda teise sarnase peegli peale, nii et ta jälle 55^0 all langeks, siis peegeldub ta veel kord, sihis U. Selles sihis U olev silm näeb valgustatud välja, kui môlemate peeglite tasapinnad ühtuvad, nagu J. 703, ja pimeda välja, kui need tasapinnad üks teisega ristjoones (risti) (pööratakse toru T 90^0 vôrra; langemise nurk 55^0 ei muutu; U siht liigub ringjoont mööda ja tema heledus kahaneb nullini).

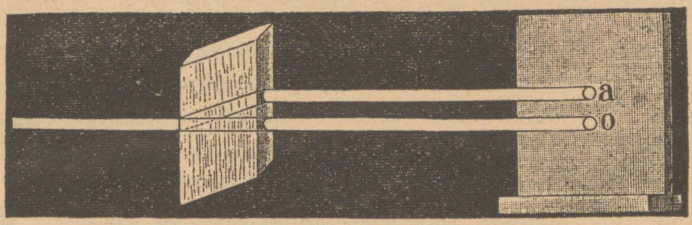
§ 179. Kaksimurdumine.

1. Läbinähtav lubjapagu-kristall näitab kaksimurdumist, see tähendab, kristallisse tunginud valguse kiir lahkneb kaheks kiireks (J. 704):

a) **harilikuks kiireks,** mis murdumise seadusele allub;

b) **mitte-harilikuks kiireks,** mis sellele seadusele ei allu ja harilikult langemise tasapinnaski ei asu.

Kaksimurdumise nähtus tekib, kui valguse kiirte kimp läbi lubjapaguplatte ekraanile juhitakse (ilmuvad kaks heledat plekki *o* ja *a*) ehk kui trükitud kirja platte läbi loetakse (trükk paistab kahekordne olevat). Lubjapagu pööramisel pöörub ainult üks kujutis (J. 705).



J. 704. Kaksimurdumise nähtus.

Lubjapagu **kristalli kuju on romboeder.** Selle peatelg leitakse, kui need kaks nurka, milles kolm tasapinnalist 108° nürinurka kohtavad, diagonaaliga ühendatakse. Seda diagonaali (kristallograafilist peatelge) nim. lubjapao **optiliseks teljeks;** iga lõige, mis sellele paralleelne, nim. **pealõikeks.**

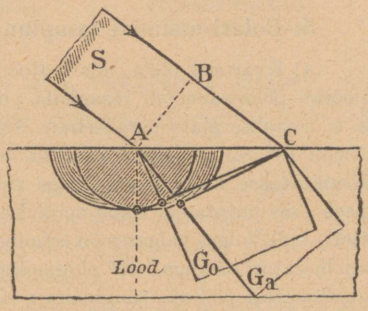
2. Fresnel seletas kaksimurdumist oletusega, et igast valguse punktist kristallis kaks lainepinda tekivad:

a) kerakujuline vastavalt harilikule kiirele G_0,

b) pöördellipsoidi kujuline — mitteharilikule kiirele G_a.



J. 705. Kaksimurdumine.



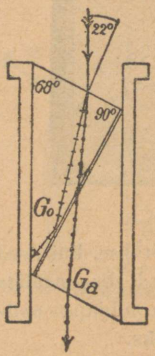
J. 706. Kaks lainepinda.

J. 706 näitab ristjoones peateljele lõigatud platte kaksimurdumist lihtsal juhusel.

3. Kaksimurdumisel saadud mõlemad kiired on ristjoones teine teisele polariseeritud. Sellepärast on võimalik lubjapagu, milles kaksimurdumine kõige selgemini ilmub, tarvitada polarisaatori või analüsaatori valmistamiseks, kui kahest tekkivast kiirest üht kõrvaldada.

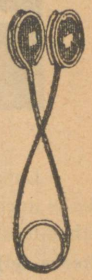
a) Turmaliin-platted neelavad hariliku kiire iseenesest. (Järelduseks on kiirte värvumine.) Tähendab, nad on head polarisaatorid.

b) Lubjapagu tarvitatakse Nicol'i prisma kujul. Kristall, mille otsapinnad kindla nurga all tahutud, lõigatakse nagu J. 707 näitab, pooleks ja kleebitakse Kanaada-balsamiga jälle kokku. Joonisel on näha, et vähem murduv mitteharilik kiir prismast läbi läheb, kuna harilik täielikult vahelõikelt peegeldub ja tahmaga kaetud prisma küljepinnasse neelub.



J. 707.
Nicoli prisma.

4. Polarisatsioon-aparaadiks, mis polarisaatorist ja analüsaatorist koos, tarvitatakse harilikult turmaliin-pihte (kahe turmaliin plattega, J. 708), Nörrembergi aparaati (kahe musta peegliga, J. 703) ja Stöhrer'i polarisatsioon aparaati (mis koos kallakilseisvast klaasplatete kogust ja Nicoli prismast), jne. Nende kasutamine on mitmesugune.


J. 708.
Turmaliin-pihid.

Analüsaatori ja polarisaatori vahele pandud vähem kui 0,3 mm paksune gipsplatteke, on igal polarisaatori ja analüsaatori olekul värviliselt valgustatud, kuid ristjoones olekus (millal harilikult pimedus tekib) on värvid täiendatavad neile, mis paralleelses olekus. Sarnaseid nähtusi näitavad ka kiirelt jahendatud klaasplatted.

5. Polarisatsiooni tasapinna pöörumine.

a) Kvartsist plate, mis ristjoones teljele lõigatud ja mille paksus 1 mm, pöörab polarisatsiooni tasapinda punases valguses 19°, violett — 40° võrra; s. o. seatakse plate paralleelsete Nicol'ite vahele, siis on väli pime; vaja üht Nicoli 19° või 40° võrra pöörata, et jälle helendus tekiks. — b) **Võrdluseks.** Kinnitatakse kummipaele külge rida paralleelseid tuletikka. Keerutatakse paela, siis kujutavad tikud spiraalse keerutise; nad on üks teise suhtes pööratud. — d) Valges valguses on eelmine kvartsplate värvline ja värvid muutuvad analüsaatori olekuga. 19° pööramisel on see punane, 40° — violett. Kui vaja analüsaatori pöörata tunninäitaja sihis, et värvide järjekord punasest kunni violettini oleks, siis nim. kristalli parempoole pöörajaks (parem), vastasel juhusel — pahempoole pöörajaks (vasak). Paremale poole pööravad, näit. pilliroo- ja viina-suhkur, pahemale poole vilja-suhkur, munavalge ained. (Tarvitatakse suhkru hulga % määramisel suhkruvabrikutes.) —

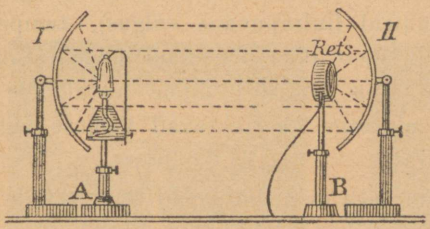
Soojuse ja elektri kiirgamise nähtused

§ 180. Kiirgav soojus.

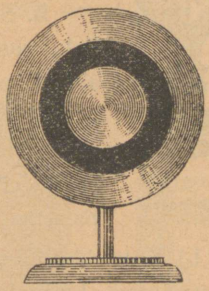
1. Iga soe keha kiirgab ümbritseva eetri kaudu pidevalt soojust. Eetriga edasikantud soojuse kiired on sarnased valguse kiirtele igas suhtes (laialdumine, peegeldumine, murdumine, polarisatsioon ja interferents; Melloni, 1836).

1. Peegeldumise tõendus kahe nõguspeegli katsel (J. 709). Ühe nõguspeegli tulipunktis on soojuse allikas, teises tulipunktis kergesti plahvatav keha või termoskoobi retseptor (vastuvõtja).

2. Murdumise tõendus. Püssirohu süütamine jääst läätsa tulipunktis.



J. 709. Retseptor.



J. 710. Absorptsioon.

2. Tähendab, kiirgav soojus on n. n. "nägemata valgus", mis vastavatele kehadele langedes kergesti soojuseks moondub, s. o. mis keha moleküüle tugevamini võnkuma võib panna.

Seda näitavad selgesti soojuse kiired, mis päike meile eetriga täidetud ruumi kaudu saadab. Need soojuse kiired on täiesti samased (ident) infrapunastele valguse kiirtele spektrumis. Soojusline tegevus ilmub vastavates kehades alles kiirte neelamisel (energia moondus).

3. Läbilaskvus. Kehasid, mis soojuse kiiri läbi lasevad, nim. **diatermilisteks,** mis aga kiiri neelavad (ja selle tõttu soojenevad) **atermilisteks.**

Õhk on väga diatermiline. Selle vastu kuumenevad pimedad kehad, nagu tahm, päikese kiirte mõjul tihti väga tugevasti.

a) Kaks termomeetrit, millest ühel must kerake, seatakse ühe valguse allika kiirtesse. Mis juhtub?

b) Katse tahmase ringiga kaetud (J. 710) stanniooollehega, mille tagasein kollase termovärviga kaetud. (Viimane muutub 45° juures punaseks.)

d) Katse **radiomeetriga** (J. 711): tugevasti hôrendatud klaasnôus kuumeneb ôhk tahmaga kaetud tiiva pindade ees tugevamini, kui läikivate pindade ees ja avaldab paisumisel tagasitôuget, mille tôttu ratas tiirlema hakkab. Tuletiku süütamine klaasi ees.

4. Soojusvärvid. Soojuskiirte lainepikkused on mitmesugused, sellepärast tehakse ka neil, nagu valguses, värvivahet. Üks ja sama keha neelab isesuguseid värvikiiri isesuguse tugevusega.

Aknaklaas laseb päikese soojuse (lühikesed lained) läbi, aga ahjusoojuse (pikad lained) mitte. Sellepärast hoiavad aknad talvel soojust kinni. (Triiphooned.) Valitavat absorptsiooni (neelamist) näitavad mitmed kehad (termokroos, soojusline värv). Kivisool laseb läbi ühesuguselt hästi peaaegu kôik soojusvärvid. Sellepärast tarvitatakse kivisoolast prismasid infrapunaste kiirte spektrumite saamisel.



J. 711. Radiomeeter.

5. Soojuskiirte emissioon ja absorptsioon. a) Madala temperatuurini kuumendatud kehad kiirgavad ainult pikki laineid (infrapunane valgus), temperatuuri tôusmisel tuleb ikka lühemaid laineid juure, kunni tulipuna (mis Draper'i järele metallidele ja söele 525° on) algusega ka nähtavad valguse lained paistma hakkavad.

b) Kaks ühesuguse kuumusega keha kiirgavad teine teisele nii palju soojust, kui palju nad seda üks teise käest ise saavad. (Soojuse liikuva tasakaalu seadus Prevost järele, 1809.)

Põhjus. Vastasel korral peaks üks kehadest kuumenema, teine jahenema. Jahenevad mõlemad kehad ühtlaselt, siis saame väite: absorptsiooni ja emissjooni suhe on igale kehale üks ja sama. (Kirchhoffi järele on see seadus maksev igasugustele kiirtele.)

§ 181. Elektri kiirgamine. Tühjendamise nähtused.

1. Nähtused Geissler'i ja Hittorf'i torudes (1869). Hôrendatud ôhus on elektri sädemel suurem ulatus. Seda on näha, kui hôrendatud ôhuga täidetud toru môju-elektri masina vôi induktsioonaparaadi poolustega ühendada. Hôrenduse suuruse järele tekivad siis järgmised tühjendamise nähtused:

a) on hôrendus suurem, kui 1 cm (elavhôbeda rôhumist), siis ôhk elektrit ei juhi.

b) 1 cm kunni 1 mm rôhumiseni täidab toru punakas valgus, mida anood kiirgab. Katood on helesinaga ümbritsetud.

d) 0,1 mm rõhumisel on valguse pael kihiline ja katoodist suurema pimeda ruumiga eraldatud.

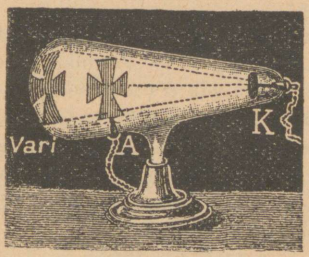
e) 0,01 mm hõrendusel täidab tervet toru sinakas katoodi valgus.

See valgus kiirgab katoodilt sirgjooneliselt (katse Crookes'i toruga, J. 712), kutsub välja klaasseinte ja teiste kehade (rohelkase) fluorestsentsi (J. 713), kuumendab metalle ja paneb kerged rattad liikuma. Magnetiga võib teda kõrvale pöörda (J. 714).

f) veel suuremal hõrendusel kaotab õhk juhtivuse võime; valguse nähtused kaovad.

2. Katood- ja anoodkiired on isesugused: a) katoodkiired on laetud negatiivse elektriga.

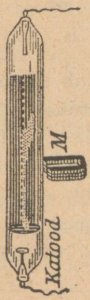
Nende pöörumise tugevusest magneti mõjul (J. 714) on võimalik liikuvate osakeste m elektri laengut E ja nende kiirust v välja arvata. Selle juures



J. 712.



J. 713.



J. 714.

selgub, et katoodkiirte voolus liikuvad osakesed mitu tuhat korda aatomitest väiksemad on ja et need eitavalt laetud osakesed $^1/_{10}$ kunni $^1/_3$ valgus-kiirusega liiguvad. Neis nähtakse negatiivse elektri alg-osakesi ja nim. neid **elektroonideks.**

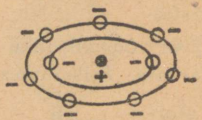
Sellepärast on katood-kiired elektroonide vool. Oma suure kiiruse tõttu tungivad elektroonid Crookes'i torudes õhukestest alumiinium-lehekestest läbi, ioniseerivad õhku, kui sellesse sattuvad, ja muudavad seega õhu juhiks (tundemärk).

b) **Anoodkiiri** võib katoodi sisse tehtud augukeste läbi edasi tungida lasta (Goldsteini järele: kaanalkiired) ja sedaviisi neid uurida. Nad on positiivselt laetud, väikese kiirusega ja ilma iseäralise tegevuseta.

Uurimised näitavad, et neis liikuvad osakesed aatomite suurused on; neid peetakse positiivse laenguga ioonideks.

3. Elektroonide teooria. Oletatakse, et ainult negatiivsed elektroonid vabad võivad olla. Moleküül on neutraalne, kui ta elektroonidega küllastatud. Lendab temast üks elektroon välja, siis näib moleküül positiivse laenguga olevat.

4. Uuemad kujutused aatomite ehituse kohta (J. 715). Fluor-aatom, näiteks, seisab koos positiivse elektriga laetud tuumast, mis piiratud kahe ringiga, milles 2 ja 7 elektrooni; need elektroonid (nagu kuu ümber maakera) pöörlevad tuuma ümber nii suure kiirusega, et nad tuumasse ei lange.



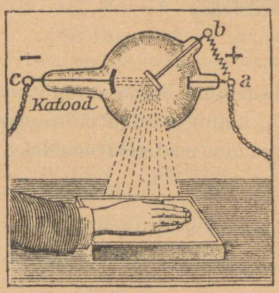
J. 715. Fluor-aatom.

Et terve fluor-aatom väliselt neutraalne, siis



J. 716.

võrdub tuuma laeng $n = +9 \cdot n$ nim. keemilise elemendi **järjekorra-arvuks.** Keemiliselt märkides on fluori aatom (+ 9, — 2, — 7). — Vesiniku aatom H (+ 1, — 1), heeliumi aatom He (+ 2, — 2); hapnik O (+ 8, — 2, — 6), lämmastik N (+ 7, — 2, — 5), väävel S (+ 16, — 2, — 8, — 6), naatrium Na (+ 11, — 2, — 6, — 3) jne. — Vesiniku aatomi negatiivne elektroon pöörub tuumast umbes $^1/_{18}$ $\mu\mu$ kaugusel ja 6200 biljoni korda sekundis. Suure massi peale vaatamata on tuum sedavõrd väike, et tema läbimõõt kõigest $^1/_{2000}$ elektrooni läbimõõdule võrdub.



J. 717. Päevapildi valmistamine Röntgeni kiirtes.

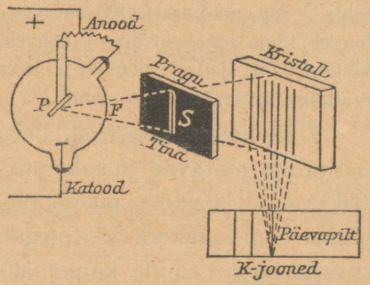
5. Röntgeni kiired. Röntgen leidis (1894), et klaasseinte kohad, kuhu katoodkiired peale langevad, nägemata valgust kiirgavad, mis puust, nahast, eboniidist, jne. nii sama läbi lähevad, kui harilik valgus klaasist. Baarium-plaatin-tsüanüüriga kaetud ekraan hakkab neis kiirtes helenduma. Hoitakse ekraani ja kiirte lähtekoha vahel käsi, siis ilmub ekraanile käe kondikava, sest et liha kiiri läbi laseb (J. 716).

Tähtis arstiteaduses; keha läbivaatamine neis kiirtes. Seletada pildi valmistamine Röntgeni kiirte abil, joonise 717 järele.

Röntgeni kiired on väga lühikeste laintega nägemata valgus (80 kunni 3000 korda lühemate laintega, kui kõige äärmistel ultraviolett kiirtel). Lainepikkuse lühisuse tõttu on võimata neid hariliku

võredega painutada, aga **Lane** leiduse järele on see võimalik looduses eneses olevate kristallide molekulaarsete võredega, mis ligi tuhat korda peenemad.

Röntgeni kiirte spektroskoopia on väga lihtne. Fluorestseerivas pinnas *F* (J. 718) tekkinud Röntgeni kiired juhitakse tinaprao läbi kaldu kristalli pinna *K* peale. Kristall peegeldab neid kõrvale hajuvalt, mille tõttu nad interfereeruvad; interferentsi spektrum kinnitatakse päevapildistuse platte abil. Saadakse 3 joont (***K*-joont**). Kõige tugevama lainepikkust λ mõõdetakse. Aatomi (mis Geissleri torus osakesteks laguneb) tuuma laengule n leidis **Moselay** valemi $(n-1)^2 \cdot \lambda = \textbf{konstant}$ (kindel arv). Et λ leidmine kergesti võimalik, siis arvutatakse selle valemi järele antikatoodi aine tuuma laeng.



J. 718. Röntgeni kiirte spektroskoopia.

Röntgeni kiired on eetrivõnkumised, mis **aatomi ringide** vapustamisel tekivad.

6. Radioaktiivsed kehad. Becquerel pani (1896) tükikese uraani ühendust päevapildi plattele ja leidis, et see mustaks tõmbus. Uraanilt väljaminevad nägemata kiired ioniseerivad õhku ja tühjendavad elektriga laetud kehasid. Curie abielupaarile õnnestas Pariisis selles iseäranis tegeva aine uraani mullast eraldada. Nad nimetasid leitud elemendi **raadiumiks.**

Radioaktiivsetel ainetel on kahesugune osakeste kiirgamine: 1) α-kiired (= positiivsete osakeste väljalendamine aatomi tuuma süsteemist); 2) β-kiired (= negatiivsete osakeste ehk elektroonide väljalendamine aatomi ringidelt). Mõlemal juhusel tekivad uued ained, nagu igasugusel keemilisel lahutamisel.

Näide:

Uraan $\xrightarrow{\alpha}$ Uraan X_1 $\xrightarrow{\beta}$ Uraan X_2 $\xrightarrow{\beta}$ Uraan II $\xrightarrow{\alpha}$ $\xrightarrow{\alpha}$ Raadium $\xrightarrow{\alpha}$ $\xrightarrow{\beta}$ Raadiumi emanatsioon $\xrightarrow{\alpha}$ Raadium A $\xrightarrow{\alpha}$ Raadium B, jne.

β-kiired tekivad vahest Röntgeni kiirtega (γ-kiired) koos, sest et aatom, arusaadavalt, mõne ringisüsteemi plahvatusel vapustatud saab ja eetri võnkuma paneb.

α-osakese (heeliumaatomi) väljalendamisel väheneb järeljäänud aine aatomkaal 4 võrra.

Raadiumi saak on siiamaani väga väike. Raadiumist väljalendavad α-kiired moodustavad gaasi, n. n. emanatsiooni. Sel gaasil on võime kondenseeruda ja ta avaldab raadiumi tegevust (mahapestav sade juhttraatidel). Ramsay pani emanatsiooni Geissleri torusse, juhtis temast mitu päeva elektri voolu läbi ja leidis, et see heeliumiks oli moondunud (äratundmine spektrumi abil).

Raadium on ikka mõni kraad soojem, kui ümbrus. Soojuse väärtus, mida 1 mg raadiumi 3000 aastaga kiirgab, on 2000 kaloori, ja selle juures langeb tema tegevusvõime (aktiivsus) alles $\frac{1}{3}$ võrra; 1 mg paukgaasi annab kõigest 0,004 Kal. (Uuemal ajal arvatakse, et päikese ja maakera enese soojus raadiumi moondumisest oleneb.)

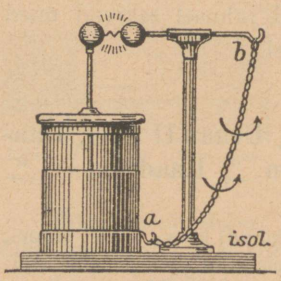
7. Elektroonide pilved. Baromeetri langemisel tuleb, nagu Eberti uurimised näitavad, maakerast õhku, mis radioaktiivne. Selle õhu elektroonid laevad maakera pinnal olevaid asju negatiivselt. Sellepärast ongi maakera ikka negatiivselt ja õhk seda tugevamine positiivselt laetud, mida kõrgemale tõustakse.

Ebert näitas, kuidas 1 m^3 õhus olevaid elektroone ära võib lugeda. 20 cm pika metall-toru A telje kohale seatakse metall-varras B ja ühendatakse seda, näit., 30000 V laetud elektromeetri poolustega, A ühe ja B teise poolusega. Lõõtsa abil imetakse toru läbi 1 m^3 õhku. Selles õhus olevad elektroonid tühjendavad elektromeetri. Võrrandist $E = CV$ (§ 39) leiame E. Et ühe elektrooni laeng $4{,}71 \cdot 10^{-10}$ el. hulga üksust on, siis leitakse sellest nende arv.

8. Põhjavalgust peetakse valguse nähtuseks, mis tekib vaiksetel elektri tühjendustel niisugustel kõrgustel, kus õhk niisama hõre on kui Geissleri torudes.

§ 182. Elektri lained.

1. Võnkuv laeng. Feddersen näitas 1858 a., et Leideni purgi tühjendamisel elektri laeng edasi-tagasi võngub (ostsillatsioon).



J. 719.
Leideni purgi eneseinduktsioon.

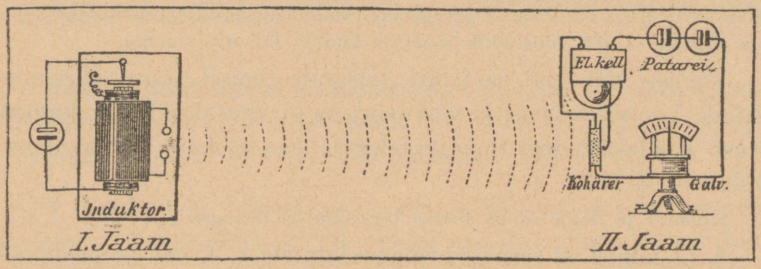
Põhjus. Säde on elektri vool. Kaob ta, siis lähevad tema välja jõujooned tagasi ja tekitavad ekstravoolu samas sihis (J. 719). Selle järelduseks on, et negatiivselt laetud kattele rohkem + elektrit voolab, kui selle neutraliseerimiseks vaja. Leideni purgi katted muudavad kiire vaheldumisega selle juures oma märgi. (Võrdlus vedeliku võnkumisega ühendatud anumates.) — Järelkatse tiirleva peegli (J. 566) abil, milles ahelikuga ühenduses olevat Geissleri toru kujutist vaadeldakse. (Valguse vahetamine igal ostsillatsioonil.)

Feddersen leidis võngu välte umbes $^1/_{1000000}$ sekundi, kuid see arv ei ole püsiv, vaid oleneb kondensaatori el. mahutavusest C ja eneseinduktsioonist L. ($T = 2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}$.)

2. Elektri lained. Heinrich Hertz leidis (1888), et iga võnkuv tühjendus ka ümbritsevas eetris elektromagnetilisi võnkumisi välja kutsub (nagu häälehark õhu võnkumisi). Tekkivad el. lained lagunevad laiali **valguse kiirusega.** Nende tungimisest mõnesse kohta saadakse teada **kohäreri** kaudu.

Kohärer on umbes 2 cm pikkune metallpuruga (harilikult nikkel- või hõbepuruga) täidetud klaastoruke.

Langevad el. lained kohäreri peale, siis muutub puru järsku juhiks. (Leidsid kohäreri itaallane Calzechi ja prantslane Branly, 1890.) Järelkatsumi-



J. 720. Traadita telegraaf.

seks ühendatakse teda ühes galvanomeetriga patarei voolu ahelikku. Löök torukese pihta teeb puru jälle mittejuhiks (J. 720).

3. Tarvitamine. a) **Traadita telegraafis.** Itaallasele Marconi'le tuli (1892) mõte tarvitada elektri laineid telegrafeerimisel kauge maa peale (sädetelegraaf). On juba õnnestanud ühendust luua üle 5000 km kauguse (Euroopast Ameerikasse).

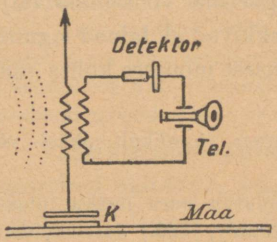
Sisseseade. Jaamas I on olemas märkide andjaks induktor (laintetekitaja), jaamas II on "vastuvõtjaks" klaastoruke rauapuruga, kohärer, mis ühenduses patareiga, millega ka veel galvanomeeter, elektri-kell või Morse aparaat ühendatud.

Käik. Lastakse esimeses jaamas säde hüpata, kohe muutub kohärer teises jaamas juhiks, laseb patarei voolu läbi, galvanomeetri nõel kaldub kõrvale (kell koputab, Morse nõel kirjutab). Kerge löögi mõjul (mille kella haamer iseseisvalt annab) kohäreri pihta muutub see jälle mittejuhiks ja galvanomeetri näitaja läheb oma kohale tagasi (kell vaikib), et järgmist laine märki vastu võtta.

Traadita telegrafeerimisel kauge maa peale juhitakse saatejaamas üks sädeme poolus maasse ja teine poolus pikka (tihti torni

kôrguseni) traati mööda (antenna) loodjoones ôhku. Sarnaselt toimetatakse ka kohäreri otsadega vastuvõtte jaamas.

b) **Traadita telefoneerimisel** (kaugekône) on vaja detektor (sirgendaja). Lihtsam detektor on plaatinast (vôi grafiidist) nôel, mis mineraali tükikest "musta klaaspead" puudutab. See laseb voolu ainult ühes sihis läbi (J. 721).



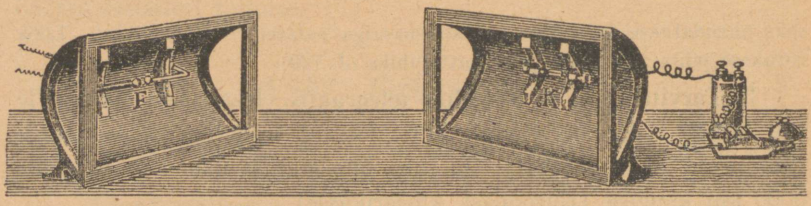
J. 721. Traadita telefon.

Antenna ühendatakse telefoniga. Iga lainetôuge seisab koos tervest reast, näit. 100 kiirelt lôpevast lainest, mille vôngu aeg igal ühel, näit., $^1/_{1000000}$ sek. Sarnaseid kôrgeid toone meie kôrv telefonis ei kuule. Sellepärast ühendatakse vooluring detektoriga. Siis paiskub telefoni membraan kôikide nende 100 osalaintega ainult ühes sihis, s. o. 100 laine tôukamine on kuulda kui üks signaal.

Viimase sôja ajal on lainte telegrafeerimisel suuri edusamme tehtud. Lainte saatjaks ja vastuvôtjaks tarvitatakse ainult **katoodtorusi.** Kuidas nendega traadita telegraafis ja telefonis ümberkäiakse, näidatakse § 183.

Kohärer ja detektor on nende tarvitamisel üleliigsed.

4. El. lained on sarnased valguse laintele, s. o. nad peegelduvad,

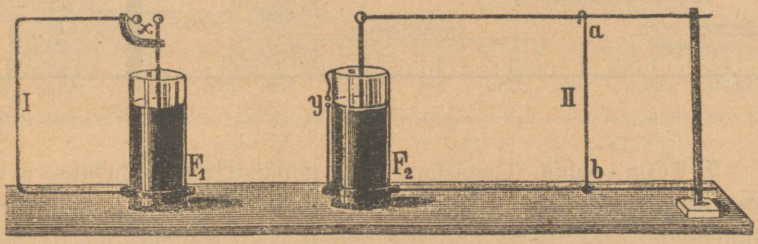

J. 722. Peegeldumise tôendamine nôguspeeglitega.

näit. metall-pindadest (seletada katse nôguspeeglitega J. 722), murduvad pigist prismas. Nende interferentsi ja diffraktsiooni näidatakse metall-vôre abil. El. lained on polariseeritud ja nende vônkumised sünnivad paralleelselt tekitatud sädejoonele (= ostsillaatorile).

Polarisatsiooni tôendamine. Lainte ette seatakse paralleelsete traatidega vôre. On traadid sädejoonega ristjoones, siis lähevad lained läbi, on nad aga temale paralleelsed, siis hävinevad.

5. Resonants. Langevad el. lained ühendusele, mille enesevônkumine lainte omaga kokku kôlab, siis hakkab see kaasa vônkuma.

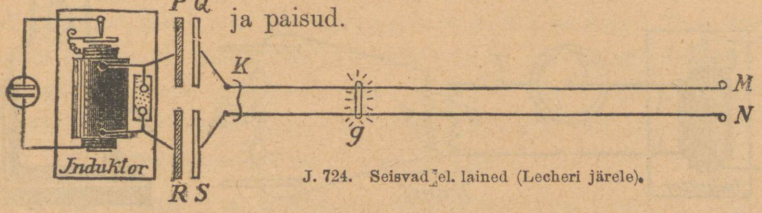
Lodge'i resonantsi katse (1890; J. 723). Seatakse kaks ühesugust Leideni purki F_1 ja F_2 üks teise vastu ja ühendatakse üks neist liikuva traadiga ab. Elektri liikumiste vaatluseks purgis F_2 seatakse väikese stanniool-ribaga selle sisemine kate välimisega üsna lähedale (y). Kargab purgis F_1 säde (x), siis tekib ka purgis F_2 vônkumine; iseäranis tugevasti siis, kui môlemate purkide vooluringil ühesuurused vônguvälted on (mida saadakse traadi ab seadmisel); siis kargab ka punktis y sädemeke.



J. 723. Lodge'i resonantsi katse.

Muutliku mahutavusega kondensaatorit (J. 730 noolega märgitud) mis tahes vônkumiste ringi seades, on vôimalik viimast kergesti kohastada tulevaile laintele. (Kohastamise kôrvaldamine.)

6. Seisvaid el. laineid sai Lecher (1890) sellega, et peegeldas el. laineid metall-platetelt vôi traadi otstelt. Peegeldatud lainte interfereerumisel alglaintega tekkisid sôlmed ja paisud.

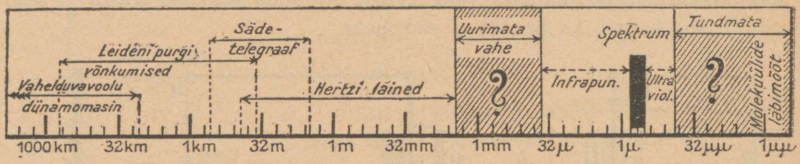


J. 724. Seisvad el. lained (Lecheri järele).

Katse (J. 724). Induktori poolustega ühendatakse kaks paralleel-traati, mille otsapunktidest traat K üle visatud. Traate mööda nihutatud Geissleri toru hakkab mônes kohas helendama (paisud), teises kohas aga jääb pimedaks (sôlmed). K nihutamisel saab elekter taandatud ja Geissleri toru jääb pimedaks, kunni sild K jälle sôlmpunkti sattub. Lühikeste lainte tekkimiseks ühendatakse induktor vastava transformaatoriga, näit., nagu J. 724 näitab, platete paari kujul.

Tarvitatakse lainepikkuse môôtmiseks. Lainepikkus on seda lühem, mida suurem vahelduste arv (frekvents) sekundis. Oleks vôimalik tôsta seda arvu sekundis 400 kunni 800 biljoni peale, siis saaks otsustatud elektri muutmise probleem valguseks.

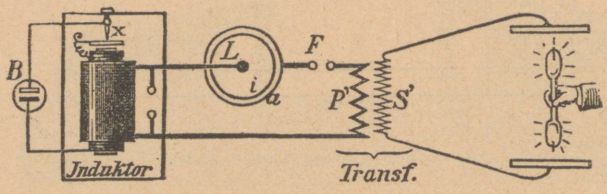
a) Mitme poolusega vahelduva voolu dünamo abil õnnestas Tesla'le sekundis eetrile 10000 tõuget anda, tähendab, 30 km pikkuseid laineid saada. — b) Leideni purgi tühjendamisel sai Feddersen 30 m pikad eetri lained. — d) Viimasel ajal saadakse (J. 724) Hertz'i laineid kunni 3 mm pikad. J. 725 näitab Lebedevi lainte tabelit.



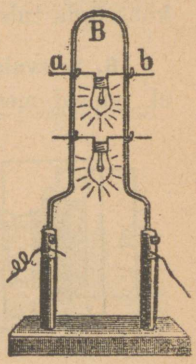
J. 725. Horisontaal-joonel on lainte pikkused antud oktaavides. ($2^5 = 32$, $2^{10} =$ umbes 1000.)

7. Tesla voolud. Ungarlane Tesla püüdis (1893) vahelduse arvu tõstmisega elektrilaineid valguse-lainteks moondada. Leideni purgi tühjendamist tarvitades, õnnestas temale saada sekundis üle 100 miljoni vahelduse. Peale selle transformeeriti vool kõrgepingeliseks. Nii moodi tekib kattepooli elektroodide vahel kõrge vaheldusarvuga väli.

Sedaviisi sai Tesla platete ja traatide vahel mitme miljoni Volti suurused pinged ja näiliku hirmsa sädemete vihma, mis aga inimese kehale siiski kahju ei tee, sest et need kõrge pingega voolud ainult naha pealispinda mööda liiguvad. — J. 726 näitab hariliku



J. 726. Kõrge vaheldusarvuga väli Tesla järele.



J. 727. Impedants.

katse korraldust: induktor, mille poolused Leideni purgi L mõlema kattega ühendatud; F on sädemete kaugus, millega miljonilist vaheldusarvu saadakse; $P'S'$ on transformaator, mille elektroodide platted kõrge vaheldusarvuga välja piiravad.

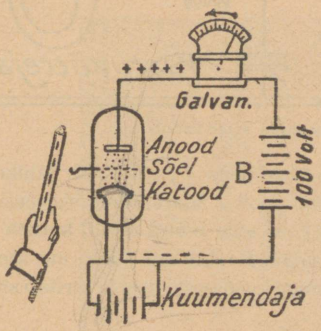
Nimetatud väljas helenduvad elektroodideta Geissleri torud (Tesla valgus).

Impedantsi nähtus. Kiire vaheldusega voolud liiguvad ainult välispinda mööda. Voolu harunemisel on neil selles harus suurem takistus, milles suurem enese-induktsioon L. Lihtne Ohm'i takistus (J. 727) jääb voolu harunemisel

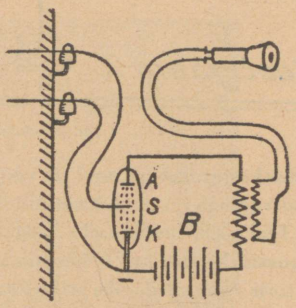
peaaegu soojendamata, kuna induktiivne takistus *ab* väga kuumeneb. Selle tõttu hakkavad hõõglambid katses 727 põlema, vaatamata selle peale, et voolule üle *B* lühem tee oleks.

§ 183. Katoodtoru.

1. Katoodtoru kui voolukatkestaja. Kuumendatakse katoodi (J. 728; seda tehakse eraldi vooluga, mille allik J. 729 ja 730 näida-



J. 728. Katoodtoru.



J. 729.
Katoodtoru tarvitamine telefonis.

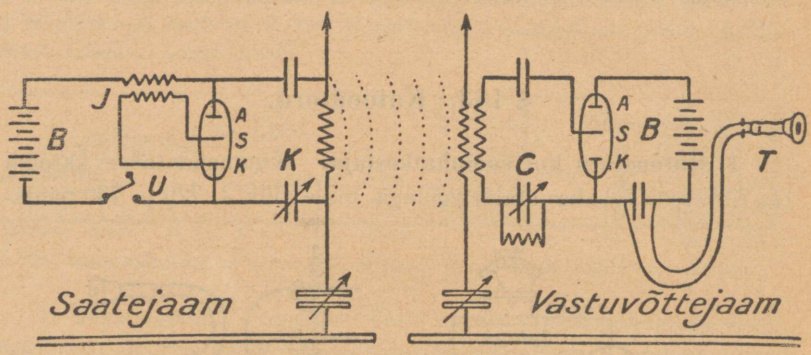
tud ei ole), siis kiirgab temast hulk elektroone; tähendab, torust, milles katood, läheb vool läbi, kui ta patareiga *B* ühendatud. Seatakse anoodi ja katoodi vahele sõel ja laetakse sõels + elektriga, siis tõmbab see elektroone oma poole; laetakse teda aga — elektriga, siis tõukab see elektroonid katoodile tagasi. Esimesel juhusel saab patarei vool tugevamaks, teisel — katkestatud.

2. Tarvitamine: a) **telefoneerimisel kauge maa peale** (J. 729).

On saadav vahelduv vool telefoni ärritamiseks liiga nõrk, siis ühendatakse juhetraadid telefoni asemel sõelaga ja katoodtoru — poolusega, mille läbi olgu kui suure tugevusega tahes patarei *B* voolu kiirelt ühendatakse ja katkestatakse. Katoodi voolu seatakse kas otsekohe, või parem transformaatori läbi telefoni kuuldetoru.

b) **Kohäreri ja detektori asemel.** Antennaga püütakse tulev elektri laine kinni ja juhitakse ta seega indutseeritud vahelduva voolu abil katoodtoru sõelani. Selle läbi hakkab ka katoodtoru patarei vooluring võnkuma; võnkumisi on vooluga ühenduses olevas telefonis kuulda (J. 730).

d) **Traadita telegraafi laintesaatjaks.** J. 730 kujutab isetegutsevat saatejaama.



J. 730. Traadita telefoni sisseseade katoodtorude abil.

Katkestatakse patarei *B* voolu katkestajaga *U*, siis tekib lühike vônk. Patarei vooluga on ühenduses induktsioon-pooli *J* läbi katoodtoru sôela vooluring. Igal sôela laadimisel — elektriga (mis selle juures tekib) **katkeb** patarei vool **uuesti** (ka siis, kui *U* ühendatud); ringis *B* tekib uus vônk; uus arenemine induktoris *J* jne. Sedaviisi jatkub katkemine iseenesest edasi ja ärritab antennad tegevusele.

e) **Interferents-vastuvôtjaks.** Vastuvôtte-jaamas tekitatakse katoodtorus abilained, mis tulevaile laintele vastu saadetakse. Tekivad heljumised, mida telefonis kuulda.

3. Eesomadused. Odavam sisseseade, väike energia kulu; asetab katkestajat, kohäreri ja detektori.

Lisa

Galileo Galilei'ga (sünd. Piisa's 8. veeb. 1564, surn. 8. juunil 1642) algas füüsikas uus füüsikaliste uurimiste ajajärk, mis loodusteaduse uurimistes ainult katsega tõendatud aluseid maksvaks tunnistas. Galilei oli muusikandi poeg ja temast pidi kalevimeister saama; et ta aga ladina koolis hästi õppis, pääsis ta ülikooli. 19 a. üliõpilasena tegi ta füüsikas väga tähtsaks saanud



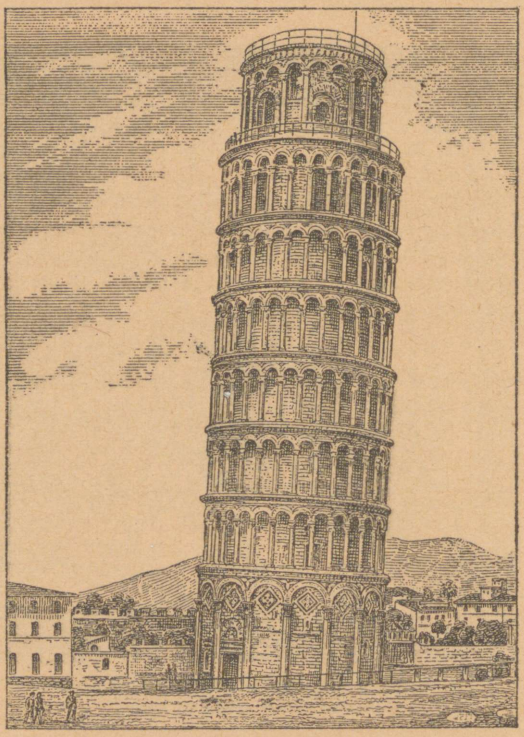
J. 731. Galilei vaatleb lühtrite vônkumist Piisa peakirikus.
(Florentzi's oleva originaali järele.)

vaatluse vônkuvail lühtritel Piisa peakirikus. Sellest selgus talle ajabinõu Aristotelese väite ümberlükkamiseks, mis juba umbes 2000 a. vastuvaidlemata oli püsinud, nimelt kehade vaba langemise kohta (et rasked kehad langevad kiiremini, kui kerged).

Sellega pani Galilei dünaamikale uue aluse. Ülesseades püsivuse printsiibi, oli ta esimene, kes ära tundis jõu tegevuse iseloomu kiirenduses. Ta leidis vaba langemise (katsetega Piisa viltu tornist) ja kaldpinnal langemise (langerenniga) seadused, seadis üles pendli seadused ja lahutas viske liikumise. (Viske seadused andis tema õpilane Torricelli.)

Täheteaduses on tema tähtsus vähem, kuid siiski tähelpanemise väärt: ta oli esimene, kes Hollandi pikksilma taevapoole juhtis, Saturni kuju vaatles, Jupiteri saatjad (ühel ajal Marius'ega) ja päikese plekid (ühel ajal paater **Scheiner'iga**) leidis.

Johannes Kepler (sünd. 27 dets. 1571, Würtemberis) käis vaese poisina kloostri koolis. Tübingeni Ülikoolis tegi aga Kepler täheteaduses nii edukalt tööd, et tema õpetaja Mästlin talle juba 22 aasta vanaduses Grazis professori koha muretses.



J. 732. Viltu torn Piisas, millest Galilei oma kuulsa katse vaba kukkumise üle tegi.

Kepler oli üks kõige suurematest kombinatoorikeridest, s. o. niisugune isik, kes kahe nähtavasti rippumata arvude rea põhjal seadusi leiab. Juba 25 a. vanaduses õnnestas temale leida sidet planeetide ja korrapäraliste kehade vahel, mis ta omas kõikide imestust äratavas töös Prodromus avaldas. Sel ajal arvas rikas ja vaene oma saatust planeetidelt olenevat; sellepärast tegi Kepleri töö suurt kõmu ja soetas temale Galilei ja Praaga kuulsa astronoomi Tycho de Brahe sõpruse. Kepler astus Tycho juure teenistusesse ja asus vai-

mustusega uurima viimase rikast vaatlus-materjali planeetide kohta. Oma kombineerimise ande tõttu õnnestas temale Tycho lõpmata suurest arvude kogust imeselgelt varsti ära näha, et Mars päikese ümber mööda ellipsit liigub. Tiivustatud sarnase tagajärjega, leiab ta 1608 a. oma n. n. mõlemad esimesed Kepleri seadused ja viimaks kõige oma tööde krooniks — 8 märtsil 1618 — kolmandama seaduse (§ 107). Kui suur oli tema rõõm selle üle ja kui sügav oli tema usklik vaim, peegeldub tema sõnades:

„Tänan Sind, Issand ja Looja, et mulle seda rõõmu oma loominguga oled kinkinud."

Peale Tycho surma sai Kepler kuninga-koja täheteadlaseks; kuid ta jäi ikkagi vaeseks, sest et kuningas temale ei maksnud, vaid teda Wallensteini juure juhtis. Et ka see ei maksnud, siis tahtis Kepler riigipäeval Regensburis kaebtust tõsta, kuid suri sinna jõudes nõrkuse kätte, 15 nov. 1630.

Otto von Guericke (sünd. 1602 Magdeburis, surn. 1686) studeeris Leidenis 21 aastaselt matemaatikat ja mehaanikat, reisis Prantsus- ja Inglismaal, elas kaasa 1631 a. oma isamaa purustamise, astus hiljem rootslaste juure teenistusesse kui ülem-insener Erfurti kindluses ja 1646 a. sai Magdeburi bürgermeistriks.

Ta oli üks väljapaistvamaist katsetetegijaist, kes võimalikult suurel viisil katseid korraldada püüdis. Tema leidused on õhupump, vesibaromeeter ja elektrimasin.

Isaac Newton sündis 5 jaan. 1643 Inglismaal, külakeses Woolsthorpe. Koolis oli ta vaikne poiss ja ei paistnud kaua aega sugugi silma. Kui aga ühe eelpool istuja kaasõpilase pilkav märkus teme auahnuse äratas, oli Newton peagi esimene õpilane koolis. Ta ei võtnud osa oma kaaslaste lõbusatest mängudest, vaid ehitas parema meelega väikesi tuule- ja vesiveskid, päikese kellasid ja m. 18 aastaselt astus Cambridge'i Ülikooli ja õppis nii suure eduga, et juba 1669 a. ülikooli professoriks sai, kui tema õpetaja professor Barrow, soovides oma viimsed elupäevad teoloogiale pühendada, ametist lahkus.

Newtonil oli täielikult väljakujunenud matemaatika talent ja peale selle väga terav vaatluse anne. Juba üliõpilasena leidis ta differentsiaal- ja integraalarvamise, mis teda jäädavalt kuulsaks tegi. Sellele järgnes dispersiooni (§ 164) leidus, mis tolleaegse valguse õpetuse hiigla sammu edasi viis. Newtoni suuremaks leiduseks aga on gravitatsiooni leidmine, millega ta taevakehade mehaanikale aluse pani (§ 107).

Loomupoolest oli ta tagasihoidlik, kannatlik ja jumalakartlik inimene. Kaaselanikkude ja valitsuse poolt oli ta väga lugupeetud. Valitsus andis temale rahapajas ameti ja 30000 Mk. palka, et ta oma uurimise katseid mureta võiks korraldada. Newton suri 20 märtsil 1726 a. poismehena. Teda iseloomustavad tema enese järgmised sõnad:

„Ma ei tea, mis ilm minust arvab, aga enesele kujutan ennast kui poisikest, kes mererannal mängib ja rôômu tunneb, kui vahest siit vôi sealt mône sileda kivi vôi ilusa teokarbi leiab, kuna terve ookean tôtt uurimata tema ees seisab!"

Georg Simon Ohm (sünd. 16 märtsil 1787, Erlangenis, surn. 7 juulil 1854, Münchenis) oli lukksepa poeg ja temast pidi ka lukksepp saama. Kuid poja silmatorkava matemaatika annete tôttu pani isa ta studeerima. Et aga Ohm oma ülespidamise eest varakult hoolt pidi kandma, siis jättis ta ülikooli ja oli matemaatika ôpetajaks Schveitsis, Hamburis, Kölnis ja Berliinis. Kölnis tuli temal tähtis môte uurida Galvani-voolu tegevuse suuruse olenevust voolu allika omadustest ja juhtide môôtudest. Selle uurimise tagajärjed olid hiilgavad, olgugi et ta selleks hoopis lihtsaid aparaate tarvitada vôis (selles aitasid talle kaasa nooruses omatud kogemused mehaanikas).

Ohmi tööde tähtsust ei tunnistatud peaaegu 10 aastat; alles siis, kui inglased temala kôrgema teaduslise autähe (Copley-Medaille) annetasid, hakkati teda ka sisemaal tähele panema ja austama. (Baieri kuningas Max II. kutsus ta professoriks Nürnbergi politehnikumi, pärast Müncheni Ülikooli.) Nagu tema el. tööde tagajärgi, tabas pahatahtlik saatus ka tema väga tähtsaid uurimisi helide värvi üle, mis nüüd Helmholtz'i tööks loetakse.

Michael Faraday (sünd. 22 sept. 1791, surn. 25 aug. 1867, Londonis) oli sepa poeg ja pidi raamatupoodikijaks saama. Oma ôppimise ajal luges ta suure huviga füüsikalist ja keemilist kirjandust ja kui ta 1812 a. kuulsa keemikeri Davy môned loengud oli kuulanud, sai ta palavamaks sooviks ise ka keemikeriks hakata. Ta vahetas oma elukutse ja astus 1813 a. Davy juure laborandiks.

Katsete korraldamises näitas ta suurt osavust ja jôudis selles omast ôpetajast varsti ette. Peale vedela kloori leidmise muutus tema vahekord Davy'ga pônevaks, sest et viimane leidust omaks tahtis pidada. 1827 a. sai Faraday professoriks ja Davy järeltulijaks.

Faraday on elektri ôpetuses uue haru ülesleidja — induktsioon-elektri (§ 72), ja loetakse sellepärast praegusel ajal suuresti väljaarenenud elektrotehnika isaks. Tema pea tähtsus füüsikas seisab aga selles, et ta püüdis tôendada geniaalset môtet: „ei vôi olla kaugele ulatavat jôutegevust ilma vaheaine kaasabita." Selle môtte tôendus ônnestas temale hiilgavalt magnetismis ja staatilises elektris. (Jôujoonte teooria.) (Raskuse suhtes puudub tôendus veel tänapäevani.)

Robert Mayer (sünd. 25 nov. 1814, surn. 20. märtsil 1878 Heilbronnis) oli apteekri poeg. Ôppis arstiteadust Tübingenis, Münchenis ja Viinis ja astus siis isa soovil, kes pojale laiemat ilma näidata soovis, Hollandi laeva arstiks.

Niimoodi sattus ta Jaava saarele ja tegi siin selle tähtsa vaatluse, mis tema kuulsusele lähtepunktiks sai ja füüsikale hiilgavaks saavutuseks oli. Ta pani tähele nimelt seda, et tõmbsoonte veri soojal maadel heledamat värvi on ja tuli sellega mõtte peale, et inimese keha jaoks tarvitatud toiduainete ja saadud soojuse vahel kindel side peab olema.

Selle geniaalse mõtte põhjal õnnestas temale eeskujulikul arvutamisel n. n. soojuse mehaanilise äkvivalendi suuruse määramine. Ühes sellega andis ta ka õige seletuse mõistele „jõud" (= energia) ja rikastas füüsikat tervel ulatusel põhjapaneva tõega, energia alalhoiu ja selle kujude moondumise väitega.

Robert Mayer oli terava mõistusega inimene, kannatliku ja sügava uskliku vaimuga, kes oma leiduste tõttu enne palju rahutusi kannatas, kunni tema töid 1860 tunnistati ja kogu ilma austus talle osaks sai.

Hermann v. Helmholtz (sünd. 31 aug. 1821 Potsdamis), üks esimestest looduse uurijatest, oli gümnaasiumi õpetaja poeg ja ilmutas varakult oma haruldast vaatlusannet. Enne ülikooli astumist ostis ta kokkuhoitud kopikatega mikroskoobi (mis tol ajal kallis ja väärtusline instrument oli), et praktiliselt töötada, ja tegi sellega oma esimesed leidused (erkude ja käärimise üle).

Helmholtzi matemaatika anne paistis silma, nagu Newton'ilgi, kellega ta vaimliselt sarnane. Vabal tundidel omas ta matemaatika tähtsamad ja raskemad osad (distsipliinid) ja oli neis sedavõrd tugev, et käsitas füüsikalisi küsimusi sarnase geniaalsusega, nagu ei keegi teine pärast teda. Juba varakult tekkis temas mõte, et kogu ilma energia summa peab muutmata olema. Seda mõtet kinnitas ta põhjalikult, raudse kannatusega otsides tõendusi kõigist sel ajal olevatest füüsikalistest, keemilistest ja füsioloogilistest nähtustest. Oma vaatluse tagajärjed avaldas ta 1847 a., noore sõjaväearstina Potsdamis, üleüldist tähelepanu äratavas töös „Jõu alalhoidmisest". Sellega oli alus pandud tema jäädavale kuulsusele. Järgmisel aastal lubas Preisi valitsus talle arsti kutsest loobuda ja temale avanes võimalus ennast pühendada suurtele küsimustele, mis ta vaimu kütkestasid. Ta oli Kunsti-Akadeemia õpetajaks Berliinis (1848) ja 1849 a. saadik füsioloogia professoriks alguses Königsberis (kus ta silmapeegli leidis, mille leidmine silma arstimises pöörde tekitas), siis Bonnis ja Heidelberis. 1871 a. sai ta oma õpetaja Magnuse järeltulijaks füüsika õpetoolil Berliinis.

Füsioloogiale ja füüsikale olid tema tööd „Helitunnete õpetus" ja „Füsioloogilise optika käsiraamat" otse „jalust rabavad". Faraday-Maxwelli vaateid elektri nähtuste kohta, millele tema anderikas õpilane Heinrich Herz, kes kahjuks vara suri, lõpuliku otsuse andis, toetas Helmholtz ihu ja hingega ja tõstis nad sellele kõrgusele, mis neil praegu on.

Keerutiste teoorias pani ta aluse isesuguste nähtuste seletuseks vee ja õhu liikumisel, millega ta ka ilmateaduses tähtsaks sai. Suure tähtsusega on ka tema **avalikud loengud**, mis üldist teaduslist iseloomu kannavad.

Kogu maailma õpetlaste poolt austatud suri Helmholtz 8. sept. 1894 a. Charlottenburis.

Aja-tabel.

Aristoteles 333 a. en. Kr. Filosoof.	**Arhimedes 222 a. en. Kr.** Altrôhk. Kang.

	Galilei 1600 Langemise seadused. Püsivus.		
Torricelli 1643 Baromeeter.	Guericke 1638 Ôhupump.	Kepler 1618 Planeet. seadus.	Pat. Scheiner 1610 Päikese plekid.
	Newton 1670 Dispersioon. Gravitatsioon.	**Huygens 1680** Pendlikell. Valgus.	
Römer 1670 Valguse kiirus.	Fahrenheit 1720 Termomeeter.	Gay-Lussac 1800 Gaasi ruumala.	Mariotte 1680 Gaasi rôhk.

	Galvani 1780 Konnajala katse.	**Volta 1790** Kontakt-elekter.	
Coulomb 1790 Tômme.	Ampère 1802 Voolu magnetiline tegevus.	Oersted 1820	Weber 1834 Telegraaf.
	Faraday 1830 Induktsioon.	**Ohm 1826** Voolu tugevus.	

Rob. Mayer 1842 Soojuse äkvivalent. Päikese soojus.	**Helmholtz 1847** Kogu-energia. Silmapeegel. Kuulmine. Nägemine. Keerutised.	**Joule 1843** Soojuse äkvivalent. Voolu energia.
Clausius 1857 Kineet. gaasi teooria.	**Hertz 1890** Elektri vônkumised.	**Curie 1898** Raadium.

Tähtsamad nimed.

Heron 111 a. en. Kr. Heroni pudel.
James Watt 1765. Aurumasin.
Fulton 1807. Aurulaev.
Stephenson 1829. Lokomotiiv.
Otto 1865. Gaasimootor.
Daimler 1883. Bensiinimootor.
Diesel 1892. Ôlimootor.
Richer 1672. Raskuse muutumine.
Fraunhofer 1814. Neelumisjooned.
Kirchhoff, Bunsen 1860. Spektraalanalüüs.
Foucault 1852. Pendlikatse.
Maxwell 1865. El. magn. valguse teooria.
Reis 1861. Telefon.

Register.

Aatomi ehitus 346.
Abbe 3.
α, β, γ-kiired 347.
aberratsioon 284. 317.
absoluut-mõõdustik 150.
— -null 27.
absorptsioon 344.
adhasioon 2.
akkomodatsioon 324.
akkumulaator 99. 117.
akromaatiline läätsapaar 317.
— prisma 316.
alhidade 290.
Alkhazini 226.
Alluard 57.
altrõhk 222. 250.
Ampère 92. 104. 113. 360.
Ampère'i aparaat 112.
— magneti teooria 112.
— seadus 112.
— ujuja seadus 100.
— voolud 112.
— üksus 115. 133.
amperkeerud 106.
ampermeeter 103. 105. 129. 132.
analüsaator 339.
Andrews 49.
anemomeeter 60.
aneroid 240.
angumine 37.
angumispunkt 37.
anioon 113.
ankur 65. 111. 144.
anood 86. 113.
— kiired 345.
Anschütz 321.
antenna 350.
antipassaat 59.
antisükloon 58.
anumad ühendatud 12. 222.
apertur 292.
aplanaadid 317.
aprus 215.
Arago 268.
— katse 140.
Arhimeedes 174. 177. 360.
Arhimeedes'e kruvi 245.
— printsiip 223. 250.
Aristoteles 360.
Arrhenius 113.
arteesia kaev 233.
aräomeeter 229.
asetakistus 130.
aspiraator 54.
astaatiline nõeltepaar 101.
astigmatism 317.
astmik 96.
aterm 343.
atmosfäär 10. 11. 239.
atmosfääri-masin 48.
aur 43.
auramine 41.
auramis-soojus 40.
aurubaromeeter 39. 42.
aurujaotaja 44.
aurumasin 43.
Avogadro 238.

barograaf 241.
baromeetrid 11. 239. 240. 241. 247.
baromeetriline maksimum ja miinimum 58.
Beaufort 60.
Becquerel 347.
Bell 143.
biffilaarsed 72.
binokl 331.
Biot 103
— *-Savart*'i seadus 103.
Bologna klaas 215.
boora 59.
Boyle 15. 28.
— *-Mariotte*'i seadus 14. 238
— *-Mariotte-Gay-Lussac*'i seadus 28. 42.
Bradley 284.
Brahma 349.
Branly 349.
Braun'i elektromeeter 80.
Brewster 340.
briis 59.
Browning 317.
Bunsen 233. 250. 288. 315. 360.
Bunsen'i element 99. 119.
— lamp 34. 313.
Bourdon 240.
bussool 62.
Buys-Ballot'i seadus 58.

Cagniard de Latour 270.
Calzechi 349.
camera obscura 283.
Campani 331.
Cardan 62.
Cavendish 200.
Charles 251.
Chladni helikujundid 274.
Celsius 6. 19. 27.
C-G-S süsteem 150.
Clausius 18 113. 238. 360.
Clement ja *Desormes*'i katse 254.
Colladon 268.
compoundmasin 46.
Cornu 285.
Corti 280.
Coulomb'i seadus 63. 75. 360.
Coulomb (üksus) 92.
Crookes'i toru 345.
Cunäus 89.
Curie 347. 360.

Daguerre 322.
Daimler 360.
Dalton'i seadus 254.
Daniell 55. 119.
dasymeeter 249.
Davy 51. 135. 358.
deklinatsioon 69.
Deprez d'Arsonval 111.
depressioon 58.
Descartes 320.
destillatsioon 40.
detektor 350.
Dewar 50. 51.
diamagnetiline 68.
diaterm 52. 343.
dielektrikum 87.
dielektriline jäädav 87.
Diesel 360.
differents-toon 278.
diffraktsioon 336.
— -võre 338.
diffusioon 232. 253.
dioptrid 325.
dispersioon 311. 316.
Doppler'i printsiip 279.
Draper 344.
dünamomasin 144. 145. 147.
dünamomeeter 14.
düün 62. 156.

Ebert 348.
Edison 134. 146. 280.
eeter (maailma) 52.
effekt 17. 237.
ekspansioon 2.
— -masin 47.
ekstravool 140.
ekstsentrik 45.
elastsus 13 213. 214.
elavhõbe-pump 250.
elav jõud 159.
elekter 72.
— kokkupuutumise 96.
— seotud ja vaba 81.
elektri asupaik 76.
— dünamomeeter 112.
— energia 92.
— hulga üksus 75.
— kaalud 75
— kell 106. 141.
— mahutavus 79.
— masin 83.
— mootor 110.
— pendel 72.
— pinge 77.
— potentsiaal 79. 90.
— soojendaja 136.
— sulatamis-ahi 136.
— tihedus 76.
— tuul 77.
— tõõ 92.
elektrofoor 82.
elektrokeemiline äkvivalent 115.
elektrolüüs 113. 114.
elektrolüüt 113.
elektromagnet 105.
elektromeeter 78. 95.
elektromotoorne jõud 95.
elektroodid 113.

elektroonid 345. 346. 348-
elektroskoop 73. 95.
elemendid 98. 114. 119. 120.
elementide ühendamine 126.
elimineerima 167.
Elmi tuled 93.
elongatsioon 255.
emanatsioon 348.
energia 133. 160. 161.
— kineetiline 159.
— potentsiaalne 92. 160.
eneseinduktsioon 140.
erg 90.
erikaal 8. 227.
erisoojus 31. 33.
Erlemann 95.
experimentum crucis 312.

Fahrenheit 19. 360.
farad 79.
Faraday 67. 76. 78. 87. 91. 94 138. 357. 360.
— peeker 78.
— puur 76.
— pöidlaseadus 100.
— seadused 115.
faradiseerimine 143.
Fata Morgana 302.
Faure 118.
Feddersen 348. 349. 352.
Fessel'i aparaat 198.
Fizeau 285.
flageolethelid 275.
Flavio Gioja 62.
Flemming 110.
fluoraatom 346.
fluorestsents 319.
fonograaf 280.
fookus 293. 307.
Fortin 240.
fosforestsents 319.
fotomeetrid 287.
Foucault 140. 285. 299. 360.
Foucault'i pendlikatse 198.
— voolud 140. 143.
Franklin 77. 87. 93. 94.
Franklin'i ratas 77.
— tahvel 87.
Fraunhofer 314. 360.
Fraunhofer'i jooned 314. 316. 318. 335. 338.
frekvents 147. 351.
Fresnel 333. 339. 341.
Fresnel'i peegli katse 335.
Fulton 48. 360.
föön 59.
füüsika 8.

gaasid 238.
gaaside vedeldamine 49.
gaasimootor 47.
gaasirõhk 238.
Gaede pump 250.
Galilei 4. 18. 154. 171. 206. 330. 355. 360.
Galvani 98. 360.
Galvani-elemendid 98.
galvanism 95.
Galvani vool 99.
galvanomeetrid 101. 104. 111.
galvanoplastika 114.
galvanosteegia 114.
gasomeeter 242.
Gay-Lussac'i seadus 27. 28. 43. 360.
Geissler'i torud 86. 250. 313. 344. 348. 351. 352.
geoid 201.
Gilbert 68.
Goldstein 343.
gradient 58.
gramm 6.
Gramme'i rõngas 110. 145.
— mootor 149.
gramm-massi kaal 157.
gravitatsioon 200. 201.
Green 251.
Grenet-element 98.
Guericke 83. 241. 246. 249. 357. 360.
Guldini seadus 188.
Göbel 134.

hajumine 311.
hajumispunkt 296. 305.
Hampson 50.
harjad 110.
Hartl'i karp 221.
Hefner 286.
Hefner-Alteneck 111. 135.
Hefner-Alteneck'i ankur 111.
— differentsiaallamp 135.
heli 269.
heliallikad 273.
helikõrgus 270.
heliredel 271.
— tempereeritud 272.
heliumaatom 347.
helivärv 273.
heljumised 278.
Helmholtz 94. 161. 277. 278. 280. 357. 359. 360.
Heron'i kaev, pudel 245. 360.
Hertz 349. 352. 360.
Hittorf'i torud 344.
hobujõud 17.
Hoffmann 317.
Holtz 85.
hoog 159.
Hooke'i seadus 13. 213.
hooratas 45. 151. 153.
Hughes 109. 143.
Humbold 268.
Huygens 207. 331. 333. 337. 360.
Huygens'i printsiip 265. 336.
härmatis 56.
hääl 267. 269. 278.
häälehark 274.
hõrendus 247. 250.
hõõglamp 134.
hõõrumine 16. 35. 74. 168. 234.
hüdrauline press 218.
hüdrostaatiline paradoks 220.
hügromeetrid 55.

ident 343.
ilma ettekuulutamine 58.
ilma-kaart 57.
ilmastik 59.
imaginaar 296.
impedants 352.
impuls 209.
indifferent 189.
induktor 140. 141. 351.
induktsioon 138.
inertsus 151.
influents-masin 84.
infrapunased kiired 318.
inklinaator 70.
inklinatsioon 70.
interferents 260. 262. 334.
intervall 270.
ioon 113.
isetekitamise printsiip 145.
isobaarid 57.
isogoonid 69.
isohimeenid 54.
isokliinid 70.
isolaator 74.
isoteerid 54.
isotermid 54.

jagatavus 1.
Jansen 327.
joonpaisumine 23.
Joule 35. 36. 132. 161. 360.
Joule (üksus) 91.
Joule'i soojus 132.
juhid 74.
juhtivus 121.
järjekorra-arv 346.
jääkalorimeeter 33.
jäämasin 41.
jõud 151. 156. 162. 163. 164. 166. 174. 213.
jõudude parallelogramm 163.
jõu-jooned 63. 65.
jõu-paar 175. 212.
jõu-toru 67.
jõu õla 173.

kaabel 109.
kaal 6. 7. 201. 250.
kaalud 8. 13. 62. 190. 192. 200. 228. 229. 222.
kaanal-kiired 345.
kaartuli 135.
kahefaasiline vool 148.
kaitsekork 134.
kaitseventiil 178.
kaja 269.
kaksikpendel 73.
kaksimurdumine 340.
kaldpind 169. 171.
kaldumine 300. 303. 304.
kaleidoskoop 292.
kalle 70.
kalmid 59.
kalorimeeter 32. 33.
kaloor 31.
kammerton 270.
kandejõud 232.
kang 174. 176, 178.
kangastus 302.
kann 132.
kannukang 44. 45.
kapatsiteet 79.
kapillaarsus 231. 232.
karteesiuse tuuker 218.
kaskaad-patarei 89.
kaste 6.
— -punkt 55.
katakaustika 294.
katioon 113.
katkestaja 100.
katood 86. 113.
— -kiired 345.
— toru 350. 353.
keemia 3.
keemispunkt 38. 39.
keha olekud 49.
kell 207.
kelmed 335.
Kepler 4. 200. 328. 356. 360.
Kepler'i seadused 200.

keri 181.
keskliikumine 199.
kesktõmbejõud 194.
kesktõukejõud 194.
kiiker 331.
kiil 172.
kiirendus 152. 154.
kiirgamine 52. 344.
kiirus 150. 152.
kindel seis 189.
kineetiline gaaside teooria 238.
kinematograaf 321.
Kirchhoff 129. 314. 344. 360.
Kirchhoff'i seadus 129.
kitsa prisma lause 304.
k-jooned 347.
Kleist 89.
klemmide pinge 128.
koertsitiiv-jõud 64.
koguilmline tõmbejõud 200.
kohanemine 324.
Kohlrausch 103. 133.
kohärer 349.
kohäsioon 2.
kollektor 86. 110. 144.
kollimaator 315.
kolmkõla 273.
kommutaator 105.
kompass 62.
kompensatsioon-pendel 24.
komplementäär-värvid 312.
komponent 163.
kompressor 50. 249.
kondensaator 85. 87. 95.
kondensatsioon 40.
konduktor 73.
konkaav 292. 305.
konsonants 273.
konveks 292. 305.
koonuspendel 195.
kooshoid 2.
Korn 124.
kruvi 183. 184.
kujutis 290. 292.
kujutise ehitus 294. 297. 307.
— suurus 295.
kumer-peegel 296.
Kundt'i katse 268.
kuulmise teooria 280.
käiguvahe 261.
kõrgevee aeg 202.
kõrguse mõõtmine 241.
kõrv 280.
kõrvalharu 130.
kõvadus 215.
külgehakkamine 2.
küljerõhk 221.
küllastatud aur 42.
külmetis-segud 38.

labil 189.
lahutaja 88.
lained 255. 256. 257. 259. 349.
— seisvad 262. 264. 268. 351.
lainepikkus 268. 334.
lainte tabel 352.
lamellid 110. 144.
Lane 89. 347.
— mõõdupurk 89.
langemasin 153.
Langen 47.
langerenn 170.
langetoru 155.
laterna magica 320.
Lebedev 352.
Lecher 351.
Leclanché 98. 120.
leek 35.
leek-kaar 142.
Leibnitz 159.
Leidenfrost'i katse 51.
Leideni purk 78. 84. 85. 87. 348. 351.
lennukaugus 168.
lennumasin 253.
Lenz'i seadus 138. 141. 143.
Lichtenberg 72.
liikumine 150. 152. 153. 155. 167. 194. 203.
liikumise energia 158. 208.
— hulk 209.
Linde 50.
Lipershey 330.
Lissajous kujundid 262.
Litzendorf 83.
Lodge'i katse 351.
longitudinaal-laine 256. 259.
lood 7.
lumen 286.
luminestsents 319.
luup 309. 326.
läbipaistvus 282.
läbitungimatus 1.
läätsad 305.
läätsapaar 310.
läätsa valem 306.
Lüdtge 143.

maakera induktsion 140.
— kiirendus 154. 203. 207.
— magnetismi elemendid 70.
— potentsiaal 91.
— temperatuur 22.
— tihedus 201.
— voolud 113.
Mach'i laintemasin 257.
Magdeburi poolkerad 448.
magnet 61. 65. 144.
magneti ekvaator 70.
— jagamine 63.
— meridiaan 69.
magnetiseerimine 64.
magneti spektrum 65.
— tormid 71.
— väli 65.
magnet-kaalud 62.
magnetomeeter 71.
Malus'i katse 340.
mammutpump 245.
manomeetrid 13. 14. 77. 242.
Marconi 349.
Mariotte 14. 28. 360.
— pudel 243.
— seadus 14. 43. 48. 238. 242.
— täpp 323.
Marius 356.
mass 6.
Maxwell 360.
Mager, R. 35. 36. 47. 161. 162. 360.
meeter 4.
meeterkilogramm 16. 90.
meeterküünal 287.
mehaanika kuld-seadus 177.
Melde häälehargi katse 264.
Melloni 343.
membraanid 274.
metatsentrum 226.
Michelson 286.
mikrofarad 79.
mikrofon 143.
mikroskoop 327.
Mithof 55.
Mohr'i kaalud 229.
Mohs'i skaala 215.
molekulaar-kaal 238.
— -magnetid 63.
moleküül 1.
monohord 275.
monsuun 59.
Montgolfier 251.
Morse 107.
— tähestik 108.
Moselay 347.
multiplikaator 101.
murdumine 266. 298. 300.
murdumise näitaja 298. 299. 316.
mõju-elekter 80.
mõju-magnetism 64.
mõõn 162. 202.
Mühlenbein 112.
müristamine 93.

natriumi-joone ümberpööramine 315.
Neef 107.
neelumise seadus 314.
Newcomen 48.
Newton 7. 151. 163. 167. 200. 262. 311. 331. 333. 357. 359. 360.
Newton'i värvirõngad 336.
Nicholsoni aräometer 228.
Nicol'i prisma 342.
niiskus, absoluutne 54.
— relatiivne 55.
niveleerimine 222.
nivelliir 329.
Nobili 101.
noonius 5.
normaal-küünal 286.
— -tingimised 29.
nurga-kiirus 193
nurkpeegel 291.
nutatsioon 198.
nägemata valgus 343.
nägemise väli 329.
nähtus 3.
näilik 296.
näilikud asjad 309.
nõguspeegel 293.
nõia-latern 320.
Nörremberg'i aparaat 340.
Nuñez 5.

obertoon 272.
objektiiv 327.
Odstrčil'i pendel 76. 205.
Ohm 334. 352. 358. 360.
Ohm (üksus) 121.
Ohm'i seadus 124. 128.
okulaar 327.
oleku võrrand 29. 239.
optiline keskpunkt 308.
— telg 294. 305. 341.
optilised pettumused 326.
ora tegevus 77. 82.
osmootiline rõhk 254.
osmos 232. 254.
ostsillaator 350
ostsillatsioon 348.
Otto 47. 360.

pahema käe seadus 110.
paindumine 336.
pais 262. 351.
paisumata ruumala 24.
paisumine 18. 25.
Papin'i katel 20. 38 42 48. 54.
paramagnetiline 68.
parema käe seadus 138.
Parseval 253.
Pascal'i seadus 220.
passaat 54.
patarei 89.
pealõige 341.
peegeldus 264. 265. 269. 289. 291. 301. 302.
peeglid 290. 291. 293. 296.
peeglikiri 291.
Peltier effekt 137.
pendel 24. 76. 171. 206.
— ballistiline 211.
— füüsiline 211.
— horisontaalne 200.
— matemaatiline 204.
pendlikell 207.
pendli seadused 205.
periood 148.
permanent 49. 145.
permeabiliteet 68. 106.
pidurpael 236.
piesomeeter 217.
piirav-jõud 64.
piirnurk 301.
pikenemine 23. 314.
pikksilmad 328. 329. 330.
piksevarras 94.
pillikeel 275.
pilved 56.
pingekaotus 128.
pingevahe 78. 95. 96.
pinna lause 199.
— -pinge 230.
Plante 118.
plastilised kehad 215.
Plateau katse 230.
plokid 181. 182.
pneumaatiline vann 7. 30.
Poggendorff 101. 198.
Poinsot 212.
Poisson'i seadus 48.
polarisaator 339.
polarisatsioon 338.
— -vool 117.
poolused 61. 62. 67.
Porta 61.
potentsiaal 67. 91. 92. 99.
Prevost 344.
prillid 324.
prisma 303. 317.
projektsioon-aparaat 320.
propeller 252.
prätsessioon 197. 198.
pulverisaator 254.
pumbad 244. 246. 249. 250.
päevapildi-aparaat 321.
päevapildistus 318. 322.
päike 34. 52. 53.
pöidla seadus 100.
pöör 179.
pöörde-moment 173.
põhitoon 271.
põhja rõhk 219.
põhjavalgus 93. 348.
põlemine 34.
põrge 209. 210.
püknomeeter 229.
pürheliomeeter 34.
püsivus 151.
püsivuse moment 208.

Quincke katse 278.

raadium 347. 348.
radioaktiivsed kehad 347.
radiomeeter 344.
Ramsay 348.
raskusjoon 185.
raskusjõud 7.
raskuspunkt 185. 209.
rataste ühendus 180.
Réaumur 19.
Recknagel'i nõu 217.
refleksioon 264. 289.
reflektor 294. 332.
refraktor 332.
regelatsioon 36.
regulaator 45.
Reis 143. 360.
reiter 62. 191.
relais 108.
reohord 123.
reostaadid 121.
resonaator 277.
resonants 277. 350.
resultant 163.
retseptor 343.
retsipient 49. 246.
Richarz 200.
Richer 206. 360.
Richmann 32. 34.
Rinaldini 18.
ringvool 102.
Ritchie 287.
Ritz 218.
Robert'i kausik rist 60.
Roget'i spiraal 112.
Ross 68.
Rumford 35. 288.
rusika seadus 102.
rüümi tarvitamine 1.
rääkimise orgaan 279.
rõhumine adiabaatiline 48.
— kriitiline 49.
rõhumise vastupidavus 215.
Römer 360.
Röntgen'i kiired 346. 347.
Rühmkorff 141.

Sademed 56.
Saussure 55.
Savart 103.
Scheiner 360.
Schyrl 329.
Schweigger 101.
Seebeck 136. 270.
Segner'i ratas 235.
sekstant 290.
sekund 6.
seleen 124.
shunt 130.
Siemens, W. 111. 145. 162.
sifoon 243.
silm 322.
sireen 270.
Six-termomeeter 21.
skioptikoon 320.
Snellius 298.
solenoid 103.
soojuse allikad 34.
— hulk 32.
— juhtivus 50.
soojuse kiirgamine 343.
— liikuv tasakaal 344.
— mehaaniline äkvivalent 35.
— voolud 52.
sootroop 321.
Sorge 378.
spektraal-analüüs 315.
— aparaat 315.
spektrum 311.
spektrumite liigid 313.
stabil 189.
Steinheil 107. 108.
Stephenson 44. 46. 48. 360.
stereoskoop 325.
Stevin 163. 223.
Strehl 268.
stroboskoop 321.
Stöhrer'i aparaat 342.
Sturm 268.
sulamis-punkt 36.
— soojus 37.
surnud punktid 45.
suruvus 49.
suurendus 295. 318. 327. 328.
suurendusklaas 308. 326.
säde 85.
sädetelegraaf 349.
Sömmering 107.
sõlm 260. 351.
Symmer 80.

tagasirõhk 234.
takistus 121. 122. 123. 135. 136. 352.
Talbot 322.
talv 172.
tasakaal 188.
Taylor 275.
tehniline massi üksus 157.
telefon 143. 350.
telegraaf 107. 349.
teleskoop 331.
temperatuur 18. 22. 51.
— absoluutne 27.
— kriitiline 49.
— süütamise 35.
teodoliit 328.
terendus 301.
termoelekter 136. 137.
termograaf 21.
termomeetrid 19. 21. 30.
termoskoop 18.
Tesla 352.
— valgus 352.
— voolud 352.
Thomson 2.
tihedus 9.
tihendaja 86.
tiirlemine 193.
toon 270.
tornados 60.
Torricelli 11. 241. 355. 360.
— lause 232.
torsioon 213.
torupost 246.
traadita telefon 350.
— telegraaf 349.
transformaator 148. 351.
transversaalsed lained 257.
tsentrifugaal-jõud 193.
tsentrifuug-masin 196.
— -pump 196.
tsentripetaal-jõud 193.
tsükloon 58.
tulekahjuprits 246.

tulijoon 294.
tulipunkt 293.
tuliraud 35.
turbiin 236.
tuuled 58. 59. 60. 211.
tuulte-roos 62.
täiendavad värvid 312.
Töpler 84.
töö 159.
tõkkeklapp 46.
tõmbe tugevus 215.
tõstekraan 178.
tõstetoru 243.
tõus 162. 202.
tõusujõud 251.
tühjendamine 88. 93. 344.
Tycho de Brahe 356.
Tyndall 282.

udu 56.
ujumine 225.
ujumise telg 226.
ultraviolett kiired 318.
umformer 148.
urbsus 7.

vaakuummeeter 242.
vaatenurk 323. 326.
vaba langemine 154. 155. 234.
— telg 197.
vahelduv vool 143. 147.
valgus 282. 333. 339.
valguse hajunemine 290.
— kiirus 284. 286.
— moondumised 318.
— tugevus 286.
valgustus 287.
Van der Waals 27.
Van d'Hoff 254.
vanikud 320. 338.
vari 283.
vastaspunktid 308.
vastukõla 269.
vedelikud 217.
vedruvus 213.
vee lahutamine 113.
vee lained 258.
veevoolu lõõts 233.
venivus 13. 214.
vesiarv 32.
vesilood 8.
vesioinas 236.
vesipress 218.
vesipüks 60.
vesirattad 235.
vesiõhupump 233. 250.
videvik 290.
Vidi 240.
vihm 56.
vikerkaar 319. 320. 338.
viled 275.
vinn 179.
virtuelle 296.
viske 167.
— seadused 168.
Volt 77. 125.
Volta 82. 95. 96. 98. 360.
— element 95. 96. 119.
— sammas 97.
voltameetrid 116.
voltmeeter 106. 128. 129.
vool 100. 102. 103. 116. 133.
vurrkann 197.
välk 93.
värten 262.
värv 318.
väärisus 115.
võimsus 17. 46. 47. 133. 236.
võnkkang 44. 45.
võnkumise keskpunkt 207.
Wagner'i haamer 107. 142.
Watt 36. 45. 48.
— (üksus) 91. 92. 133.
Weber 104. 107. 133. 258. 360.
Wehnelt'i katkestaja 142.
Weierstrass 299.
Wheatstone'i sild 130.
Wilcke 82.
Wimshurst'i masin 85.
Wood'i sulatis 38.

äike 93.
äkvivalent 35. 115.
äratöötanud aur 46.

Örstedt 100. 360.

õhktermomeeter 30.
õhu elekter 93.
õhulaev 252.
õhulained 267.
õhupall 251.
õhupump 246. 250.
õhurõhk 10. 57.

ühendus-kaal 115.
ülejahendamine 36.
ülekuumendatud aur 42.
ülevooluklaas 7.
ümberpöörav lääts 329.

Zamboni sammas 98.
Zeppelin 252.

A
34 520
89 420