

# WÖRTERBUCH DER PHYSIK

VON

FELIX AUERBACH

MIT 267 FIGUREN



**BERLIN UND LEIPZIG 1920**  
**VEREINIGUNG WISSENSCHAFTLICHER VERLEGER**  
**WALTER DE GRUYTER & CO.**

**VORMALS G. J. GÜSCHEN'SCHE VERLAGSHANDLUNG :: J. GUTTENTAG, VERLAGS-  
BUCHHANDLUNG :: GEORG REIMER :: KARL J. TRÜBNER :: VEIT & COMP.**

**Alle Rechte, einschließlich des Übersetzungsrechts, vorbehalten.**

**Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.**

## Vorwort.

Ein handliches Wörterbuch der Physik ist seit einem Menschenalter nicht erschienen; das letzte war das damals gewiß vortreffliche, aber ganz volkstümlich gehaltene und inzwischen natürlich durchaus veraltete Buch von Lommel. Ich bin daher der Aufforderung, die von seiten der Verlagsbuchhandlung in dieser Richtung an mich erging, gern nachgekommen und habe mich mit ihr auf einen Umfang geeinigt, der, bei aller Handlichkeit, es doch ermöglicht, alles zu bringen, was man billigerweise von einem derartigen Werke verlangen darf. Dabei wurde in erster Linie der Charakter als Wörterbuch berücksichtigt, d. h. es sind möglichst viele (mehrere tausend) Stichwörter aufgenommen. Um aber unnötige Wiederholungen zu vermeiden, ist eine Unterscheidung gemacht worden zwischen Hauptartikeln (357), in denen die betreffende Materie im Zusammenhange dargestellt ist, und Verweisungsartikeln, in denen meist lediglich angegeben ist, in welchen Hauptartikeln sie vorkommen; jene sind fett, diese kursiv gedruckt. Eine gewisse Mittelstellung nehmen gewisse, nicht besonders zahlreiche, kurze Nebenartikel ein. Verweisungsstichworte sind im allgemeinen nicht aufgeführt, wenn der betreffende Hauptartikel ohne weiteres einleuchtet, z. B. Konvexlinse (Hauptartikel: Linse); sie sind dagegen aufgeführt, wenn noch auf einen andern Artikel verwiesen wird, z. B. Elektromagnetische Dämpfung (Verweisung, außer auf Dämpfung, auch auf Induktionsströme). Besonderer Wert wurde darauf gelegt, außer den Definitionen auch alle wichtigen Gesetze, Formeln, Zahlentafeln, Theorien usw. zu geben und dabei das gegenwärtig aktuelle nach Gebühr zu berücksichtigen. Die alphabetische Ordnung ist streng innegehalten, Umlaute sind wie ae usw. behandelt und Ausdrücke, die aus mehreren Worten bestehen, wie ein einziges angesehen, z. B. Elektrisches Licht vor

Elektrische Strahlen gesetzt. Zur besseren Veranschaulichung sind an zahlreichen Stellen Figuren beigegeben (im ganzen nahezu dreihundert). Zu bemerken ist noch, daß das Manuskript im Mai 1918 abgeschlossen wurde, daß aber bei der Korrektur alle irgendwie erforderlichen Berichtigungen und Ergänzungen vorgenommen worden sind; einiges wenige hat noch in einem Nachtrage Platz gefunden. Um auch eine systematische Durcharbeitung des Buches zu ermöglichen, ist eine organisch-sachliche Liste der Hauptartikel vorangestellt mit einer Reihenfolge, die wohl in Einzelheiten hier und da willkürlich, im großen ganzen aber in sich geschlossen ist.

Jena, Januar 1920.

**Der Verfasser.**

## Systematisches Verzeichnis der Hauptartikel.

---

### A. Allgemeines.

1. Physik.
- 1a. Geschichte der Physik.
2. Physikalische Chemie.
3. Experiment und Beobachtung.
4. Graphische Darstellung.
5. Größe.
6. Grundbegriffe.
7. Maßsysteme.
8. Dimensionsformel.
- 8a. Gesetz.
- 8b. Hypothese.
9. Raum.
10. Längenmaß.
11. Längenmessung.
12. Komparator.
13. Kathetometer.
14. Mikrometer.
15. Entfernungsmesser.
16. Flächenmaß.
17. Flächenmessung.
18. Raummaß.
19. Raummessung.
20. Ort.
21. Richtung.
22. Libelle.
23. Winkel.
24. Winkelmessung.
25. Goniometer.
26. Theodolit.
27. Spiegelablesung.
28. Gestalt.
29. Zusammenhang.
30. Zeit.
31. Zeitmessung.
32. Bewegung.
33. Relativitätstheorie.
34. Geschwindigkeit.
- 34a. Geschwindigkeitsmessung.
35. Geschwindigkeitspotential.
36. Winkelgeschwindigkeit.
37. Turenzahl.
38. Beschleunigung.
39. Schwingung.
40. Schwingungsdauer.
41. Freie und erzwungene Schwingungen.
42. Fourierschwingungen.
43. Lissajousschwingungen.
44. Dämpfung.
45. Wellenbewegung.
46. Stroboskopie.
47. Materie.
48. Masse.
49. Erhaltung des Stoffes.
50. Dichte.
51. Dichtemessung.
52. Schlierenmethode.
53. Kraft.
54. Kraftfeld.
55. Kraftmessung.
56. Trägheit.
57. Gewicht.
58. Wägung.
59. Druck.
60. Wechselwirkung.
61. Schwerpunkt.
62. Trägheitsmoment.
63. Sonne.
64. Erde.
65. Aggregatzustände.
66. Kristalle.
67. Flüssige Kristalle.
68. Disperse Systeme.
69. Molekulartheorie.

- |   |   |
|---|---|
| <p>70. Periodisches System der Elemente.<br/> 71. Ionen.<br/> 72. Elektronen.<br/> 73. Äther.<br/> 74. Potential.<br/> 74a. Virial.<br/> 75. Arbeit.<br/> 76. Energie.<br/> 77. Erhaltung der Energie.<br/> 78. Quantentheorie.<br/> 79. Entropie.</p> <p style="text-align: center;"><b>B. Materie (Mechanik).</b></p> <p>80. Prinzipien der Mechanik.<br/> 81. Mechanik.<br/> 81a. Zyklische Systeme.<br/> 82. Statik.<br/> 83. Einfache Maschinen.<br/> 84. Schiefe Ebene.<br/> 85. Kinematik.<br/> 86. Dynamik.<br/> 87. Fall.<br/> 88. Wurf.<br/> 89. Pendel.<br/> 90. Horizontalpendel.<br/> 91. Foucaultsches Pendel.<br/> 92. Bifilare Aufhängung.<br/> 94. Zentralbewegung.<br/> 94. Kreisel.<br/> 95. Gravitation.<br/> 96. Erddichte.<br/> 97. Elastizität.<br/> 98. Längsdehnung.<br/> 99. Elastizitätsmodul.<br/> 100. Kompressibilität.<br/> 100a. Kubische Dilatation.<br/> 101. Querkontraktion.<br/> 102. Biegung.<br/> 103. Scherung.<br/> 104. Drillung.<br/> 105. Kristallelastizität.<br/> 106. Elastische Schwingungen und Wellen.<br/> 107. Stoß.<br/> 108. Elastizitätsgrenze.<br/> 109. Elastische Nachwirkung.<br/> 110. Kohäsion.<br/> 111. Festigkeit.<br/> 112. Härte.<br/> 113. Geschmeidigkeit.<br/> 114. Adhäsion.<br/> 115. Gleichgewichtsfiguren pulverförmiger Massen.</p> | <p>116. Hydrostatik.<br/> 117. Schwimmen.<br/> 118. Gleichgewichtsfiguren der Flüssigkeiten.<br/> 119. Hydrodynamik.<br/> 120. Ausfluß der Flüssigkeiten.<br/> 121. Bewegung fester Körper in Flüssigkeiten.<br/> 122. Wirbelbewegung.<br/> 123. Wellenbewegung der Flüssigkeiten.<br/> 124. Ebbe und Flut.<br/> 125. Meeresströmungen.<br/> 126. Hydraulische Apparate.<br/> 127. Pumpen.<br/> 128. Gase.<br/> 129. Luftdruck.<br/> 130. Barometer.<br/> 131. Manometer.<br/> 132. Luftpumpe.<br/> 133. Aerodynamik.<br/> 134. Ausfluß der Gase.<br/> 135. Explosion.<br/> 136. Winde.<br/> 137. Luftschiffahrt.<br/> 138. Pneumatische Apparate.<br/> 139. Reibung.<br/> 140. Innere Reibung.<br/> 141. Kapillarität.<br/> 142. Steighöhe.<br/> 143. Tropfen.<br/> 144. Flüssigkeitslamellen.<br/> 145. Ausbreitung der Flüssigkeiten.<br/> 146. Kapillare Bewegungen.<br/> 147. Absorption.<br/> 148. Diffusion.<br/> 149. Osmose.</p> <p style="text-align: center;"><b>C. Schall.</b></p> <p>150. Schall.<br/> 151. Tönende Systeme.<br/> 152. Sirene.<br/> 153. Tonhöhe.<br/> 154. Tonhöhemessung.<br/> 155. Tonstärke.<br/> 156. Klang.<br/> 157. Saitentöne.<br/> 158. Stabttöne.<br/> 159. Gabelttöne.<br/> 160. Membrantöne.<br/> 161. Plattentöne.<br/> 162. Glockentöne.<br/> 163. Pfeife.<br/> 164. Kubische Pfeifen.<br/> 165. Zungenpfeifen.</p> |
|---|---|

- 167. Musikinstrumente.
- 167. Schallausbreitung.
- 169. Schallgeschwindigkeit.
- 169. Reflexion und Brechung des Schalls.
- 170. Akustische Bewegungen.
- 171. Dopplereffekt.
- 172. Interferenz des Schalls.
- 173. Akustik der Gebäude.
- 175. Schwebungen.
- 175. Kombinationstöne.
- 176. Harmonie.
- 177. Gehör.
- 178. Stimme und Sprache.
- 179. Phonograph.

**D. Wärme.**

- 180. Wärme.
- 181. Wärmeapparate.
- 182. Temperatur.
- 183. Thermometer.
- 184. Dilatometer.
- 185. Bolometer.
- 186. Kalorimeter.
- 187. Thermische Ausdehnung der festen Körper.
- 188. Thermische Ausdehnung der Flüssigkeiten.
- 189. Thermische Ausdehnung der Gase.
- 190. Spezifische Wärme.
- 191. Atomwärme.
- 192. Wärmeleitung der festen Körper.
- 193. Wärmeleitung der Flüssigkeiten.
- 194. Wärmeleitung der Gase.
- 195. Erkaltung.
- 195 a. Rekaleszenz.
- 196. Wärmestrahlung.
- 197. Wärmeäquivalent.
- 198. Prozeß.
- 199. Thermodynamik.
- 200. Volumenenergie.
- 201. Schmelzung.
- 202. Schmelzwärme.
- 203. Lösungen.
- 204. Lösungswärme.
- 205. Verdampfung.
- 206. Verdampfungswärme.
- 207. Dämpfe.
- 208. Kalorische Maschinen.
- 209. Verflüssigung der Gase.
- 210. Kritischer Zustand.
- 211. Gemische.
- 212. Feuchtigkeit und Niederschläge.
- 213. Wetterkunde.

- 213 a. Wolken.
- 214. Thermochmie.
- 215. Phasenlehre.
- 216. Kinetische Theorie der Materie.
- 217. Brownsche Bewegung.

**E. Elektrizität und Magnetismus.**

- 218. Elektrische Theorien.
- 219. Elektrostatik.
- 219 a. Elektrizitätsquellen.
- 220. Elektrisiermaschinen.
- 221. Elektrometrie.
- 222. Entladung.
- 223. Atmosphärische Elektrizität.
- 223 a. Wasserfallelektrizität.
- 224. Kondensator.
- 225. Dielektrizität.
- 226. Elektrostriktion.
- 227. Pyroelektrizität.
- 228. Elektrische Konvektion.
- 229. Berührungselektrizität.
- 230. Galvanische Elemente.
- 231. Elektrischer Strom.
- 232. Elektrische Hilfsapparate.
- 233. Widerstandsmessung.
- 234. Spannungsmessung.
- 235. Strommessung.
- 236. Galvanometer.
- 237. Stromwaage.
- 238. Voltmeter.
- 239. Stromverzweigung.
- 240. Flächenströme.
- 241. Körperströme.
- 242. Elektrizitätsleitung fester Körper.
- 243. Elektrizitätsleitung der Flüssigkeiten.
- 244. Elektrizitätsleitung der Gase.
- 245. Stromwärme.
- 246. Peltiereffekt.
- 247. Thermoelektrizität.
- 248. Thermosäule.
- 249. Elektromose.
- 250. Kapillarelekttrizität.
- 251. Elektrooptik.
- 252. Lichtelektrizität.
- 253. Glühlektrizität.
- 255. Glühlicht.
- 255. Elektrochemie.
- 256. Elektrolyse.
- 257. Galvanische Polarisation.
- 258. Akkumulatoren.
- 259. Elektrische Ventile.
- 260. Magnet.

- |  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| 261. Magnetismus.                                |                                      |
| 262. Magnetische Theorien.                       |                                      |
| 263. Magnetische Kräfte.                         |                                      |
| 264. Magnetfeld.                                 |                                      |
| 265. Magnetschwingungen.                         |                                      |
| 266. Magnetische Messungen.                      |                                      |
| 267. Magnetische Induktion.                      |                                      |
| 268. Remanenz.                                   |                                      |
| 269. Hysteresis.                                 |                                      |
| 270. Magnetischer Kreis.                         |                                      |
| 271. Magnetische Tragkraft.                      |                                      |
| 272. Ferromagnetismus.                           |                                      |
| 273. Diamagnetismus und Paramagnetismus.         |                                      |
| 274. Kristallmagnetismus.                        |                                      |
| 275. Magnetostraktion.                           |                                      |
| 276. Magnetooptik.                               |                                      |
| 277. Magnetische Drehung der Polarisationsebene. |                                      |
| 278. Zeemaneffekt.                               |                                      |
| 279. Elektromagnet.                              |                                      |
| 280. Elektromagnetismus.                         |                                      |
| 281. Elektromagnetische Apparate.                |                                      |
| 282. Magnetelektrizität.                         |                                      |
| 283. Halleffekt.                                 |                                      |
| 285. Erdmagnetismus.                             |                                      |
| 285. Elektrische und magnetische Maßsysteme.     |                                      |
| 286. Elektrodynamik.                             |                                      |
| 287. Elektrodynamometer.                         |                                      |
| 288. Induktionsströme.                           |                                      |
| 289. Selbstinduktion.                            |                                      |
| 290. Wechselströme.                              |                                      |
| 291. Elektrische Schwingungen.                   |                                      |
| 292. Telegraphie.                                |                                      |
| 293. Telephonie.                                 |                                      |
| 294. Drahtlose Telegraphie.                      |                                      |
| 294 a. Röhrensender.                             |                                      |
| 295. Dynamomaschinen.                            |                                      |
| 296. Elektrische Lichterscheinungen.             |                                      |
| 297. Elektrischer Funke.                         |                                      |
| 298. Lichtbogen.                                 |                                      |
| 299. Glimmlicht.                                 |                                      |
| 300. Kathodenstrahlen.                           |                                      |
| 301. Kanalstrahlen.                              |                                      |
| 302. Röntgenstrahlen.                            |                                      |
| 303. Radioaktivität.                             |                                      |
|  | <b>F. Licht.</b>                     |
|  | 304. Licht.                          |
|  | 305. Lichtquellen.                   |
|  | 306. Lichtgeschwindigkeit.           |
|  | 307. Lichtausbreitung.               |
|  | 308. Lichtstärke.                    |
|  | 309. Photometrie.                    |
|  | 310. Geometrische Optik.             |
|  | 311. Reflexion des Lichts.           |
|  | 312. Spiegel.                        |
|  | 313. Metallreflexion.                |
|  | 314. Brechung des Lichts.            |
|  | 315. Brechungsquotient.              |
|  | 316. Totalreflexion.                 |
|  | 317. Prismen.                        |
|  | 318. Linsen.                         |
|  | 319. Abbildung.                      |
|  | 320. Sphärische Aberration.          |
|  | 321. Chromatische Aberration.        |
|  | 321. Astigmatismus.                  |
|  | 323. Sehen.                          |
|  | 324. Optische Instrumente.           |
|  | 325. Stereoskopie.                   |
|  | 326. Brille.                         |
|  | 327. Lupe.                           |
|  | 328. Mikroskop. —                    |
|  | 329. Fernrohr.                       |
|  | 330. Photographisches Objektiv.      |
|  | 331. Projektionsapparate.            |
|  | 332. Huygenssches Prinzip.           |
|  | 333. Interferenz des Lichts.         |
|  | 334. Beugung des Lichts.             |
|  | 335. Atmosphärische Optik.           |
|  | 336. Dispersion.                     |
|  | 337. Spektrometrie.                  |
|  | 338. Spektrum.                       |
|  | 339. Strahlung.                      |
|  | 340. Absorption des Lichts.          |
|  | 341. Strahlungsdruck.                |
|  | 342. Polarisation der Strahlung.     |
|  | 343. Kristalloptik.                  |
|  | 344. Drehung der Polarisationsebene. |
|  | 345. Lumineszenz.                    |
|  | 346. Photochemie.                    |
|  | 347. Photographie.                   |
|  | 348. Farbenlehre.                    |

## A

*A*, Abkürzung für Ampère (s. Elektrische und magnetische Maßsysteme).  
*Abbescher Beleuchtungsapparat*, s. Mikroskop.

**Abbildung** ist in der Optik die Wiedergabe von Objekten durch *Bilder*, und zwar durch möglichst getreue, wenn auch verkleinerte oder vergrößerte Bilder. Der Maßstab heißt Abbildungsverhältnis. Die Mittel hierzu sind die Reflexion und die Brechung des Lichts; entsprechend gibt es katoptrische und dioptrische Abbildung. Ein Bildpunkt entsteht da, wo mindestens zwei, praktisch aber viele Strahlen sich schneiden, und zwar ist das ein *reelles* Bild; schneiden sich nur die rückwärtigen Verlängerungen der Strahlen, so entsteht ein *virtuelles* Bild. Reelle Bilder erleuchteten Flächen, sind im Raume objektiv sichtbar und wirken chemisch. Virtuelle Bilder haben alle diese Eigenschaften nicht; sie sind nur direkt in der Richtung der Lichtbewegung subjektiv wahrnehmbar. Die Abbildung kann durch enge oder weite, ebene oder räumliche Büschel erzielt werden. Ferner kann es sich um die Abbildung eines Punktes, einer Linie, einer Fläche oder eines Körpers handeln; die Aufgabe ist also schon an sich sehr verwickelt. Anfangs hat man sich daher an besonders einfache Fälle (Spiegel, Linsen usw.) gehalten; allmählich wurde man allgemeiner (Gauss, Möbius, Maxwell). Aber erst Abbe zeigte, daß die Lage- und Größenverhältnisse optischer Bilder sowie alle bei der Abbildung auftretenden allgemeinen Beziehungen ihrem Wesen nach gänzlich unabhängig von den Bedingungen ihres Entstehens und vielmehr rein mathematische Konsequenzen

der Abbildung des Objektraumes in den Bildraum sind, wobei die einzige Voraussetzung bzw. Forderung die ist, daß jedem Punkte des einen Raumes ein und nur ein Punkt des andern entspreche, daß den durch jenen gehenden Strahlen die durch diesen gehenden entsprechen, und daß dasselbe von den Ebenen gelte: *konjugierte* Punkte, Linien, Ebenen. Eine solche Beziehung heißt *kollineare Verwandtschaft*; die Abbildung ist *punktweise* Abbildung, die Büschel sind *homozentrisch* (s. jedoch sphärische Aberration und Astigmatismus). Die Abbildung ist eindeutig und im allgemeinen stetig; nur gibt es in jedem Raume eine Ebene, deren konjugierte Ebene im andern in der Unendlichkeit liegt. Sie heißt Unstetigkeits- oder Diskontinuitätsebene oder, praktisch, *Brennebene* (Fokalebene), ihr Mittelpunkt heißt *Brennpunkt*, d. h. Vereinigungspunkt ursprünglich paralleler Strahlen. In dem Spezialfalle der teleskopischen Abbildung entsprechen sich die beiden unendlich fernen Ebenen. Die Abbildungsformeln sind gebrochen lineare Ausdrücke; durch geeignete Wahl der Achsen — senkrecht bzw. parallel zu den Brennebenen — und der Anfangspunkte — in den Brennebenen — kann man sie bedeutend vereinfachen und erhält schließlich als Koordinaten des Objekt- und Bildpunktes für die zentrierte Abbildung (symmetrisch um die *x*-Achse):  $x' = a/x$ ,  $y' = b y/x$ ,  $z' = cz/x$ ; oder indem man  $a = ff'$ ,  $b = f$  setzt und nur noch die Längs- und Querkordinate beibehält:  $xx' = ff'$ ,  $y'/y = f/x = x'/f'$ . Die Größen  $f$  und  $f'$  heißen *Brennweiten* (Fokaldistanzen) des Objekt- bzw. Bildraumes; das Produkt der Abstände des

Objektes und des Bildes von den Brennebenen ist also immer gleich dem Produkte der Brennweiten. Zur Bestimmung der Brennweite dienen die *Fokometer*. Parallelstrahlen des Objekt-raumes vereinigen sich in der Brennebene des Bildraumes und umgekehrt.  $y'/y$  ist die *laterale Vergrößerung* oder schlechthin *Vergrößerung*; die beiden Punkte, in denen sie gerade eins ist, heißen *Hauptpunkte*, die durch sie gelegten Querebenen *Hauptebenen*. Der Lateralvergrößerung steht die *Axial-* oder *Longitudinal-* oder *Tiefenvergrößerung* gegenüber; sie wächst quadratisch

mit der Lateralvergrößerung. Durch Multiplikation beider erhält man die *Flächenvergrößerung*. Endlich gibt es drittens noch die *Angularvergrößerung* oder das *Konvergenzverhältnis* (Verhältnis der Tangenten der Büschelwinkel  $u$  und  $u'$ ); die Punkte, wo dieses eins ist, heißen *Knotenpunkte*, die betreffenden Ebenen *Knotenebenen*. Ferner besteht die Beziehung:  $y' = f \cdot \tan u$  und

$$\frac{\tan u'}{\tan u} = -\frac{x}{f'} = -\frac{f}{x'}$$

vgl. die Fig. 1, in der drei konjugierte Strahlenpaare (1, 1'), (2, 2'), (3, 3'), die

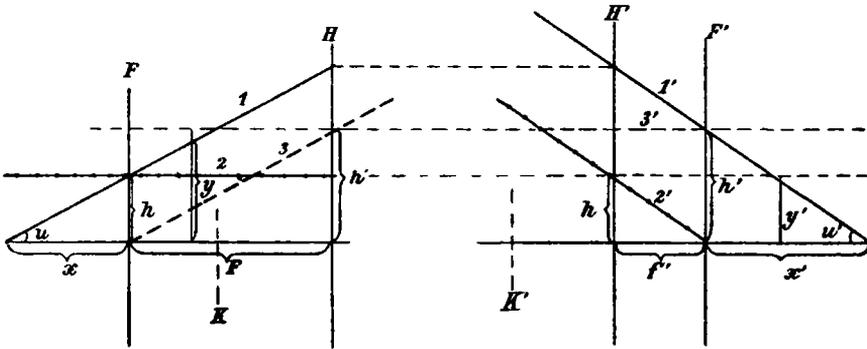


Fig. 1.

Brennebenen  $F, F'$ , die Hauptebenen  $H, H'$  und die Knotenebenen  $K, K'$  wiedergegeben sind. Hieran knüpft sich eine Reihe von Sätzen, insbesondere die folgenden: 1. Die Brennweite des Objekt-raumes ist gleich dem Verhältnis der linearen Größe eines in der Brennebene des Bildraumes gelegenen Bildes zur scheinbaren (angularen) Größe seines unendlich entfernten Objektes. 2. Die Brennweite des Bildraumes ist gleich der Entfernung eines achsenparallelen Strahles des Objekt-raumes von der Achse, dividiert durch die Tangente des Neigungswinkels des konjugierten Strahles. 3. Der Neigungswinkel  $u$  eines Strahles im Objekt-raum ist positiv, falls der Strahl von links unten nach rechts oben geht; der Neigungswinkel  $u'$  eines Strahles des Bildraumes ist positiv, falls der Strahl von links unten nach

rechts unten geht. 4. Einem Strahl durch den einen Knotenpunkt ist ein paralleler Strahl durch den andern Knotenpunkt konjugiert. 5. Die beiden Knotenpunkte haben dieselbe Entfernung voneinander wie die beiden Hauptpunkte. 6. Ist  $f = f'$ , so fallen die Knotenpunkte mit den Hauptpunkten zusammen. — Je nach den Vorzeichen von  $f$  und  $f'$  kann man vier Arten von Abbildungen unterscheiden: 1. *katoptrische*: a) *kollektive* ( $f +, f' -$ ), b) *dispansive* ( $f -, f' +$ ); 2. *dioptrische*: a) *kollektive* ( $f +, f' +$ ), b) *dispansive* ( $f -, f' -$ ). Bei der katoptrischen Abbildung haben also  $f$  und  $f'$  entgegengesetztes, bei der dioptrischen gleiches Vorzeichen; bei der kollektiven ist  $f$  positiv, bei der dispansiven ist  $f$  negativ. Bei der kollektiven wird ein Parallelbündel konvergent, bei der dispansiven

divergent. Zwei weitere Unterscheidungen sind die zwischen rechtläufiger und rückläufiger, und die zwischen rechtswendiger und linkswendiger Abbildung; jedoch haben dieselben teils gar keine, teils nur eine sehr spezielle Beziehung zur praktischen Optik. — Die größte Schwierigkeit machen die *Abbildungsfehler*, die in desto stärkerem

Maße auftreten, erstens je größer der Öffnungswinkel der abbildenden Büschel ist, und zweitens, je größer der Objektwinkel (die scheinbare Größe des Objekts, vom Orte der Abbildung aus gesehen) ist. Dabei treten die beiden entsprechenden Grundforderungen insofern miteinander in Widerspruch, als die eine verlangt, daß das Verhältnis der Tan-

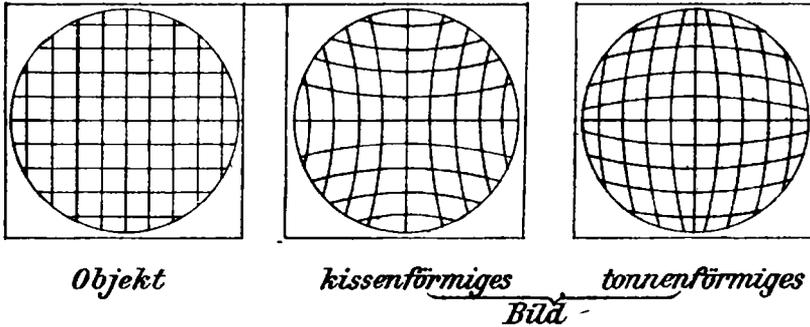


Fig. 2.

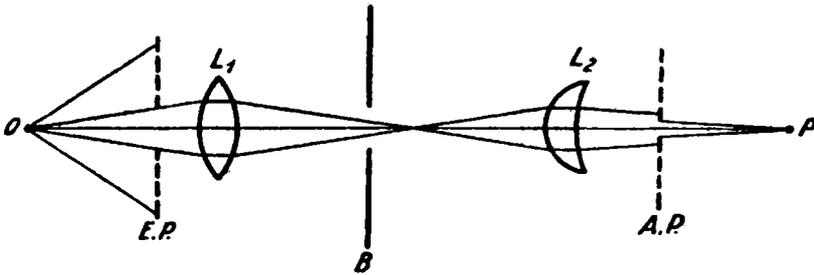


Fig. 3.

genten der Öffnungswinkel konstant sei, die andere, daß das Sinusverhältnis konstant sei: *Tangentensatz* und *Sinussatz* (Abbe); für kleine Winkel läßt sich das annähernd vereinigen, nicht aber für große. Man kann daher eine gute Abbildung nur leisten: entweder für kleine Objekte mit weit geöffneten Büscheln, oder für große Objekte mit engen Büscheln. — Die wichtigsten Abbildungsfehler sind: die sphärische Aberration (s. d.), die chromatische Aberration (s. d.), der Astigmatismus (s. d.), das Koma (s. sphärische Aberration), die Verzeichnung, d. h. die Verschieden-

heit der Linear- bzw. Angularvergrößerung für die verschiedenen Zonen des Objektes, insbesondere die kissenförmige und die tonnenförmige Verzeichnung (Fig. 2), die Bildwölbung bei ebenem Objekt usw. Jeder dieser Fehler stellt ein Problem zu seiner Beseitigung auf. Um die am stärksten fehlerhaft wirkenden peripherischen Teile der Büschel unwirksam zu machen, schiebt man Apertur- oder *Öffnungsblenden* ein von geeigneter Öffnung; die bequemste variable Blende ist die *Irisblende*; maßgebend für die Begrenzung der Strahlen ist dann das vom Objektpunkt aus am

kleinsten erscheinende, durch die Linsen usw. erzeugte Blendenbild; es heißt *Eintrittspupille* (Fig. 3), entsprechend für den Bildpunkt *Austrittspupille*. Analoge Bedeutung für den Objekt- (Gesichtsfeld-) und Bildwinkel haben die *Gesichtsfeldblenden* und die auf sie bezüglichen Ausdrücke *Eintrittsluke* und *Austrittsluke* (oder Fenster). Wenn die Eintritts- oder Austrittspupille in die Unendlichkeit rückt, erhält man die *telezentrische* Abbildung; ist sie zugleich teleskopisch (s. o.), so liegen beide Pupillen in der Unendlichkeit. Der durch die Blendenmitte gehende Strahl heißt *Hauptstrahl*. Die Blenden haben übrigens, neben ihren entscheidenden Vorzügen, auch zwei Nachteile: erstens schwächen sie die Lichtmenge (s. Photometrie und Lichtstärke), und zweitens treten, wenn die Pupillen eng werden, neue Komplikationen infolge Verstümmelung der Beugungsfiguren ein (s. Mikroskop und Beugung). Die Beugung spielt ferner eine entscheidende Rolle bei der Abbildung nicht selbstleuchtender Objekte; hier ist die primäre Abbildung die der Lichtquelle, die des Objektes ist erst „sekundär“ (s. Mikroskop).

*Abbildung durch Prismen*, s. Prisma.

*Abbildung nicht selbstleuchtender Objekte*, s. Mikroskop.

*Abbildungsfehler*, s. Abbildung, Astigmatismus, Chromatische Aberration, Sphärische Aberration.

*Aberration*, s. Chromatische Aberration, Sphärische Aberration.

*Aberration des Lichts* (Verschiebung des scheinbaren Ortes der Sterne), s. Lichtgeschwindigkeit, Relativitätsprinzip.

*Abkühlung*, s. Erhaltung; Abkühlung der Erde, s. Wärmeleitung fester Körper; Abkühlung durch Ausdehnung, s. Volumenenergie.

*Ablenkung der Magnetnadel*, s. Elektromagnetismus.

*Ablöschern*, s. Geschmeidigkeit.

*Abplattung*, s. Erde, Gleichgewichtsfiguren der Flüssigkeiten, Pendel, Zentralbewegung.

*Abschrecken*, s. Geschmeidigkeit.

*Abscheu vor dem leeren Raum*, s. Luftdruck.

*Absolute Beweglichkeit der Ionen*, s. Elektrolyse.

*Absolute Bewegung*, s. Relativitätsprinzip.

*Absolut schwarzer Körper*, s. Strahlung.

*Absolute Temperatur*, s. Temperatur.

*Absoluter Nullpunkt*, s. Temperatur.

*Absolutes Maßsystem*, s. Maßsysteme.

**Absorption** ist das scheinbare Verschwinden eines Gases oder Dampfes in einem festen oder flüssigen Körper; man kann es als einen auf Gase bezüglichen Sonderfall der Auflösung und das Ergebnis als eine Gaslösung bezeichnen. Die Absorption in festen Körpern nennt man auch *Oklusion*, wenn das Gas in das Innere des Körpers eindringt, dagegen *Adsorption*, wenn es in dessen Oberflächenschichten verbleibt. Zur Demonstration bringt man in einen Glaszylinder, der unten Quecksilber enthält, Ammoniakgas und läßt dann mittels einer Pipette etwas Wasser aufsteigen; sobald dieses mit dem Ammoniak in Berührung kommt, steigt das Quecksilber in die Höhe, ein Zeichen, daß das Gas vom Wasser teilweise verschluckt worden ist; je nach Wahl des Gases und der Flüssigkeit (oder des festen Körpers) fällt die Erscheinung quantitativ verschieden aus. Zu messenden Versuchen hat man besondere Apparate, *Absorptiometer*, konstruiert, die die absorbierte Menge und zugleich den herrschenden Druck, Temperatur usw. zu bestimmen erlauben. Der *Absorptionskoeffizient* gibt an, das Wievielfache seines eigenen Volumens ein Körper absorbieren kann; dabei pflegt das Volumen auf 0° reduziert zu werden. Nach dem *Henryschen Gesetz* ist das absorbierte Gasvolumen vom Druck unabhängig, die absorbierte Gasmasse also mit dem Druck proportional; der Absorptionskoeffizient ist also konstant. Jedoch finden bei höheren Drucken vielfach Abweichungen statt; bei Wasser und Ammoniak z. B. nimmt zwischen 6 und 2000 cm Hg Druck die Absorption auf den vierten Teil ab, andererseits bei festen Körpern meist etwas zu. Bei Gasgemischen ist die aufgenommene

Menge jedes Bestandteils mit dessen Partialdruck proportional. Die eigentliche Adsorption ist mit dem Volumen, die Adsorption mit der Größe der Oberfläche des absorbierenden Körpers proportional. Mit steigender Temperatur nimmt der Absorptionskoeffizient  $\alpha$  ab, aber meist in abnehmendem Maße:  $\alpha = \alpha_0 (1 - \alpha t + \beta t^2)$ . Einige Werte von  $\alpha$  bei 15° und normalem Druck:

Gas	in Wasser	Alkohol	Buchsbaumkohle
Ammoniak	790	—	90
Schweflige Säure	43,6	144,6	65
Schwefelwasserstoff	3,2	9,5	55
Kohlensäure	1,02	3,2	35
Kohlenoxyd	0,024	0,204	9,4
Sauerstoff	0,034	0,284	9,2
Stickstoff	0,017	0,121	7,5
Luft	0,018	—	—
Wasserstoff	0,019	0,067	1,75

Ferner einige Temperaturkoeffizienten:

Stickstoff oder Sauerstoff in Wasser	$\alpha = 0,026$	$\beta = 0,00055$
Kohlensäure in Wasser	0,043	0,00091
Stickstoff in Alkohol	0,003	0,00005
Kohlensäure in Alkohol	0,022	0,00029

Wie man sieht, nimmt Ammoniak eine ganz exponierte Stellung ein. Die Adsorption der Kohlensäure durch Wasser wird bei Getränken (Selterwasser, Bierdruckapparate usw.) benutzt; bei Ermäßigung des Druckes durch Öffnung des Gefäßes entweicht die Kohlensäure in Form von Perlen. Bei sehr tiefen Temperaturen nimmt die Adsorption außerordentlich stark zu; z. B. ist der Koeffizient für Kokosnußkohle und Sauerstoff bei 0°: 18 ccm, dagegen bei -186°: 230 ccm, Wasserstoff bei 0°: 4 ccm, dagegen bei -186°: 135 ccm. — Sehr mannigfaltige und z. T. einander widersprechende, aber durch die ver-

schiedenen Versuchsbedingungen sich aufklärende Erscheinungen haben Kayser und Bunsen bei der Adsorption an Glas beobachtet. — Salzlösungen absorbieren schwächer als Wasser und desto schwächer, je konzentrierter sie sind. Die Okklusion von Gasen ist besonders stark in einigen Metallen, wie Palladium, Silber, Meteor Eisen; so okkludiert Palladium je nach den Umständen das 500- bis 1000fache Volumen Wasserstoff. Eine besondere, der Adsorption verwandte Erscheinung ist auch die *Wasserhaut* des Glases, besonders bei alkalihaltigen Gläsern; sie macht sich z. B. bei feinen Wägungen störend geltend; man kann sie durch kurze Behandlung mit siedendem Wasser größtenteils beseitigen. Hierher gehört auch die als *Vaporhässion* bezeichnete Erscheinung. — Mit der Adsorption hängen verschiedene Erscheinungen zusammen, so das *Sprätzen* der Metalle (Hinausschleudern von Metalltröpfchen, gleichzeitig mit der Abgabe des adsorbierten Gases), und die Moserschen *Hauchbilder*: wenn man auf Glas oder Metall mit einem Holzstäbchen hinfährt und dann die Fläche behaucht oder mit Quecksilberdampf bestreicht, so sieht man den vom Stäbchen gemachten Strich deutlich hervortreten; ebenso bildet sich eine Münze, nachdem man sie von der Platte weggenommen und diese wie oben behandelt hat, deutlich ab. — Mit der Adsorption ist eine Wärmeentwicklung verknüpft, s. Lösungswärme.

*Absorption der Wärme, s. Wärmestrahlung.*

**Absorption des Lichts** ist das Verschwinden des Lichts im Innern der Körper. Die extremen Fälle sind die des vollkommen *durchsichtigen* und des vollkommen *undurchsichtigen* Körpers; indessen kommen beide kaum vor. So sind z. B. die Metalle in hinreichend dünnen Schichten (elektrolytisch) durchsichtig (s. Brechungsquotient); andererseits halten auch die Gläser und selbst die Gase in dicken Schichten einen Teil des Lichtes zurück. Wegen der allgemeinen Gesetze der Adsorption s. Wärmestrahlung. Licht von verschie-

dener Farbe wird beim Durchgange verschieden beeinflusst: *selektive Absorption*; von ihr rührt im wesentlichen die Farbe der Körper her. Schickt man z. B. ein durch ein Prisma dispersiertes Bündel ursprünglich weißen Lichtes durch eine bunte Glasplatte, so werden nur einzelne Teile des Spektrums hindurchgelassen, und zwar im einfachsten Falle der der Farbe entsprechende Teil, allgemein aber verschiedene Spektralstreifen, die dann zusammengenommen eben die Farbe des Glases ergeben; im ersten Falle hat man es mit einer mehr oder weniger reinen, im letzteren mit einer Mischfarbe zu tun. Im einzelnen charakterisieren sich die verschiedenen Stoffe durch ihre *Absorptionsspektren*, s. Spektrum. Ein Körper, der alle Farben gleichmäßig absorbiert, erscheint schwarz, grau oder weiß, je nach dem Grade der Gesamtabsorption. Im übrigen ergibt sich aus dem Gesagten, daß die *Körperfarben* von der Beleuchtung abhängen: damit ein roter Körper rot erscheine, muß das Rot in der Beleuchtung enthalten sein; so erklärt sich die Veränderung der Körperfarben in künstlichen Lichtern gegenüber dem Tageslicht (am stärksten im Quecksilberlicht). — Ein Körper, der zwar Lichtstrahlen durchläßt, aber in diffuser Weise, so daß keine Bilder zustande kommen, heißt *durchscheinend*.

*Absorption des Schalls*, s. Schallausbreitung.

*Absorption elektrischer Strahlen*, s. Elektrische Schwingungen.

*Absorptionslinien*, s. Spektrum.

*Absorptionsspektrum*, s. Spektrum.

*Absorptionsstreifen*, s. Dispersion.

*Absorptionsvermögen*, s. Strahlung.

*Absorptionswärme*, s. Lösungswärme.

*Absteigender Luftstrom*, s. Winde.

*Abstoßung*, s. Elektrostatik, Induktionsströme, Magnetische Kräfte.

*Abtropfen im Felde*, s. Kapillarelekttrizität.

*Achromasie*, *Achromat*, s. Chromatische Aberration, Dispersion, Linsen, Mikroskop.

*Achromatische Linsen*, s. Kristalloptik.

*Achromatisches Kalkspatprisma*, s. Kristalloptik.

**Additive Eigenschaften** der Materie sind solche, deren Zahlenwerte für zusammengesetzte Systeme (Gemische, Lösungen, Verbindungen) sich aus den Zahlenwerten für die Bestandteile durch Addition ergeben. Extreme Beispiele sind: für die additive Eigenschaft die Masse, für die durchaus nicht additive Eigenschaft die Temperatur. Manche Eigenschaften verhalten sich annähernd, aber nicht genau additiv; andre wieder verhalten sich je nach der Natur des Systems streng, annähernd oder gar nicht additiv, z. B. der Diamagnetismus (s. daselbst).

**Adhäsion** ist der Widerstand zweier einander berührender Körper gegen ihre Trennung voneinander; sie ist also eine Abart der Festigkeit (s. d.), nur, statt auf die Teile eines einzigen, auf zwei verschiedene Körper angewendet. Zur Messung der Adhäsion hängt man den einen, in eine horizontale Ebene auslaufenden Körper an die Wage, stellt den andern mit seiner ebenen Endfläche fest auf, so daß sich beide innig berühren, und legt nun auf die andre Wageseite so lange Gewichte auf, bis Abreibung erfolgt. Ist das Abreißgewicht  $P$ , die Fläche  $F$ , so ist  $P = aF$ , und hierin ist  $a$  der *Adhäsionskoeffizient*. Übrigens hat sich herausgestellt, daß die Adhäsion ein sehr verwickeltes Phänomen ist, das von ganz verschiedenen Faktoren abhängt. Ein besonders wichtiger ist der äußere Luftdruck, der zwei gut geschliffene Metallplatten mit großer Kraft zusammenhalten und so eine „scheinbare Adhäsion“ vortäuschen kann; um diesen Faktor auszuschließen, muß man die Versuche im luftleeren Raume anstellen. Aber auch hier hängt das Ergebnis von der Reinheit, Trockenheit, Glätte usw. der Oberflächen in hohem Maße ab, und es ist deshalb nur in seltenen Fällen möglich, einigermaßen exakte Zahlen anzugeben. Jedenfalls ist  $a$ , im Vergleich zur Festigkeit eines einheitlichen Körpers, meist sehr klein, von der Größenordnung einiger milliontel oder höchstens einiger hunderttausentel kg/qmm; nur bei „klebrigen“ Stoffen, wie Ton, Lehm, Wachs usw., geht es bis zu einigen Zehn-

tausenteln hinauf. Trotzdem kann unter Umständen, besonders bei Anwendung geeigneten Drucks, die Adhäsion die Kohäsion überwiegen, z. B. beim Schreiben von Kreide auf Holz, mit Graphit auf Papier usw. — S. auch Reibung.

*Adiabatisch*, s. Prozeß, Schallgeschwindigkeit.

*Adiatherman*, s. Wärmestrahlung.

*Adsorption*, s. Absorption.

*Äolipile*, s. Hydraulische Apparate.

*Äolotrop*, s. Materie.

*Äolsharfe*, s. Saitentöne.

*Äquipotentialfläche*, s. Kraftfeld, Potential.

*Äquivalente Pole*, s. Magnet.

*Äquivalentkonzentration*, s. Lösungen.

*Äquivalentleitvermögen*, s. Elektrizitätsleitung der Flüssigkeiten.

*Äquivalenz von Arbeit und Wärme*, s. Thermodynamik, Wärmeäquivalent.

*Äquivalenz von Strömen und Magneten*, s. Elektrodynamik, Elektromagnetismus.

**Aerodynamik** ist die Lehre von der Bewegung der Gase. Sie geht vielfach mit der Hydrodynamik (s. d.) parallel, trennt sich aber überall da von ihr, wo die Kompressibilität der Gase sich geltend macht. So sind die Gesetze der Strömung und des Ausflusses (s. Ausfluß der Gase) doch wesentlich andere wie bei Flüssigkeiten; die Füllung und Leerung eines Behälters mit Gas führt sogar zu paradoxen Erscheinungen, die erst durch Hugoniot aufgeklärt worden sind (s. Ausfluß der Gase). Die Wellenbewegung der Gase ist durch ihren longitudinalen Charakter bestimmt; ihre besondere Bedeutung erlangt sie bei den Schallwellen in Luft (s. Schallausbreitung, Wellenbewegung). Wegen der atmosphärischen Bewegungen s. Winde; dabei kommen sowohl Translations- wie Rotations- oder Wirbelbewegungen vor. Die Bewegung fester Körper in Gasen gestaltet sich ebenfalls wesentlich verschieden von der in Flüssigkeiten (s. Bew. f. K. in Fl.); wegen der auftretenden Verdichtungen und Verdünnungen werden die Verhältnisse wesentlich komplizierter, und erst in neuester Zeit sind im Hinblick auf die Wichtigkeit für das Flugproblem einige einfache Fälle,

insbesondere ebene und gekrümmte Platten in Luft, theoretisch und experimentell behandelt worden (s. auch Luftschiffahrt). Wegen der Anwendungen s. Pneumatische Apparate.

**Aeromechanik**, die Lehre von dem Gleichgewicht und der Bewegung der Gase, zerfällt in die Aerostatik und die Aerodynamik, s. d.

*Aeroplan*, s. Luftschiffahrt.

*Aerostatik* oder Lehre vom Gleichgewicht der Gase, s. Barometer, Gase, Luftdruck, Luftpumpe, Manometer.

**Äther**, auch *Weltäther* oder *Lichtäther* genannt, ist ein hypothetisches Substrat (oder eine Substanz im philosophischen Sinne des Wortes), das den Weltraum erfüllt, und zwar sowohl den leeren wie den von Materie besetzten. Die Auffassungen von seiner Konstitution haben im Laufe der Zeiten alle denkbaren Wandlungen durchgemacht, und die dabei auftretenden inneren Widersprüche sind immer abwechselnd beseitigt und durch neue ersetzt worden. Man hat ihn als bewegt oder als ruhend hingestellt; aber nur die letztere Annahme, und zwar die Annahme absoluter Ruhe in jeder Hinsicht, hat sich konsequent durchführen lassen; und damit sind auch alle Versuche, ihm Masse, d. h. Trägheit, zuzuschreiben, gegenstandslos geworden. Trotz seiner Ruhe macht er sich doch wesentlich geltend, und zwar in erster Linie für die physikalischen Erscheinungen im leeren Raume, also für die elektrischen und magnetischen Felderscheinungen, einschließlich der Lichterscheinungen, sowie der Gravitation. Er hat die Rolle eines Trägers der elektromagnetischen Wellen, also auch der Lichtwellen, gespielt; aber die elastische Spielart dieser Theorie mußte aufgegeben werden, weil sie dem Äther unvereinbare und widersinnige Eigenschaften beilegen mußte. In der andern Form der Äthertheorie, der elektromagnetischen, findet eine Wechselwirkung nur zwischen dem Äther und den Ladungen der materiellen Teilchen bzw. den Elektronen statt. Immerhin muß man dem Äther einen gewissen Kohäsionsdruck und eine Reaktionsfähigkeit zuschreiben, was dann zur

Folge hat, daß die Bewegung der Elektronen beeinflusst wird. Die Materie stellt sich dann als ein System von Knotenstellen des Äthers dar, und sie erhält Trägheit, also Masse, jetzt aber nicht mehr in der alten Form, sondern in einer völlig neuen, wonach die Masse nicht unveränderlich, sondern eine Funktion der Geschwindigkeit ist. Schließlich ergeben sich Kräfte zwischen materiellen Komplexen, die wir Gravitation nennen. Neue Schwierigkeiten stellen sich ein vom Standpunkte der Relativitätstheorie (s. d.); aber während die einen auf Grund dieser Theorie den Äther für abgetan erklären, weil es nichts absolut Ruhendes gibt, erachten andre das für einen Trugschluß und behalten ihn bei, sei es als ein physisches Substrat, sei es als einen anschaulichen Ausdruck für den leeren Raum in seiner physikalischen Potenz. Im letzteren, zurzeit vorherrschenden, Falle nimmt freilich das gesamte Weltbild ein rein formales Aussehen an, und es bleibt der Zukunft vorbehalten, ob sich hieraus einmal ein physikalisch brauchbares und innerlich befriedigendes System wird entwickeln lassen. — Jedenfalls ist zu betonen, daß es wenige Grundideen gibt, die in der Geschichte der Physik so fruchtbar und entscheidend gewesen sind wie die Ätherhypothese; ihre Schuldigkeit hat sie also auf alle Fälle getan. — Vgl. Licht.

*Ätzfiguren*, s. Lösungen.

*Äußere Ballistik*, s. Wurf.

*Äußere Reibung*, s. Innere Reibung, Reibung.

*Affinität*, s. Thermochemie.

*Agonische Linie*, s. Erdmagnetismus.

**Aggregatzustände.** Je nach dem Verhalten der Körper gegenüber Beanspruchung unterscheidet man drei Aggregatzustände der Materie: den *fester*, *flüssigen* und *gasförmigen*. Bei den festen Körpern ist sowohl die Volumenelastizität (s. Elastizität) wie die Gestaltelastizität von normalem Betrage (endlich), bei den Flüssigkeiten ist die Volumenelastizität sehr groß, die Gestaltelastizität sehr klein; bei den Gasen ist die Gestaltelastizität ebenfalls sehr klein, die Volumenelastizität

aber verhält sich sehr eigentümlich. gegenüber Kontraktion besteht ein Widerstand von normalem Betrage; dagegen besteht gegen Dilatation überhaupt kein Widerstand, im Gegenteil, die Gase erfüllen von selbst jeden ihnen dargebotenen Raum (Verdünnungsbestreben). Als Grenzfälle führt man die „*idealen Flüssigkeiten*“ ein, deren Volumenelastizität  $\infty$  — inkompressible oder tropfbare Flüssigkeit —, deren Gestaltelastizität null ist; die beiden Abweichungen einer wirklichen Flüssigkeit von einer idealen sind ihre Kompressibilität (s. d.) und ihre Zähigkeit oder innere Reibung (s. d.). Ebenso spricht man von idealen Gasen, eben falls ohne innere Reibung und, gegenüber Kompression, mit einem durch das Boyle'sche und Gay-Lussac'sche Gesetz (s. Gase und Thermische Ausdehnung der Gase) charakterisierten Verhalten. Popular, aber im großen und ganzen nicht unpassend, kann man hiernach auch sagen: Feste Körper haben selbständiges Volumen und selbständige Gestalt; Flüssigkeiten haben selbständiges Volumen, dagegen nehmen sie die durch die äußeren Kräfte und Bedingungen vorgeschriebene Gestalt an; Gase haben weder selbständiges Volumen noch selbständige Gestalt. Übrigens können auch Flüssigkeiten, wenn sie nämlich nur ihrer eignen Gravitation unterliegen, sehr wohl selbständige Gestalten annehmen (s. Gleichgewichtsfiguren der Flüssigkeiten). — Feste Körper verhalten sich entweder nach allen Richtungen gleich und heißen dann *isotrop*, oder nach verschiedenen Richtungen verschieden und heißen dann *heterotrop* oder *äolotrop*; am wichtigsten unter ihnen sind die *Kristalle* (s. d.). Man neigt sogar immer mehr zu der Anschauung, daß feste Körper, eben im Zusammenhange mit ihrer Volumen- und Gestaltelastizität, immer kristallinisch sind, und daß die scheinbar isotropen Körper — *quasi-isotrop* — in Wahrheit Aggregate von verschieden orientierten Kriställchen sind. Dagegen sind Flüssigkeiten im allgemeinen isotrop; eine Ausnahme bilden die *flüssigen Kristalle* (s. d.); eine andre geschichtete

Lösungen. Auch Gase sind im allgemeinen isotrop; eine Ausnahme bilden wieder die geschichteten Gase. — Der Aggregatzustand ist keine wesentliche Eigenschaft eines Stoffes; er kann vielmehr durch äußere Einwirkung in einen andern übergeführt werden. Der Übergang aus dem festen in den flüssigen Zustand heißt *Schmelzen* (s. d.), der umgekehrte *Erstarren*; der Übergang aus dem flüssigen in den gasigen heißt *Sieden* oder *Verflüchtigung* oder *Verdampfung* (s. d.), bei sanftem Eintritt *Verdunstung*; der umgekehrte Verflüssigung oder *Kondensation* (s. Verflüssigung der Gase); Verdunstung kann auch direkter Übergang aus dem festen in den gasigen Zustand sein und heißt dann gewöhnlich *Sublimation*. Die wichtigsten Hilfsmittel zur Änderung des Aggregatzustandes sind Änderung des Druckes und der Temperatur; jedoch hat sich gezeigt, daß jede dieser beiden Methoden für sich nur in gewissem Bereiche wirksam ist, und daß man nur durch Kombination beider des Erfolges prinzipiell sicher sein darf (s. Kritischer Zustand). — Eine besondere Art des Überganges aus dem festen in den flüssigen Zustand ist die *Auflösung* (s. Lösungen), umgekehrt die Abscheidung oder Niederschlagung. — Zusammengesetzte Systeme können noch besondere Aggregatzustände annehmen, die von jedem einige Eigenschaften haben, z. B. die pulverförmigen Massen (s. Gleichgewichtsfiguren p. M.). — Dagegen haben sich die im Laufe der Zeiten wiederholt gemachten Versuche, auch für einheitliche Körper noch weitere Aggregatzustände aufzustellen, stets als überflüssig oder gar irreführend erwiesen. Vgl. auch Materie, Kinetische Theorie und Phasenlehre.

*Airysche Spiralen*, s. Drehung der Polarisations ebene.

*Akkommodation*, s. Sehen.

*Akkorde*, s. Harmonie.

**Akkumulatoren** oder *Sammler* oder *Sekundärelemente* oder *Ladungselemente* sind solche galvanische Elemente, welche weil zunächst aus zwei identischen Metallplatten (und einer Säure) aufgebaut, keine Potentialdifferenz haben

und somit keinen Strom liefern, sondern zu diesem Zwecke erst formiert werden müssen, was durch *Ladung* mit einem elektrischen Strome geschieht. Wenn das ein Nachteil gegenüber den Primärelementen ist, so stehen dem entscheidende Vorzüge zur Seite, insbesondere die große Ladungskapazität und die Eigenschaft, durch die Stromentnahme nicht zerstört, sondern nur entladen und zurückgebildet zu werden, so daß sie dann von neuem geladen werden können; mit andern Worten: der Prozeß ist bei den Akkumulatoren umkehrbar (reversibel). Das einzige Metall, das sich bisher bewährt hat, ist das Blei, was die Anwendbarkeit wegen des hohen Gewichts dieses Metalls meist auf stationäre Verwendung beschränkt; als Flüssigkeit dient Schwefelsäure vom spezifischen Gewicht 1,15 bis 1,20. Die Bleiplatten werden, damit der chemische Formierungsprozeß möglichst gut und tief eindringe, mit Rippungen, Vertiefungen oder Lochungen versehen. Bei der Ladung färbt sich die mit dem positiven Pole verbundene Platte dunkelbraun; es entsteht Bleisuperoxyd, an der negativen wird Wasserstoff entwickelt. Das Formieren wird sehr erleichtert durch Anbringen einer Paste aus Mennige mit Schwefelsäure auf der Platte. Der chemische Vorgang verläuft nach der Formel  $Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4 \rightleftharpoons 2PbSO_4 + 2H_2O$ . Bei der Ladung setzt die elektromotorische Gegenkraft des Akkumulators mit 2 Volt ein und steigt unter Gasentwicklung nach und nach bis auf 2,7 Volt; nach der Unterbrechung des Ladestroms sinkt sie auf 1,95 Volt, und dann stellt sich die normale elektromotorische Kraft von 2 Volt ein, unter Umständen noch ein wenig darüber. Sie sinkt aber allmählich, und wenn sie auf 1,85 Volt gesunken ist (was entweder mit dem Voltmeter oder indirekt durch Beobachtung des spezifischen Gewichts der Schwefelsäure mit dem Aräometer konstatiert wird), muß zur Verhütung von Schädigung frisch geladen werden; auch füllt man eventuell Säure nach. Der Widerstand eines großen Akkumulators ist sehr klein und gegenüber den

andern Widerständen des Kreises meist zu vernachlässigen. Die Strommenge, die man einem Akkumulator entnehmen kann, heißt seine *Kapazität*, gemessen in Amperestunden; sie beträgt ungefähr das Vierfache der Oberfläche der positiven Platte in Quadratdezimetern. Der Wirkungsgrad ist ziemlich hoch; er beträgt 80 bis 90 Prozent. — Von andern Typen sei noch der Eisen-Nickelakkumulator erwähnt; sie haben aber noch nicht bis zur praktischen Verwendbarkeit durchgearbeitet werden können. — Akkumulatoren werden wie galvanische Elemente zu Batterien — Sammlerbatterien — zusammengestellt, und zwar je nach Bedarf in Parallel- oder Serien- oder gemischter Schaltung. Eine ihrer Hauptaufgaben ist der Ausgleich der im Laufe des Tages sehr schwankenden Beanspruchung eines Elektrizitätswerkes: in der Zeit der geringen Beanspruchung werden die Akkumulatoren von den Dynamomaschinen geladen; in der Zeit starker Beanspruchung beteiligen sie sich an der Stromlieferung.

*Aklinische Linie*, s. Erdmagnetismus.

*Aklinische Achromasie*, s. Chromatische Aberration.

*Aklinische Strahlen*, s. Strahlung.

*Aktinometrie*, s. Wärmestrahlung.

*Aktion und Reaktion*, s. Wechselwirkung.

*Aktive Stoffe*, s. Drehung der Polarisationsebene.

*Aktiver Flug*, s. Luftschiffahrt.

*Aktivität*, s. Radioaktivität.

*Aktuelle Energie*, s. Energie.

*Akustik*, die Lehre vom Schall und den Tönen, s. Schall.

**Akustik der Gebäude** ist die Gesamtheit der Probleme, die die getreue Wiedergabe von Sprachlauten und Tönen innerhalb geschlossener Räume betreffen; auch als *architektonische Akustik* bezeichnet. Es handelt sich im idealen Falle darum, dafür zu sorgen, daß jeder Laut oder Ton, an welcher Stelle er auch produziert werden mag, an jeder Stelle des Raumes unverfälscht gehört werde, insbesondere ohne störenden Nachhall (ein gewisser Nachhall ist sogar für die Fülle des Tones vorteil-

haft, Optimum meist  $\frac{1}{3}$  bis  $\frac{1}{4}$  Sekunden), ohne Verwirrung der aufeinander folgenden Töne und in überall gleichmäßiger Stärke. Die wichtigsten hierbei in Betracht kommenden Faktoren sind die Reflexion des Schalles an den Wänden, seine Absorption durch diese und andre Oberflächen, die Interferenz der sich kreuzenden Wellen miteinander, die Beugung durch Pfeiler, Kanten usw. Obwohl hiernach das Problem sehr verwickelt ist, ist es doch neuerdings bis zu einem gewissen Grade gelöst worden; die praktische Anwendung dieser Lösung stößt aber meist auf Schwierigkeiten wegen des Konfliktes mit architektonischen und andern Interessen. Einige Hauptpunkte seien hier angeführt: geometrisch einfache Formung der Wände, am besten mit paraboloidischen (eventuell halbkreisförmigen) Konturen, Abfangen der störenden Reflexwellen in großen Räumen durch weiche Stoffe, während in kleinen Räumen gerade Teppiche schädlich sind; andererseits Anbringung geeigneter Ebenen, die die Wellen parallel in den Raum gelangen lassen usw.

**Akustische Bewegungen** sind ponderomotorische Wirkungen der Schallwellen;

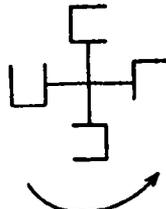


Fig. 4.

sie bestehen teils in *Anziehung* und *Abstoßung*, teils in *Einstellungs-, Rotations- oder Schwingungserscheinungen*. Als Erreger dienen am besten Stimmgabeln auf Resonanzkästen oder Pfeifen, als Empfänger leichte Kugeln oder Scheibchen, Halbkugeln, Federn, Resonatoren oder Flammen. Spezifisch schwerere Körper als Luft werden angezogen, leichtere abgestoßen (z. B. ein Ballon mit Wasserstoff); nur in gewissen Fällen treten Anomalien auf. Eine kleine

Papierscheibe — *Rayleighsches Scheibchen* — stellt sich vor der Öffnung eines Resonators quer, und zwar desto vollkommener, je stärker der Ton ist (An-

*ohne mit* *ohne mit*  
*Erregung* *Erregung*

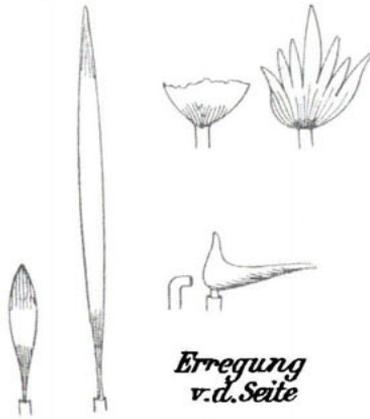


Fig. 5

wendung zur Tonstärkemessung, s. d.). Ein drehbares Kreuz von Scheibchen

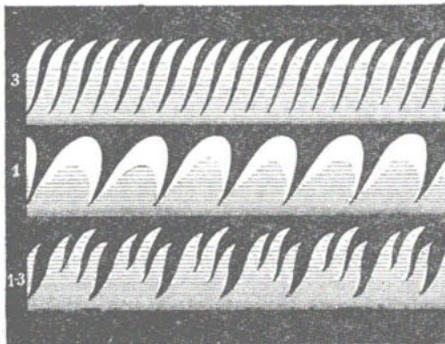


Fig. 6.

oder Resonatoren gelangt in geeigneter Aufstellung vor dem Erreger in dauernde Rotation (Fig. 4), wobei der Sinn der Rotation in einfachen Fällen leicht ver-

ständig ist, in andern aber in komplizierter Weise von einzelnen Faktoren abhängt. — Hierher gehören auch die *sensitiven oder empfindlichen Flammen*

Laßt man aus der kleinen Öffnung eines engen Rohres Gas ausströmen und zündet es an, so ist die Flamme bei geringem Druck unempfindlich; aber bei 25 cm Wasserdruck und 40 cm Flammenhöhe (oder ähnlichen Verhältnissen) wird sie uberaus empfindlich: bei Erregung, auch aus weiter Ferne, durch einen hohen Ton oder ein, wenn auch ganz kurzes und unbestimmtes Geräusch (Zischen, Pfeifen, Klappern usw.) verkürzt und verbreitert sie sich oder verlöscht gar völlig; Flammen aus Fledermausbrennern bekommen lange Zacken, Gebläseflammen, auf die man von der Seite einen Luftstrom treibt, werden durch Pfeifen völlig umgelegt usw. Einige Beispiele in den Figg. 5. In tönende Pfeifen eingebracht, nehmen Flammen regelmäßige Schichtung an. Die Theorie ist in den Hauptzügen klar, in den Einzelheiten aber verwickelt und noch vielfach strittig. — Eine andere Art von empfindlichen Flammen sind die als Beobachtungshilfsmittel wertvollen *manometrischen Flammen* von König: einer Kapsel wird einerseits durch einen Schlauch Leuchtgas, andererseits durch eine membranöse Wandung Schallbewegung zugeführt, und an einer dritten Stelle dann das Gas zur Brennoöffnung herausgelassen; durch den periodisch wechselnden Druck gerät die Flamme in entsprechend periodische Schwingungen, die man mit Hilfe eines rotierenden Spiegels chronographisch auflösen kann. Beispiel: Flammenbilder für Grundton, Duodezime und Kombination beider, s. Fig. 6.

*Akustische Linsen*, s. Reflexion und Brechung des Schalls

*Akzidentelle Doppelbrechung*, s. Kristalloptik.

*Albedo*, s. Lichtstärke.

*Alkoholometer*, s. Dichtemessung.

*Allaktin*, s. Lumineszenz, Strahlung.

*Allotrope Modifikationen*, s. Phasenlehre.

*Alpha-Strahlen*, s. Radioaktivität.

*Alt*, s. Stimme und Sprache.

*Altern eines Magneten*, s. Hysteresis.

*Aluminiumgleichrichter*, s. Elektrische Ventile, Elektrolyse.

*Amagnetische Lösungen*, s. Diamagnetismus.

*Amboß*, s. Gehör.

*Amorph*, s. Materie.

*Ampere*, s. Elektrische Ströme; Elektrische und magnetische Messungen.

*Ampereometer*, s. Strommessung.

*Ampèresche Schwimmregel*, s. Elektromagnetismus.

*Ampèresches Gesetz*, s. Elektrodynamik.

*Ampèresche Theorie des Magnetismus*, s. Magnetische Theorien, Elektromagnetismus.

*Ampere Stunde*, s. Strommessung.

*Ampere wage*, s. Strom wage.

*Ampere windungen*, s. Elektromagnetismus.

*Amplitude*, s. Schwingungen, Tonstärke.

*Amylacetatlampe*, s. Lichtstärke.

*Analoger Pol*, s. Pyroelektrizität.

*Analysator*, s. Polarisation.

*Analytische Mechanik*, s. Mechanik.

*Anamorphot*, s. Linsen.

*Anastigmat*, s. Astigmatismus, Linsen, Photographisches Objektiv.

*Anemometer*, s. Winde.

*Aneroid*, s. Barometer.

*Anfangspunkt*, s. Ort.

*Angularvergrößerung*, s. Abbildung.

*Anion*, s. Elektrolyse, Ionen.

*Anisotrop*, s. Materie, Aggregatzustände.

*Anker*, s. Dynamomaschine, Magnet, Zeitmessung.

*Anlassen*, s. Geschmeidigkeit.

*Anlauffarben*, s. Farbenlehre.

*Anode*, s. Elektrolyse.

*Anodenlicht*, s. Glimmlicht.

*Anodenstrahlen*, s. Kanalstrahlen.

*Anomale Dispersion*, s. Dispersion.

*Anomale Magnetisierung*, s. Remanenz.

*Ansegelungstonne*, s. Spiegel.

*Antenne*, s. Drahtlose Telegraphie.

*Antikathode*, s. Röntgenstrahlen.

*Antiloger Pol*, s. Pyroelektrizität.

*Antiphon*, s. Gehör.

*Antizyklon*, s. Winde, Wirbelbewegung.

*Antrieb*, s. Arbeit.

*Anziehung*, s. Gravitation, Elektrostatik, Magnetismus.

*Aperiodische Bewegung*, s. Dämpfung, Magnetschwingungen, Selbstinduktion.

*Apertometer*, s. Mikroskop.

*Apertur*, s. Mikroskop.

*Aperturblende*, s. Abbildung.

*Aplanat*, s. Photographisches Objektiv.

*Aplanatische Fläche*, s. Brechung des Lichts, Geometrische Optik, Reflexion des Lichts.

*Apochromat*, s. Chromatische Aberration, Dispersion, Linsen, Mikroskop.

*Ar*, s. Flächenmaß.

*Aräometer*, s. Dichtemessung.

**Arbeit.** Geht man von der Energie als etwas Realem und Gegebenem aus, so ist Arbeit einfach die Abgabe von Energie oder — negative Arbeit — der Verbrauch von Energie; Formel:  $A = E_1 - E_2$ . Geht man von der Kraft aus, und zwar, um mit einem realen Falle zu beginnen, von der Muskelkraft, so ist Arbeit die Wirkung dieser Kraft unter Überwindung einer gleich großen Gegenkraft, unter Wirkung zunächst etwas möglichst Allgemeines genommen. Hiernach ist das Halten eines schweren Körpers mit ausgestrecktem Arme ebenso eine Arbeit wie das Heben eines Körpers; jenes ist *statische*, dieses *kinetische* Arbeit. In der heutigen Mechanik wird jedoch nur die letztere als Arbeit gerechnet; man kann also definieren: Arbeit ist das Produkt aus Kraft und Strecke (letztere, soweit sie in die Richtung der Kraft fällt);  $A = K \cdot l$  oder, wenn sich während des Prozesses  $K$  ändert:  $A = \int K \cdot dl$ . Graphisch wird die Arbeit durch das *Arbeitsdiagramm* dargestellt; es ist im ersten Falle ein Rechteck, im zweiten die von der Kraftkurve, dem entsprechenden Stücke der Abszissenachse und den beiden Grenzordinaten eingeschlossene Fläche; bei einem Kreisprozesse endlich die von der Kraftkurve eingeschlossene Fläche: Fig. 7, 1, 2, 3. Dimension:  $[A] = l^2 t^{-2} m$ . Dem Streckenbegriff der Arbeit könnte man einen Zeitbegriff gegenüberstellen:

$\mathcal{A} = K \cdot t = \int K \cdot dt$ , worin dann auch die statische Arbeit mitenthalten wäre (Verhältnis des Zeitlohns zum Stücklohn); vielfach wird diese Größe als *Antrieb der Kraft* bezeichnet. — Die Einheit der Arbeit ist im absoluten System das *Erg*, d. h. die Arbeit einer Dyne (s. Kraft) auf einem Zentimeter; das Tausendfache hiervon ist ein Kiloerg, das Millionenfache ein Megaerg. In der Praxis benutzt man noch vielfach statt der Dyne das Kg-

Gewicht (s. Maßsysteme), statt des Zentimeters das Meter und erhält dann als Arbeitseinheit das *Meterkilogramm*:  $1 \text{ mkg}^* = 98,1 \text{ Megaerg}$ . In früheren Zeiten diente statt dessen vielfach das *Fußpfund* ( $= 0,13826 \text{ mkg}^*$ ). — Die in der Sekunde geleistete oder durchschnittlich geleistete Arbeit heißt *Sekundenarbeit* oder *Effekt* oder *Leistung* (besser wäre *Leistungstärke* oder *spezifische Leistung*); sie ist für einen Mechanismus oder eine Maschine das

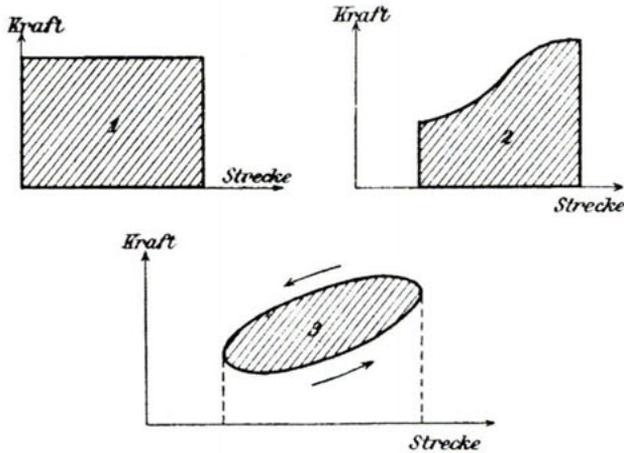


Fig. 7.

allein Charakteristische. Ihre Einheit im absoluten System ist das *Sekunden-erg*; das Zehnmillionenfache hiervon heißt ein *Watt*, das Tausendfache hiervon wiederum ein *Kilowatt*:  $1 \text{ Kw} = 10^{10} \text{ Sek.-Erg}$ . Statt dessen ist noch vielfach eine andre Einheit, die *Pferdekraft* oder *Pferdestärke*, gebräuchlich:  $1 \text{ P. S.} = 736 \text{ Watt} = 0,736$  (rund  $\frac{3}{4}$ ) *Kw*; oder umgekehrt:  $1 \text{ Kw} = 1,36 \text{ P. S.}$  Formel:  $L = K \cdot l/t$ , allgemeiner

$$L = \frac{1}{t} \int K \cdot dl;$$

Dimension:  $[L] = l^2 t^{-3} m$ . — Geht man jetzt von der Leistung wieder auf die ganze Arbeit zurück, so muß man mit der Zeitdauer des Betriebes multiplizieren und erhält so die Begriffe Watt-

sekunde, Kilowattsekunde, *Kilowattstunde*; letztere ist:  $1 \text{ Kwst} = 36 \text{ Billionen Erg}$ . Da sie rund mit 36 Pfennigen, also ein Erg mit einem billontel Pfennig, bewertet wird, ersieht man, eine wie kleine Einheit das Erg ist; trotzdem bringt es schon merkliche Wirkungen hervor, z. B. einen deutlich hörbaren Ton (Empfindlichkeit des Ohrs). Von der Pferdekraft gelangt man zur *Pferdekraftstunde*  $= \frac{3}{4} \text{ Kilowattstunde} = 27 \text{ Billionen Erg}$ . — Außer der mechanischen Arbeit gibt es noch: kalorische Arbeit, die durch die äquivalente Wärmemenge gemessen wird (s. Wärmeäquivalent), die elektrische Arbeit, gleich dem Produkt aus Spannung und Elektrizitätsmenge, die Leistung entsprechend dem Produkt aus Spannung und

Stromstärke ( $L = e \cdot i$ ), die Magnetisierungsarbeit usw., vgl. die betreffenden Stellen. — Von der *aufgewandten* Arbeit kommt (infolge der Zerstreuung von Energie usw.) immer nur ein Teil den Zwecken des Prozesses zugute; dieser Teil heißt *Nutzeffekt*, sein Verhältnis zum ganzen Aufwand aber *Wirkungsgrad* oder *Güteverhältnis* (irreführend wird auch hierfür oft *Nutzeffekt* gesagt).

*Arbeitsäquivalent*, s. Wärmeäquivalent.

*Arbeitsäquivalent des Lichts*, s. Strahlungsdruck.

*Arbeitsdiagramm*, s. Arbeit.

*Arbeitselemente*, s. Galvanische Elemente.

*Arbeitsfähigkeit*, s. Energie.

*Arbeitsstrom*, s. Telegraphie.

*Arbeitsvorrat*, s. Energie.

*Archimedisches Prinzip*, s. Schwimmen.

*Architektonische Akustik*, s. Akustik der Gebäude.

*Artesischer Brunnen*, s. Ausfluß der Flüssigkeiten.

*Aspirationspsychrometer*, s. Feuchtigkeit.

*Atasie*, s. Gleichgewicht.

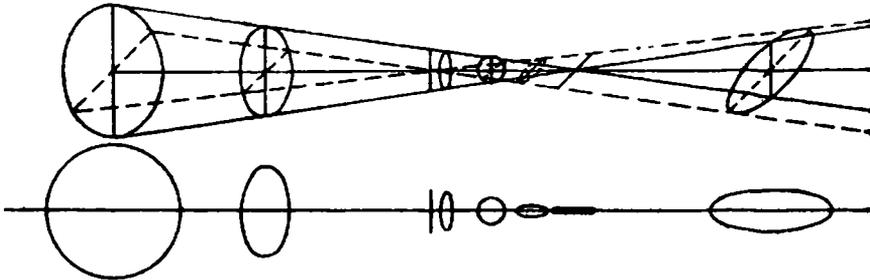


Fig. 8.

*Atasierung*, s. Galvanometer, Magnet.

*Astatisches Nadelpaar*, s. Magnet.

**Astigmatismus** (Nichtpunktförmigkeit) ist der Abbildungsfehler, der darauf beruht, daß von einem räumlichen Strahlenbündel zwar diejenigen Strahlen, die einem ebenen Schnitt desselben angehören, sich in einem Punkte vereinigen, nicht aber die Strahlen verschiedener Schnitte; er tritt immer dann auf, wenn die auf den Strahlen senkrechten Flächen verschiedene Hauptkrümmungen haben, also bei den Flächen, die von der Kugelform abweichen; aber auch bei Kugelflächen dann, wenn das Bündel räumlich schief und in verschiedenen Ebenen unter verschiedenem Winkel auftritt. In der Hauptsache genügt es, die beiden Hauptschnitte zu betrachten, z. B. einen vertikalen und einen horizontalen. Die Strahlen des einen schneiden sich dann in einer andern Entfernung wie die des andern; wo die vertikalen sich schneiden, bilden die horizontalen noch

eine horizontale Linie, wo die horizontalen sich schneiden, bilden die vertikalen schon wieder eine vertikale Linie. Statt der punktförmigen hat man also an diesen beiden Stellen eine strichförmige Abbildung; beide Stellen zugleich betrachtet, liefern ein Kreuz, eventuell Sterne usw. (I-Punkte, Sterne am Himmel usw.). Dazwischen gibt es eine Stelle — die Stelle kleinster Verwirrung —, wo die Auseinanderspreizung in beiden Richtungen gleich groß ist. Geht man von einem Kreis aus, so erhält man der Reihe nach die in der Fig. 8 angedeuteten Bilder (der Sichtbarkeit halber in der unteren Reihe in die Papierebene hineingedreht, auf der sie eigentlich senkrecht stehen). Der Abstand der beiden Vereinigungspunkte auf der Achse heißt *astigmatische Differenz*. Die beiden durch extreme Eigenschaften ausgezeichneten Hauptschnitte heißen *Meridionalbündel* und *Sagittalbündel*. — Astigmatismus tritt sowohl bei der Reflexion wie bei der Brechung

auf. Sehr verbreitet ist er beim menschlichen Auge (Abweichung der Kristalllinse von der Kugelgestalt, s. Sehen). Korrigiert wird er durch Einschaltung zylindrischer oder sphärozyklischer oder sphärotorischer Gläser, unter Umständen aber auch durch geeignete Kombination von sphärischen Linsen (s. Brille). Ein Objektiv, das zur Beseitigung des Astigmatismus dient, heißt *Anastigmat*; es spielt besonders in der photographischen Optik wegen der dort oft sehr schief auffallenden Büschel eine wichtige Rolle (s. Photographisches Objektiv).

*Astronomische Dämmerung*, s. Sonne.

*Astronomisches Fernrohr*, s. Fernrohr.

*Astronomische Strahlenbrechung*, s. Brechung des Lichts.

*Asynchronmotor*, s. Dynamomaschine.

*Atmolyse*, s. Diffusion.

*Atmosphäre*, s. Druck, Luftdruck.

**Atmosphärische Elektrizität.** Elektrometrische Messungen, insbesondere mit eigens dazu gebauten Luftelektrometern, Luftvoltmetern usw. (z. T. mit automatischem Aufzeichnungsbetriebe versehen), zeigen, daß zwischen den dem Erdboden benachbarten und den höheren Schichten der Atmosphäre erhebliche Potentialunterschiede bestehen, und zwar in dem Sinne, daß das Potential nach oben hin zunimmt, also von oben nach der Erde hin abnimmt. Dieses *Potentialgefälle* hängt von der Jahreszeit usw. stark ab, beträgt aber im Durchschnitt 100 bis 300, in den Extremen 50 bis 400 Volt auf das Meter. Die Ursache ist einerseits eine negative Ladung der Erde (im ganzen rund  $5 \cdot 10^{16}$  elektrostatische Einheiten oder ein Tausendstel pro Quadratzentimeter), andererseits aber eine positive Ladung der höheren Luftschichten, etwa von 1500 m an aufwärts. Beide gleichen sich im allgemeinen nahezu aus, so daß das Gesamtpotential der Erde samt Atmosphäre null ist. Die Flächen gleichen Potentials sind im allgemeinen horizontale Ebenen, nur an Bergen, aber auch an Bäumen und Häusern, biegen sie nach oben aus. Das Potentialgefälle ist im Winter größer als im Sommer und bei trockenem Wetter größer als bei

feuchtem. Besonders aber steigt es zu ganz erheblichen Werten, wenn sich Niederschläge bilden. Wird die Ladung übermäßig, so tritt Entladung in Gestalt eines *Gewitters* ein. Man unterscheidet *Wärmegewitter*, eine Folge besonderer Erwärmung der Luft bei gleichzeitiger rein lokaler Luftdepression und großer Feuchtigkeit („Schwüle“) und von ganz lokalem Charakter; und andererseits *Wirbelgewitter* bei stärkerer Luftdepression und von ausgedehntem Charakter; meist tritt zugleich Hagelwetter auf. Über die Ladung der Wolken und Niederschläge selbst läßt sich Allgemeines nicht aussagen; selbst das Vorzeichen ist verschieden und wechselt oft während des Gewitterverlaufs. — Die Theorie des Gewitters und der atmosphärischen Elektrizität überhaupt hat vielfache Wandlungen durchgemacht. Lange Zeit herrschte die Reibungstheorie, insbesondere wurde die Reibung der Hagelkörner an der Luft zugrunde gelegt und in Übereinstimmung damit behauptet, Gewitter und Hagel wären immer notwendig miteinander verbunden. Gegenwärtig steht eine andre Theorie im Vordergrund: die *Ionisierungstheorie*. Hiernach enthält die Atmosphäre stets zahlreiche freie geladene Ionen (s. d.), und zwar infolge der Sonnenstrahlung, insbesondere mit ultravioletten Strahlen, aber auch aus andern Ursachen; diese Ionenbildung wird in höheren Schichten stärker begünstigt als in den unteren. Ferner besteht ein Gegensatz zwischen den positiven und den negativen Ionen: letztere sind beweglicher als erstere, und sie zerstreuen die Elektrizität viel leichter als jene. Dazu kommt schließlich noch die Einwirkung der aus dem Erdboden strömenden, durch Radioaktivität und sonst ionisierten Luft, deren negative Ionen am Erdboden verbleiben, während die positiven aufsteigen. Ein großer Teil der Erscheinungen, sowohl der normalen wie der Gewitterelektrizität, findet so seine Erklärung, bei andern bestehen noch Schwierigkeiten. — Die Entladung infolge übermäßiger Spannung erfolgt in Form von *Blitzen*, d. h. von elektrischen Funken von ungeheuren Dimen-

sionen; die Länge beträgt bis zu einigen Kilometern. Die entladene Elektrizitätsmenge liegt meist zwischen 50 und 300 Cb. Der normale Blitz ist der *Linienblitz*, sei es zwischen zwei Wolken, sei es zwischen einer Wolke und einem exponierten Punkte der Erdoberfläche (Berggipfel, Baum, Turm usw.). Infolge von lokalen Verschiedenheiten der Leitungsbahn hat der Blitz meist unregelmäßige (jedoch niemals zickzackförmige) Gestalt, auch laufen vielfach mehrere Leitungsbahnen nebeneinander her, und mannigfache Verästelungen bilden Brücken zwischen ihnen. Durch photographische Aufnahmen sind die Einzelheiten gut aufgeklärt worden. Die durch den Blitz dargestellte Entladung gehört im allgemeinen zur Klasse der *oszillierenden Entladungen* (s. Induktionsströme und Entladung); aber auch hier beträgt die Gesamtdauer im allgemeinen noch immer weniger als eine Sekunde. Ferner gibt es *Flächenblitze* (Ausgleich der Spannung auf einem größeren Gebiete), die, wenn von fern gesehen, als Wetterleuchten bezeichnet werden, sowie *Kugelblitze*, noch ziemlich rätselhaft; unter den Spezialformen seien noch die *Perlenschnurblitze* genannt. — Eine stille Form der Entladung aus emporragenden Teilen der Erdoberfläche (Türmen, Baumwipfeln usw.) ist das *Elmsfeuer*. Die Wirkungen der Blitze bestehen in mechanischen Zerstörungen, Sprengungen, Zündungen usw. Zu ihrer Verhütung dient der *Blitzableiter*, bestehend aus Auffangstange, Ableitungsdrähten und Erdplatte; diesen Weg zieht die Entladung seines geringen Widerstandes wegen dem Wege durch die Baulichkeiten vor; jedoch ist die schützende Wirkung auf einen von der Spitze ausgehenden Kegel von höchstens  $45^\circ$  beschränkt. Statt dieser einfachen Form wendet man häufig das Melsenssche System an, bei dem das Gebäude mit einem *Käfig* von Drähten umgeben wird. Zum Schutz von elektrischen Leitungen, namentlich Telegraphen- und Telefonleitungen, verwendet man ein Paar einander dicht gegenüberstehender geriefter Metallplatten; einen absoluten Schutz gewähren sie aber nicht. Bei

Starkstromleitungen würden gewöhnliche Vorrichtungen zur Bildung von Lichtbögen und damit zur Schädigung, mindestens aber zu Vergeudung von Energie führen; dem hilft man ab durch Benutzung des *Hörnerblitzableiters*, zwei an isolierenden Glocken befestigte, hörnerartig auseinanderweichende Kupferbügel, von denen der eine mit der Erde, der andre mit der Starkstromleitung verbunden ist; der bei Blitzschlag sich ganz unten, wo die Bügel sich ganz nahe stehen, bildende Lichtbogen wandert dann infolge der Erwärmung nach oben und erlischt schließlich wegen zu großen Abstandes der Hörner. — Durch die plötzliche Erhitzung und die damit verbundenen mechanischen Kräfte wird beim Blitz die Luft aus der Entladungsbahn fortgeschleudert und kehrt dann, unter vielfachen Schwingungen, dorthin zurück; der so entstehende Schall ist der *Donner*. Seine lange Dauer und sein rollender Charakter erklären sich größtenteils aus dem ausgedehnten Ursprungsgebiet in Verbindung mit der Zeit, die der Schall zur Fortpflanzung braucht, wozu dann noch die Reflexion an den Wolken usw. kommt. Die Bestimmung der Entfernung der Entladung aus der Zeit zwischen Blitz und Donner ist daher sehr unsicher und gibt nur ungefähren Anhalt. — Atmosphärisch-elektrischen Charakter: ist auch das Polarlicht (Nordlicht); mit seinem Auftreten fallen meist heftige magnetische Störungen zusammen. Die hierfür zurzeit herrschende, theoretisch und experimentell gut begründete Theorie führt das Phänomen auf von der Sonne ausgehende, im Magnetfeld der Erde in spiralige Bahnen gezwungene Elektronenstrahlen oder Ionenstrahlen ( $\beta$ - oder  $\alpha$ -Strahlen) zurück.

*Atmosphärische Gezeiten*, s. Ebbe und Flut.

**Atmosphärische Optik** ist die Lehre von den Lichterscheinungen in der Luft hülle der Erde. Es gehört hierher eine große Zahl von Einzelphänomenen, die hier größtenteils nur kurz erwähnt werden können: 1. *Atmosphärische Strahlenbrechung* (s. Brechung des Lich-

tes); abnorme Strahlenbrechung in seitlicher Richtung an Berghängen (ein Turm scheint schief zu stehen usw.). — 2. *Luftspiegelung*, eine Folge der Reflexion, meist sogar Totalreflexion, beinahe streifend auf die Grenze verschiedener dichter Luftschichten auffallender Strahlenbüschel; sie kann nach oben, unten oder der Seite erfolgen: Schiffe, Strandlinien, Wälder usw. Bei rascher Veränderung entsteht die *Fata morgana*. — 3. *Szintillation* oder Zitterbewegung, an Sternen, aber zuweilen auch an irdischen Lichtquellen zu beobachten, eine Folge raschen Wechsels der Lichtwege auf Grund wechselnder Dichten, unter Mitwirkung der Interferenz. — 4. *Halo*, *Eisring* (bei einsetzender Kälte um den Mond sehr schön zu sehen), *Nebensonnen* usw., entstehen durch Brechung und Reflexion an in der Luft schwebenden Eiskristallen. — 5. *Höfe* oder *Kränze* um Sonne, Mond, Laternen usw., entstehen durch Beugung der Strahlen an den Wassertropfen in der Luft, besonders intensiv bei Nebel, z. T. auch an Eiskristallen. — 6. Der *Regenbogen* tritt bei gleichzeitigem Sonnenschein und Regen auf; jedoch müssen gewisse konfigurative und physikalische Bedingungen erfüllt sein, damit er wirklich zustande komme. Der Hauptregenbogen hat einen Winkelradius von etwa  $42^\circ$ , ist innen rot, außen violett, dazwischen die andern Spektralfarben; der äußere, schwächere, heißt Nebenregenbogen, Radius etwa  $50^\circ$ , Farben umgekehrt; innerhalb des Hauptregenbogens und im unmittelbaren Anschluss an diesen die überzähligen Regenbogen, bis zu sechs an Zahl und mit andrer Farbenbeschaffenheit und Folge, meist nur Rosa und Grün deutlich hervortretend. Der Hauptregenbogen entsteht durch einmalige, der Nebenregenbogen durch zweimalige Reflexion im Innern der Regentropfen, s. Fig. 9. Das ist aber nur das Grobe der Erscheinung; die Theorie der Sichtbarkeit, der Farbenfolge, der Helligkeitsverhältnisse und der überzähligen Bögen ist sehr verwickelt; hier muß die Wellentheorie des Lichts einschließlich der Beugungsvorgänge herangezogen werden. Es ergibt

sich dann aber eine befriedigende Darstellung aller Einzelheiten. Auch Mondregenbogen kommen vor, ebenso Bogen, erzeugt durch Springbrunnen, Wasserfälle usw. — 7. Die *Himmelsfarbe* ist eine Wirkung der in der Atmosphäre schwebenden kleinen Partikelchen (Luft-, Ammoniumnitrat-, Staubteilchen), die das Licht diffus zerstreuen, und zwar derart, daß in den verschiedenen Richtungen, je nachdem das reflektierte oder das durchgegangene Licht vorherrscht,

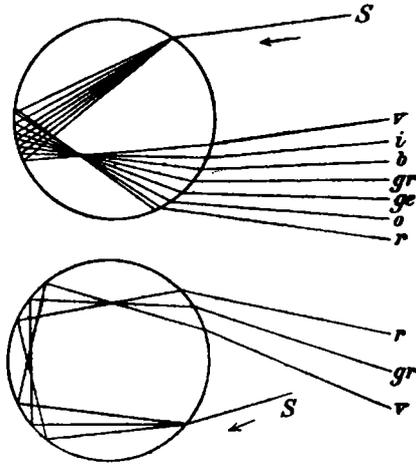


Fig. 9.

die kleinen oder großen Wellenlängen überwiegen: klares Blau, bläuliches Grün, Abend- und Morgenrot usw. Das Alpenglühen beruht auf der Reflexion der Strahlen der bereits untergegangenen Sonne an Wolkenschichten. Mit der Diffusion des Lichts hängen auch die Dämmerungserscheinungen zusammen (s. Sonne). — 8. *Brockengespenst*, der vergrößerte, auf einer Wand (Bergwand, Hauswand) oder im Nebel auftretende Schatten eines von hinten beleuchteten Beobachters.

*Atmosphärische Strahlenbrechung*, s. Brechung des Lichts.

*Atom*, s. Molekulartheorie.

*Atom der Elektrizität*, s. Elektrische Theorien.

*Atomgewicht*, s. Molekulartheorie.

*Atomistik*, s. Materie, Molekulartheorie.

*Atommasse*, s. Molekulartheorie.

*Atommagnetismus*, s. Diamagnetismus, Magnetische Theorien.

*Atommodelle*, s. Molekulartheorie.

*Atomrefraktion*, s. Brechung des Lichts

*Atomsuszeptibilität*, s. Diamagnetismus.

*Atomvolumen*, s. Dichte.

**Atomwärme** ist die Wärmemenge, die ein Körper pro Atom braucht, um seine Temperatur um  $1^{\circ}$  zu steigern; entsprechende Bedeutung für die Molekel hat die *Molekularwärme*. Praktisch führt man dafür mit ihnen proportionale Größen ein, indem man die Molekularwärme auf ein Mol (Gramm-Molekel, d. h. so viel Gramm, wie das Molekulargewicht angibt) bezieht und daraus dann die Atomwärme durch Fraktionierung ableitet. Mit der spezifischen Wärme  $c$  hängen die Größe  $c_a$  und  $c_m$  gemäß den Formeln  $c_a = a \cdot c$ ,  $c_m = m \cdot c$  zusammen, wo  $a$  und  $m$  das Atomgewicht bzw. Molekulargewicht bedeuten. Grundlegend für die Atomwärme ist das *Gesetz von Dulong und Petit*: Die Atomwärme aller festen Elemente ist annähernd die gleiche, und zwar gleich der ganzen Zahl 6. In der Tat sind die Abweichungen meist sehr klein (Minimum 5,7 bei Schwefel, Maximum 6,8 bei Natrium); nur bei Kohle, Bor, Beryll und Silicium sind die Zahlen wesentlich kleiner, am kleinsten bei Diamant, nämlich 1,4. Dafür sind die Zahlen in diesen Ausnahmefällen besonders stark von der Temperatur abhängig, und bei steigender Temperatur nähern sie sich auch hier dem Werte 6. Auf Grund einfacher molekulartheoretischer Erwägungen hat Richarz gezeigt, daß die Zahl 6 desto genauer gelten muß, erstens je größer das Atomgewicht und zweitens je größer das Atomvolumen ist; anders ausgedrückt, erstens, je träger das Atom bei seinen Schwirrbewegungen und zweitens, je weiter es von seinen Nachbarn entfernt ist. Von den 6 Kalorien kommen dann drei auf die kinetische und drei auf die potentielle Energie, entsprechend den Freiheitsgraden der Bewegung und Spannung. Am größten werden die Abweichungen bei sowohl

kleinem Atomgewicht als auch kleinem Atomvolumen, und das ist in der Tat gerade bei den vier genannten Elementen der Fall (s. Periodisches System). Dazu kommt dann noch die starke Änderung mit der Temperatur, insbesondere das Verhalten bei sehr tiefen Temperaturen, bei denen die Atomwärme sich mehr und mehr der Null nähert; schließlich kommt man mit Nernst und Einstein zur Quantentheorie (s. d.) der Atomwärme, die die Erscheinungen auch zahlenmäßig gut darstellt. — Bei chemischen Verbindungen gelten gewisse Beziehungen für die Molekularwärme: chemisch ähnliche Stoffe haben annähernd gleiche Werte; und ferner: die Molekularwärme einer festen Verbindung ist vielfach gleich der Summe der Atomwärmen der Bestandteile: *Gesetz von Kopp*. — Bei Gasen erfordert die Theorie, daß die Molekularwärme, also bei einatomigen Gasen zugleich die Atomwärme, mindestens gleich 3 sei, entsprechend den drei Freiheitsgraden des Atoms und dem hier rein kinetischen Charakter der Energie; bei eintretenden Komplikationen kann sie auch größer sein. Tatsächlich zeigt die Beobachtung, daß der Minimalwert 3 erfüllt ist. Bei zweiatomigen Gasen wird das erforderliche Minimum 5, bei dreiatomigen 6 usw., und auch das wird durch die Erfahrung bestätigt; gleichzeitig aber zeigen sich auch hier Erscheinungen, die zur Einführung der Quantenvorstellung nötigen und alsdann befriedigende Erledigung finden. — Wie aus der spezifischen Molekularwärme, so kann man auch aus allen andern Wärmebeanspruchungen zugehörige molekulare Werte ableiten, insbesondere: 1. Die *molekulare Schmelzwärme*, also die zum Schmelzen eines Mol einer Substanz nötige Wärmemenge; einige Werte:

Blei . . . .	1200	Schwefel . . .	301
Eisen . . . .	1700	Silber . . . .	2280
Jod . . . .	1480	Zink . . . .	1840
Natrium . . .	175	Benzol . . . .	2350
Platin . . . .	5300	Essigsäure . .	2700
Quecksilber .	563	Wasser . . . .	1440

Die Zahlen weisen wesentlich schwächere Kontraste auf als die Schmelzwärmen

(s. d.) selbst. Die molekulare Schmelzwärme steht mit der Schmelzpunktniedrigung  $\Delta$  durch Auflösung eines andern Stoffes in der theoretischen Beziehung  $S_m = 0,02 T^2/\Delta$ . — 2. Die molekulare Verdampfungswärme. Einige Werte:

Äther . . . . .	6500
Alkohol . . . . .	9400
Benzol . . . . .	7300
Essigsäure . . . . .	7300
Kohlensäure . . . . .	6300
Jod . . . . .	6100
Schweflige Säure. . . . .	6100
Schwefelkohlenstoff . . . . .	6400
Wasser . . . . .	9600

Hier tritt noch auffälliger zutage, daß die Kontraste viel schwächer sind wie bei den Verdampfungswärmen (s. d.) selbst, äußerste Werte kaum wie 1 : 2. Theoretische Beziehungen ergeben sich mit Hilfe der kritischen Temperatur  $\Sigma$ :  $V_m/\Sigma = \text{const}$ , gültig für gleiche reduzierte Temperatur (s. Kritischer Zustand) verschiedener Stoffe, und zwar ist die Konstante rund gleich 1,4. — 3. Die molekulare Lösungswärme. Einige Werte in hundertfachen Kalorien, gültig für Lösung in viel Wasser:

KCl	NaCl	LiCl	Borsäure
- 44,4	- 11,8	- 84,4	- 107,9
Rohrzucker	NaJ	NaSO <sub>4</sub>	MgSO <sub>4</sub>
- 8,0	- 12,2	- 4,6	- 202,8

Atwoodsche Fallmaschine, s. Fall.

Auflösung, s. Aggregatzustände, Lösungen.

Auflösungsvermögen, s. Optische Instrumente, Mikroskop.

Aufpunkt, s. Potential.

Auftrieb, s. Hydrostatik, Luftschiffahrt, Schwimmen.

Auge, s. Licht, Sehen.

Augenabstand, s. Brille.

Aureole, s. Lichtbogen.

**Ausbreitung der Flüssigkeiten.** Eine Flüssigkeit kann auf einer andern nur dann in Tropfenform schwimmen, wenn die Kapillarkonstante zwischen beiden (s. Kapillarität)  $\alpha_{12}$  größer ist als die Differenz der beiden Einzelkonstanten  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  gegen Luft. Ist dagegen  $\alpha_{11} < \alpha_1 - \alpha_2$ , so breitet sich die Flüssigkeit 2 auf 1 aus; da meistens  $\alpha_{12}$  klein

gegen  $\alpha_2$  und  $\alpha_2$  ist, kann man auch sagen, daß sich eine Flüssigkeit mit kleinerer Kapillarkonstante auf einer solchen mit größerer ausbreitet. Öl breitet sich auf Wasser, Wasser auf ganz reinem Quecksilber aus, die Ausbreitung erfolgt in manchen Fällen mit großer Geschwindigkeit, bis zu vielen Metern in der Sekunde. Bei der Ausbreitung treten eigentümliche, je nach den Substanzen verschiedene Kohäsionsfiguren auf. — Öl auf Wasser gebracht, breitet sich je nach den Umständen aus oder nicht; unter gewissen Bedingungen fängt es an, sich auszubreiten, zieht sich dann aber wieder zusammen, und ein zweiter Tropfen bleibt dann bewegungslos. — Hiermit hängen auch zahlreiche Phänomene, wie die Schaum- und Emulsionsbildung, zusammen; auch bei dem Leidenfrostschen Tropfen (s. Verdampfung) wirkt etwas Ähnliches mit. — Durch die Ausbreitung einer, wenn auch überaus dünnen *Ölschicht auf wogendem Wasser* wird dessen Wellenbewegung beruhigt, die Oberfläche also geglättet; indessen ist dieser Vorgang insofern sehr verwickelt, als hier Oberflächenspannung und innere Reibung zusammenwirken und das Ergebnis von dem Verhältnis der beiden Konstanten abhängt. Nach andern handelt es sich hier um eine Anomalie, wie sie bei verunreinigten Wasseroberflächen auftritt.

**Ausbreitungswiderstand**, s. Körperströme.

**Ausdehnung durch Wärme**, s. Thermische Ausdehnung.

**Ausdehnungsarbeit**, s. Spezifische Wärme.

**Ausdehnungskoeffizient**, s. Thermische Ausdehnung.

**Ausfluß der Flüssigkeiten** (zuweilen auch *Effusion* genannt). Die Geschwindigkeit des Ausflusses aus einer Öffnung in der Tiefe  $h$  (Druckhöhe) unter dem Spiegel ist durch das *Torricellische Theorem* gegeben: sie ist gleich der Geschwindigkeit eines Körpers, der die Höhe  $h$  frei durchfallen hat (s. Fall); in Formel  $v = \sqrt{2gh}$ . Experimentell wird gewöhnlich die *Ausflußmenge* ermittelt; die Berechnung der Geschwin-

digkeit aus ihr ist aber nicht ganz einfach (s. w. u.). Liegt die Öffnung in einer Seitenwand, so nimmt der Strahl die Gestalt einer Parabel an (s. Wurf); durch Variierung der Druckhöhe und durch Anwendung verschiedener Öffnungen untereinander kann man mannigfaltig gelegene und gestaltete Parabeln erhalten. Wegen des allmählich sinkenden Spiegels wird die Ausflußgeschwindigkeit immer kleiner; man kann das durch Anwendung einer selbsttätig regulierenden Mariotteschen Flasche (s. Pneumatische Apparate) vermeiden. Bei einem zylindrischen Gefäß gewöhnlicher Art sinkt der Spiegel nicht gleichmäßig, sondern allmählich immer langsamer; bei tulpenförmiger Gestalt sinkt er gleichförmig, und man kann hierauf die Konstruktion einer Wasseruhr gründen. In Wahrheit ist  $v$  wegen der Verluste etwas kleiner als nach obiger Formel; andererseits gilt die Formel nur für die Nähe der Öffnung, weiterhin ist  $v$  wegen der Beschleunigung größer. Bei gleicher Druckhöhe fließen alle Flüssigkeiten gleich schnell aus; dagegen hat man für gleiche Drucke  $v = \sqrt{2p/\rho}$ , d. h. die Geschwindigkeit ist mit der Wurzel aus der Dichte umgekehrt proportional. Die theoretische Ausflußmenge ist  $V = q \cdot v$  ( $q$  der Querschnitt der Öffnung); in Wahrheit ist sie aber kleiner, nämlich  $V = k q v = k q \sqrt{2g h}$ , und hierin heißt  $k$  der *Ausflußkoeffizient*; er ist im Durchschnitt 0,62, variiert aber je nach den Umständen zwischen 0,57 und 0,71. Der Grund für diese Tatsache liegt in der *Kontraktion des Strahls* (*contractio venae*), und diese wiederum ist eine Folge einerseits der Konvergenz der Stromlinien im Gefäß nach der Öffnung hin, andererseits der Beschleunigung der Teilchen im Strahl, s. Fig. 10. Denselben Beweis für die Richtigkeit dieser Annahme gibt der Versuch mit Ansatzstücken an die Öffnung; bei geeignet konischen Ansatzstücken wird  $k = 1$ , bei andern Formen nimmt es alle möglichen Werte zwischen den Extremen an; sogar über 1 kann man hinauskommen. — Die exakte Theorie des Ausflusses ist sehr schwierig und nur unter vereinfachenden An-

nahmen (zweidimensionale Bewegung, also keine Öffnung, sondern ein Spalt, Absehung von der Schwerkraft usw.) durchführbar (Helmholtz, Kirchhoff, Planck, Voigt); dabei wird die Methode der konformen Abbildung benutzt, und es wird die Gestalt von Gefäß und Öffnung nicht als gegeben angenommen, sondern ergibt sich zusammen mit der Gestalt des Strahls durch die Rechnung. — Wenn die Ausflußöffnung seitlich und oben unbegrenzt ist, also statt ihrer nur eine Unterlage vorhanden ist, kommt man zu dem Fallen der Flüssigkeit über ein Wehr (Überfall); eine der vielen

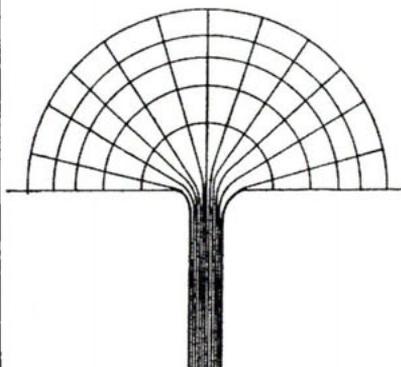


Fig. 10.

Formeln hierfür ist, wenn  $h$  die Höhe des Oberwasserspiegels über der Wehrkante und  $H$  die Oberwassertiefe, endlich  $Q$  die Ausflußmenge für die Breiten-einheit bedeutet:  $Q = (0,4 + 0,003/h) \cdot (1 + 0,55 h^2/H^2) \cdot h \sqrt{2g h}$ . — Der Strahl selbst hat im allgemeinen sehr komplizierte Gestalt; am einfachsten verhält er sich bei kreisförmiger Öffnung: oben klar, unten trübe, weil in Tropfen aufgelöst; außerdem periodisch eingeschnürt. Bei rechteckiger Öffnung besteht der Strahl abwechselnd aus Lamellen in der einen oder der darauf senkrechten Richtung. — Beim Ausfluß aus Öffnungen in der Decke des Behälters, wozu natürlich der erforderliche Druck gehört, entsteht der *Springbrunnen*; die Steighöhe ist wegen der Reibung usw. etwas kleiner als die Druckhöhe. Die

Gestalt wird wegen der Verzögerung der aufsteigenden Bewegung nach oben hin immer breiter, bis Zerstäubung eintritt. Zu den Springbrunnen gehören auch die *artesischen Brunnen*, die man erhält, wenn man ein Bohrloch in eine wasserführende Schicht zwischen zwei undurchlässige Schichten führt, und zwar an eine gegenüber der Umgebung besonders tiefgelegene Stelle der Schicht. — Weitere interessante Erscheinungen treten auf beim Zusammenstoß von Strahlen, Fortreißen von Körpern oder Gasen, Schweben fester Körper auf dem

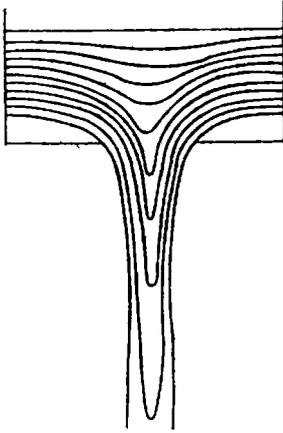


Fig. 11.

Strahl usw. — Auch *feste Körper* können durch genügenden Druck zum Ausfließen gebracht werden, z. B. Ton oder Eis; durch Einteilung in gefärbte oder sonst bezeichnete Parallelschichten innerhalb des Gefäßes kann man hier sogar den Mechanismus des Ausflusses, insbesondere die Deformation der Schichten, sehr schön beobachten, s. Fig. 11.

**Ausfluß der Gase.** Die angenäherte Formel für die Ausströmungsgeschwindigkeit lautet ( $p_1$  innerer,  $p_2$  äußerer Druck):  $v = \sqrt{2(p_1 - p_2)/\rho_1}$ , speziell ins Vakuum:  $v_0 = \sqrt{2p/\rho}$ ; hierin ist das Graham-Bunsensche Gesetz enthalten: Die Ausflußgeschwindigkeit verschiedener Gase verhält sich umgekehrt wie die Wurzel aus ihren Dichten; einige

Zahlen für  $v_0$  in  $m$ : Luft 396, Wasserstoff 1500, Kohlensäure 320, Leuchtgas 500, Wasserdampf 502; die Zahlen stehen in bestimmtem Verhältnis zur Molekulargeschwindigkeit (s. kinetische Theorie) und zur Schallgeschwindigkeit (s. d.). — Für die genauere Formel kommt es darauf an, ob der Ausfluß stationär und isothermisch oder rasch und adiabatisch erfolgt; im ersteren Falle ist, wenn  $a$  die Schallgeschwindigkeit,  $p_1 \rho_1 \varrho_1$  bzw.  $p' \rho' \varrho'$  Druck, Querschnitt, Dichte im Innern bzw. im kontrahierten Querschnitt des Gasstrahls sind:

$$v = a \sqrt{2 \log \frac{p_1}{p'} / \left[ 1 - \left( \frac{\rho' \varrho'}{\rho_1 \varrho_1} \right)^2 \right]};$$

für rasches Ausströmen, wenn  $\kappa$  das Verhältnis der spezifischen Wärmen ist:

$$v = \sqrt{\frac{2\kappa p_1^{1/\kappa} \left[ p_1^{(\kappa-1)/\kappa} - p'^{(\kappa-1)/\kappa} \right]}{(\kappa-1) \varrho_1 \left[ 1 - \left( \frac{p'}{p_1} \right)^{\kappa} \left( \frac{\rho'}{\rho_1} \right)^{2/\kappa} \right]}}$$

und speziell ins Vakuum:

$$v = \sqrt{2\kappa p_1 / (\kappa - 1) \varrho_1}.$$

Über den Wert von  $p'$  wußte man lange Zeit nur, daß er nicht allgemein mit  $p_2$  identisch ist; gelöst wurde die Frage aber erst durch den Satz von Hugoniot: Wenn beim stationären Ausströmen  $p_2 > \beta p_1$  ist ( $\beta = 0,607$  für sehr langsames,  $\beta = 0,522$  für sehr rasches Ausströmen, sonst dazwischen gelegen), so ist  $p' = p_2$ ; wenn dagegen  $p_2 < \beta p_1$  ist, so ist  $p' = \beta p_1$ . Beim variablen Ausfluß gilt der eine Wert, solange die erste, der andre vom Momente an, wo die andre Bedingung erfüllt ist. Mit andern Worten: Die Ausflußgeschwindigkeit wächst mit dem Überdruck, aber nur, wenn bzw. solange das Verhältnis beider Drucke nicht verschiedener als etwa 2:1 ist; andernfalls bzw. von da ab bleibt sie konstant. Entsprechendes gilt auch vom Einströmen von Gas in Behälter.

**Ausfluß fester Körper,** s. Ausfluß der Flüssigkeiten, Geschwindigkeit.

**Ausflußtöne,** s. tönende Systeme.

**Ausgezeichnetster Lichtweg,** s. Brechung des Lichts, Geometrische Optik, Reflexion des Lichts.

*Ausgleichsprinzip*, s. Entropie, Thermodynamik.

*Auslösung* ist ein an sich nicht energetischer (mit einem Minimum von Kraft zu leistender) Vorgang, durch den ein energetischer Prozeß in Gang gebracht wird.

*Ausscheidung*, s. Lösungen.

*Außenohr*, s. Gehör.

*Außenpolmaschine*, s. Dynamomaschine.

*Außen-ton*, s. Schwebungen.

*Außerordentlicher Strahl*, s. Kristalloptik.

*Ausstrahlung* oder *Ausströmung der Elektrizität*, s. Elektrischer Strom, Elektrostatik.

*Ausstrahlung der Wärme*, s. Wärmestrahlung.

*Austrittsluke*, s. Abbildung.

*Austrittspupille*, s. Abbildung.

*Autokollimation*, s. Brechungsquotient, Spektrometrie.

*Avogadroches Gesetz*, s. Gase, Lösungen, Molekulartheorie.

*Avogadroche Zahl*, s. Brownsche Bewegung, Gase, Kinetische Theorie.

*Azendrechung der Erde*, s. Foucaultsches Pendel.

*Azenlänge*, s. Kristalle.

*Azenwinkel*, s. Kristalloptik.

*Axiale Magnetisierung*, s. Magnet.

*Axiabler Vektor*, s. Größe.

*Axiale Vergrößerung*, s. Abbildung.

*Axiar*, s. Größe.

*Axiome der Bewegung*, s. Prinzipien der Mechanik.

## B

*Babinetscher Hahn*, s. Luftpumpe.

*Babinetscher Kompensator*, s. Polarisation.

*Bahnbeschleunigung*, s. Beschleunigung.

*Bahnlinie*, s. Hydrodynamik.

*Ballast*, s. Luftschiffahrt.

*Ballistik*, s. Wurf.

*Ballistische Kurve*, s. Wurf.

*Ballistische Methode*, s. Magnetische Messungen.

*Ballonet*, s. Luftschiffahrt.

*Balmersche Formel*, s. Spektrum.

*Bandenspektrum*, s. Spektrum.

*Bandmaß*, s. Längenmessung.

*Barlousches Rad*, s. Elektromagnetische Apparate.

*Barograph*, s. Barometer.

**Barometer** ist jeder zur Messung des Drucks der freien Atmosphäre geeignete Apparat (allgemeinere Apparate zur Messung beliebiger Gasdrucke heißen Manometer, s. d.). Die wichtigste Klasse beruht auf der Wägung nach dem Prinzip der kommunizierenden Röhren (s. Hydrostatik); der Druck der Atmosphäre wird durch den Gegendruck einer Flüssigkeitssäule kompensiert und gemessen. Als Flüssigkeit dient im allgemeinen Quecksilber: *Quecksilber-*

*barometer*, in seltenen Fällen Wasser: *Wasserbarometer*; auch Glycerin ist benutzt worden. Bei Quecksilber wird die normale Druckhöhe 76 cm, bei Wasser 10 m (Durchbau vom Keller in das Obergeschoß). Bei der Herstellung des Quecksilberbarometers ist darauf zu achten, daß das Hg ganz rein sei; das Rohr wird, mit dem geschlossenen Ende nach unten gehalten, vollständig gefüllt, und zwar unter Ausschluß von Luft und Feuchtigkeit, was durch Auskochen leicht erreicht werden kann; der dann noch verbleibende Hg-Dampf spielt fast nie eine nennenswerte Rolle. Man unterscheidet *Heber* und *Gefäßbarometer*, je nachdem das Rohr aus einem langen, geschlossenen und einem kurzen, offenen Schenkel, beide durch ein gebogenes Mittelstück verbunden, besteht, oder aber aus einem geraden Rohr, das in ein weiteres, mit Hg gefülltes Gefäß taucht. Beim Heberbarometer ist unbequem, daß bei Schwankungen der Luftdrucks sich beide Spiegel ändern; man muß also die Differenz der Niveaus ermitteln oder irgendeine Nachstellvorrichtung, z. B. verschiebbare Skala, anbringen. Beim Gefäßbarometer spielt dieser Fehler eine viel geringere Rolle; aber auch

*Ausgleichsprinzip*, s. Entropie, Thermodynamik.

*Auslösung* ist ein an sich nicht energetischer (mit einem Minimum von Kraft zu leistender) Vorgang, durch den ein energetischer Prozeß in Gang gebracht wird.

*Ausscheidung*, s. Lösungen.

*Außenohr*, s. Gehör.

*Außenpolmaschine*, s. Dynamomaschine.

*Außen-ton*, s. Schwebungen.

*Außerordentlicher Strahl*, s. Kristalloptik.

*Ausstrahlung* oder *Ausströmung der Elektrizität*, s. Elektrischer Strom, Elektrostatik.

*Ausstrahlung der Wärme*, s. Wärmestrahlung.

*Austrittsluke*, s. Abbildung.

*Austrittspupille*, s. Abbildung.

*Autokollimation*, s. Brechungsquotient, Spektrometrie.

*Avogadroches Gesetz*, s. Gase, Lösungen, Molekulartheorie.

*Avogadroche Zahl*, s. Brownsche Bewegung, Gase, Kinetische Theorie.

*Azendrechung der Erde*, s. Foucaultsches Pendel.

*Azenlänge*, s. Kristalle.

*Azenwinkel*, s. Kristalloptik.

*Axiale Magnetisierung*, s. Magnet.

*Axiabler Vektor*, s. Größe.

*Axiale Vergrößerung*, s. Abbildung.

*Axiar*, s. Größe.

*Axiome der Bewegung*, s. Prinzipien der Mechanik.

## B

*Babinetscher Hahn*, s. Luftpumpe.

*Babinetscher Kompensator*, s. Polarisation.

*Bahnbeschleunigung*, s. Beschleunigung.

*Bahnlinie*, s. Hydrodynamik.

*Ballast*, s. Luftschiffahrt.

*Ballistik*, s. Wurf.

*Ballistische Kurve*, s. Wurf.

*Ballistische Methode*, s. Magnetische Messungen.

*Ballonet*, s. Luftschiffahrt.

*Balmersche Formel*, s. Spektrum.

*Bandenspektrum*, s. Spektrum.

*Bandmaß*, s. Längenmessung.

*Barlousches Rad*, s. Elektromagnetische Apparate.

*Barograph*, s. Barometer.

**Barometer** ist jeder zur Messung des Drucks der freien Atmosphäre geeignete Apparat (allgemeinere Apparate zur Messung beliebiger Gasdrucke heißen Manometer, s. d.). Die wichtigste Klasse beruht auf der Wägung nach dem Prinzip der kommunizierenden Röhren (s. Hydrostatik); der Druck der Atmosphäre wird durch den Gegendruck einer Flüssigkeitssäule kompensiert und gemessen. Als Flüssigkeit dient im allgemeinen Quecksilber: *Quecksilber-*

*barometer*, in seltenen Fällen Wasser: *Wasserbarometer*; auch Glycerin ist benutzt worden. Bei Quecksilber wird die normale Druckhöhe 76 cm, bei Wasser 10 m (Durchbau vom Keller in das Obergeschoß). Bei der Herstellung des Quecksilberbarometers ist darauf zu achten, daß das Hg ganz rein sei; das Rohr wird, mit dem geschlossenen Ende nach unten gehalten, vollständig gefüllt, und zwar unter Ausschluß von Luft und Feuchtigkeit, was durch Auskochen leicht erreicht werden kann; der dann noch verbleibende Hg-Dampf spielt fast nie eine nennenswerte Rolle. Man unterscheidet *Heber* und *Gefäßbarometer*, je nachdem das Rohr aus einem langen, geschlossenen und einem kurzen, offenen Schenkel, beide durch ein gebogenes Mittelstück verbunden, besteht, oder aber aus einem geraden Rohr, das in ein weiteres, mit Hg gefülltes Gefäß taucht. Beim Heberbarometer ist unbequem, daß bei Schwankungen der Luftdrucks sich beide Spiegel ändern; man muß also die Differenz der Niveaus ermitteln oder irgendeine Nachstellvorrichtung, z. B. verschiebbare Skala, anbringen. Beim Gefäßbarometer spielt dieser Fehler eine viel geringere Rolle; aber auch

hier sind für feinere Zwecke Regulier-  
vorrichtungen, z. B. mit Hilfe von  
Schraube und Spitze, erforderlich. Andre  
Fehlerquellen bzw. Korrekturen be-  
treffen die Temperatur (die Ausdehnung  
des Hg, des Rohrs und der Skala), die  
kapillare Depression und den Meniskus  
(s. Steighöhe) am oberen Ende der Hg-  
Säule, die Schwereänderung mit Höhe  
und Breite usw. Einige Temperatur-  
Korrektionszahlen für Messingskala sind  
folgende (abzuziehen):

$t =$	1	2	4	6	8
	mm	mm	mm	mm	mm
$b = 70$	0,11	0,23	0,45	0,68	0,90
72	0,12	0,23	0,47	0,70	0,93
74	0,12	0,24	0,48	0,72	0,96
76	0,12	0,25	0,49	0,74	0,98
78	0,13	0,25	0,50	0,76	1,01
80	0,13	0,26	0,51	0,77	1,03

$t =$	10	15	20	25	30
	mm	mm	mm	mm	mm
$b = 70$	1,13	1,70	2,27	2,83	3,40
72	1,16	1,74	2,33	2,90	3,49
74	1,19	1,79	2,39	2,98	3,58
76	1,23	1,84	2,45	3,07	3,68
78	1,26	1,89	2,51	3,15	3,78
80	1,29	1,93	2,57	3,22	3,87

Bei Glasskala ist die Korrektion um  
etwa 6 Prozent größer. Die hinzu-  
fügende Korrektion wegen der Kapil-  
larität beträgt je nach Rohrweite und  
Kuppenhöhe bis zu 2 mm, unter mitt-  
leren Verhältnissen meist 0,5 mm. Die  
Korrektion wegen der Schwereänderung  
mit der Höhe beträgt pro Kilometer  
etwa 0,2 mm (abzuziehen), die wegen  
der geographischen Breite ist, wenn als  
Normalwert der für 45° genommen wird,  
für größere Breiten zu addieren, für  
kleinere zu subtrahieren, bei normalem  
Luftdruck beträgt sie pro Breitengrad  
etwa 0,07 mm. — Die Skala wird jetzt  
allgemein in Zentimeter (oder Millimeter)  
geteilt; Luftdruckangaben werden aber  
häufig auch in Millimetern gemacht.  
Zum genauen Ablesen dient bei feineren  
Instrumenten eine Lupe; jedenfalls ist

horizontal zu beobachten, um die Parall-  
axe zu vermeiden. Ein in jeder Be-  
ziehung exaktes Instrument heißt *Norm-  
albarometer* und wird nur zur Kon-  
trolle benutzt. Eine Spezialität sind die  
Reisebarometer, bei denen Gefäß und  
Rohr in besondere Schutzhüllen ein-  
gebracht sind. — Eine andere Klasse  
von Barometern sind die Feder-, Dosen-,  
Metall- oder *Aneroidbarometer*, bei denen  
der Druck der äußeren Luft mit dem  
einer Luftmasse verglichen wird, die in  
einer elastischen Kapsel (Wellblech oder  
dgl.) eingeschlossen ist; mit der elasti-  
schen Hülle ändert ein Zeiger seinen  
Stand, der an einer empirisch graduierten  
Skala abgelesen wird; häufige Nach-  
prüfung wegen der Veränderung der  
Elastizität durchaus erforderlich. Die  
Aneroidbarometer sind nicht entfernt  
so exakt wie die Hg-Barometer, aber  
handlicher und darum namentlich für  
Reisezwecke, insbesondere auch für  
barometrische Höhenmessung (s. Luft-  
druck) bequemer; eine sehr bewährte  
Form ist das Goldschmidtsche Kapsel-  
barometer. — Ist der Apparat mit einer  
Vorrichtung zur fortlaufenden Aufzeich-  
nung des Luftdrucks versehen, so heißt  
er *Barograph*; am genauesten ist auch  
hier der Hg-Barograph, insbesondere  
der Sprungsche Laufgewichtsbarograph,  
der auf einer sinnreichen Laufgewichts-  
einrichtung beruht. Einfacher gebaut  
und darum weit verbreitet sind die  
Aneroidbarographen, bei denen der er-  
wähnte Zeiger auf einer in gleichförmiger  
Rotation und zugleich langsamer Fort-  
schreitung begriffenen Trommel mit  
Farbstoff die Luftdruckkurve aufzeich-  
net. — Handelt es sich nur um die  
Verfolgung der Schwankungen des Luft-  
drucks, ohne Rücksicht auf seine wirk-  
lichen Werte, so sind die *Luftdruck-  
variometer* sehr zweckdienlich; am ein-  
fachsten und durchaus bewährt (z. B.  
für die Zwecke der Luftfahrt) ist die  
Toepfersche *Drucklibelle* (s. auch Dichte-  
messung), bestehend aus einem kurzen,  
leicht gebogenen, einseitig geschlossenen  
Rohr mit einem Flüssigkeitsfaden in der  
Mitte, der je nach den Schwankungen  
hin und her geht und an einer empiri-  
schen Skala die Schwankungen abzu-

lesen erlaubt. — *Barometerprobe* ist ein abgekürztes oder umgebogenes Barometer.

*Barometerprobe*, s. Barometer, Luftpumpe.

*Barometrische Höhenmessung*, s. Luftdruck.

*Barometrisches Maximum*, s. Luftdruck.

*Barometrisches Minimum*, s. Luftdruck, Wirbelbewegung.

*Barretter*, s. Bolometer, Strommessung.

*Baryton*, s. Stimme und Sprache.

*Basilmembran*, s. Gehör.

*Baß*, s. Stimme und Sprache

*Bathometer*, s. Pneumatische Apparate.

*Batterie*, s. Galvanische Elemente, Kondensator.

*Bauch*, s. Wellenbewegung.

*Beaufortskala*, s. Winde.

*Becquerelstrahlen*, s. Radioaktivität.

*Bedingte Magnetisierung*, s. Ferromagnetismus.

*Bedingungen*, s. Kraft.

*Beharrungsprinzip*, s. Trägheit.

*Beharrungsvermögen*, s. Trägheit.

*Beleuchtung*, s. Lichtstärke.

*Beleuchtungsapparat*, s. Mikroskop.

*Beleuchtungsmenge*, s. Lichtstärke.

*Belichtung*, s. Photographie.

*Benetzung*, s. Innere Reibung, Kapillarität.

*Benzinmotor*, s. Kalorische Maschinen.

*Beobachtung*, s. Experiment, Physik.

*Beobachtungsfehler*, s. Experiment.

**Berührungselektrizität** oder *Kontakt-elektrizität* oder *Galvanische* oder *Volta-Elektrizität* ist die bei der Berührung heterogener Körper ohne sichtbaren Arbeitsaufwand auftretende Potentialdifferenz oder elektromotorische Kraft. Sie ist zuerst von Galvani (daher der Name: *Galvanismus*) durch die Zuckungen von Froschschenkeln und dann von Volta unter physikalisch reinen Verhältnissen beobachtet worden. Bringt man eine Zinkplatte und eine Kupferplatte an isolierenden Handhaben miteinander in Berührung und hebt sie dann voneinander ab, so erweist sich durch Verbindung mit einem Elektrometer das Zink als positiv, das Kupfer als negativ geladen: *Voltaeffekt* oder *Volta'scher Fundamentalversuch*; die Potentialdiffe-

renz beträgt ungefähr 1 Volt. Zur Erklärung standen sich lange Zeit zwei Theorien gegenüber: die reine *Kontakttheorie*, die aber über den energetischen Ursprung der Elektrizität keinen Aufschluß geben konnte, und die *chemische Theorie*, die sich auf die erfahrungsgemäß in der Grenzschicht sich bildenden Oxyd- und Wasserhäutchen stützt und dadurch bestätigt wird, daß bei Erwärmung und Trocknung die Potentialdifferenz fast auf null heruntergeht. Unter diesen Umständen kommt den zahlreichen älteren Messungen von Kontaktpotentialen, den dafür aufgestellten *Spannungsserien* der Metalle usw. keine allgemeinere Bedeutung zu. Exakte und zuverlässige Messungen gelangen erst, als man Garantien dafür schuf, wirklich frische und reine Metalloberflächen zur gegenseitigen Einwirkung zu bringen; und das gelang mit Benutzung der kapillarelektischen Grunderscheinung (s. Kapillareletrizität), insbesondere durch die Anwendung sog. *Tropfelektroden*, d. h. indem man Quecksilber aus einer Spitze in verdünnte Säure ausfließen läßt. Zwischen der Säure und dem Quecksilber besteht dann keine Potentialdifferenz, wohl aber zwischen dem tropfenden und dem ruhenden Quecksilber, und zwar fließt die positive Elektrizität in der Richtung des Quecksilberstrahls. Allerdings stellten sich auch hier noch Schwierigkeiten ein und traten Unstimmigkeiten auf; sie wurden erst überwunden und beseitigt, als man zu richtigen *Strahlelektroden* überging, d. h. dafür sorgte, daß der Zerreißungspunkt des Hg-Strahls genau in die Oberfläche des Elektrolyten fiel. — Die Potentialdifferenz an der Grenze von Metall und Metallsalzlösung ergibt sich aus der Formel:

$$e = \frac{RT}{nq} \log \frac{p}{P} = \frac{RT}{nq} \log \frac{c}{C},$$

wo  $R$  die Gaskonstante (s. Gase),  $q$  das Elementarquantum der Elektrizität, nämlich 96540 Cb (s. Ionen),  $n$  die Wertigkeit der Metallionen,  $p$  ihr osmotischer Druck (s. Osmose),  $c$  ihre molare Konzentration (s. Lösungen),  $P$  bzw.  $C$  eine Konstante (erstere als elektro-

lytische Lösungstension bezeichnet) und  $T$  die absolute Temperatur ist. Rechnet man auf praktisches Maß um und führt das Normalpotential  $e_0$  des Metalls, d. h. den Wert von  $e$  für  $c = 1$  ein, so erhält man:  $e = e_0 + 1,983 \cdot 10^{-4} (T/n) \cdot \log c$ ; z. B. für  $18^\circ \text{C}$ :  $e = e_0 + 0,05771 (\log c)/n$ . Gewöhnlich bezieht man Potentialdifferenzen auf Vergleichselektroden, deren Differenz gleich null gesetzt wird; als solche dienen u. a. die Normal-Wasserstoffelektrode (platinirtes Platin, z. T. eintauchend in eine normale Salzsäure, umspült von Wasserstoff) oder die Normal-Kalomelektrode (Quecksilber, von Kalomel bedeckt, unter einer Normallösung von Kaliumchlorid); die Differenz zwischen beiden beträgt 0,286 Volt. — Einige wichtige Normalpotentiale, auf die Wasserstoffelektrode bezogen:

## a) Kationenbildung

K	- 3,2	Pb	- 0,12
Na	- 2,8	Cu	+ 0,34
Mg	- 1,55	Ag	+ 0,80
Zn	- 0,76	Hg	+ 0,86
Fe	- 0,43	Au	+ 1,15

## b) Anionenentladung

$\text{S}'' \rightarrow \text{S}$ (fest)	- 0,55
$4\text{OH}' \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	+ 0,41
$2\text{Cl}' \rightarrow \text{Cl}_2$ (gef.)	- 1,35

## c) Ionenumladung

$\text{Cu}' \rightarrow \text{Cu}''$	+ 0,17
$\text{Hg}'_2 \rightarrow 2\text{Hg}''$	+ 0,92
$\text{Pb}'' \rightarrow \text{Pb}'''$	+ 1,8

Von besonderem Interesse sind die *Konzentrationsketten*, d. h. mit zwei verschiedenen Konzentrationen einer und derselben Lösung; ihre elektromotorische Kraft ist  $e = 0,0577/n \cdot \log(c_2/c_1)$ , der positive Strom fließt im Elemente von der verdünnteren zur konzentrierteren Lösung. — Die Kontaktspannung kann durch serienartigen Aufbau von Paaren beliebig gesteigert werden; dadurch erhält man die *Voltasche Säule*, bestehend aus abwechselnd aufeinander geschichteten Platten von Zink, Kupfer und angefeuchtetem Tuch. Eine Abart ist die *Zambonische* oder *Trockensäule*, bestehend aus unechten Gold- und Silberscheiben, deren Papierunterlage die Rolle der feuchten Zwischenschicht

spielt; mit Tausenden solcher Scheiben kann man hohe Spannungen erzielen, Verwendung bei Elektroskopen (s. Elektrometrie usw.). Die Kontaktpotentiale der Leiter erster Klasse (Metalle und einige andere Stoffe) verhalten sich additiv, d. h. es ist  $(1,3) = (1,2) + (2,3)$ ; die der Leiter zweiter Klasse (Säuren, Salzlösungen usw.) dagegen nicht; s. Elektrischer Strom.

*Beruhigung der Wellen*, s. Ausbreitung der Flüssigkeiten.

*Beruhigung von Magnetschwingungen*, a. Dämpfung.

**Beschleunigung** ist bei geradliniger Bewegung der Grenzwert des Verhält-

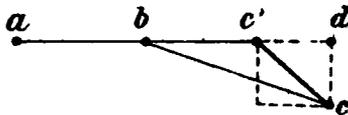


Fig. 12.

nisses des Zuwachses der Geschwindigkeit zu der Zeit, in der er stattfindet, beide immer kleiner genommen; bei gleichförmig beschleunigter Bewegung kann man auch einfacher definieren: Beschleunigung ist der Zuwachs der Geschwindigkeit in der Sekunde; Formel:  $B = dG/dt$ . Bei krummliniger Bewegung muß man, da die beiden zu vergleichenden Strecken verschiedene Richtung haben, die geometrische Differenz bilden; ohne Änderung der Richtung und Geschwindigkeit würde der Punkt (Fig. 12), der im ersten Zeitteilchen von a nach b gekommen ist, im zweiten von b nach c' kommen. In Wahrheit gelangt er nach c; die Beschleunigung wird also durch die Strecke c'e dargestellt. Man kann sie in zwei Komponenten zerlegen: c'd und c'e, erstere heißt *Tangential- oder Bahnbeschleunigung*, letztere *Normalbeschleunigung* oder, weil sie nach einem gedachten oder wirklichen Bahnzentrum gerichtet ist, *Zentripetalbeschleunigung*. Die Tangentialbeschleunigung ist einfach  $B_t = dG/dt$ ; die Zentripetalbeschleunigung dagegen hängt vom Krümmungsradius der Bahn, r, ab und ist  $B_n = G^2/r$ ; statt G kann man auch die Winkelgeschwindig-

keit  $W$  einführen und hat dann  $B_{\perp} = W^2 r$ . Die gesamte Beschleunigung ist dann die geometrische Summe aus beiden Komponenten, also  $B = \sqrt{B_{\parallel}^2 + B_{\perp}^2}$  oder  $B = \sqrt{(dG/dt)^2 + G^2}/r$ . Während also die Geschwindigkeit in der Tangente der Bahn liegt, bildet die Beschleunigung mit ihr einen bestimmten Winkel; immerhin liegt sie noch in der Ebene der Bahn. Die nächst höhere Stufe, die Änderung der Beschleunigung, würde auch das nicht mehr tun, sondern noch eine dritte Komponente senkrecht zur Bahnebene haben. — Dimension der Beschleunigung:  $[B] = lt^{-2}$ . — In manchen Fällen empfiehlt sich die Einführung der *Winkelbeschleunigung* statt der obigen Streckenbeschleunigung:  $\beta = B/r$  — Eine negative Beschleunigung wird *Verzögerung* genannt.

*Beschleunigung durch die Schwere*, s. Gravitation.

*Bestäubungsmethode*, s. Pyroelektrizität.

*Beta-Strahlen*, s. Radioaktivität.

*Biegung der Wellen*, s. Huygenssches Prinzip, Wellenbewegung, Biegung des Lichts, Schallausbreitung.

**Biegung des Lichts** oder *Diffraction des Lichts* ist seine Ablenkung bei der

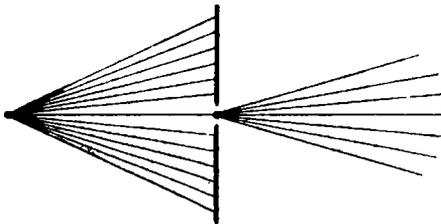


Fig. 13.

Vorbeikunft an Rändern; der Rand kann einseitig sein (Schirm) oder zweiseitig (Spalt oder Nadel) oder allseitig (Loch oder Scheibchen). Die Wirkung ist eine Abweichung von der geometrischen Schattenbildung, außerdem aber, infolge Mitwirkung der Interferenz, eine besondere Beugungsfigur, bestehend aus hellen und dunklen, in zusammengesetztem Lichte auch farbigen Stellen.

Je kleiner das Hindernis oder die Öffnung ist, desto stärker ist die Abweichung vom geradlinigen Verlauf; aus einer unendlich kleinen Öffnung tritt nicht ein einzelner Strahl, sondern, im Prinzip, wieder ein vollständiges Strahlenbüschel aus, s. Fig. 13. Wenn Objekt und Beugungsfigur vom beugenden Schirm weit entfernt sind, erhält man die *Fraunhofer'schen Beugungserscheinungen*, andernfalls die *Fresnel'schen*; jene werden in der Praxis mit dem Fernrohr, diese mit der Lupe beobachtet oder in entsprechender Weise objektiv dargestellt. Allgemeine Formeln sehr verwickelt; hier nur einige Spezialfälle. Setzt man zur Abkürzung

$$p = \frac{\pi}{\lambda} \left( \frac{x}{r} + \frac{x'}{r'} \right), \quad q = \frac{\pi}{\lambda} \left( \frac{y}{r} + \frac{y'}{r'} \right),$$

wo  $x' y'$  die Koordinaten des leuchtenden Punktes,  $x y$  die eines Punktes der Beugungsfigur,  $r$  und  $r'$  die Abstände des leuchtenden und des Figurpunktes vom Mittelpunkte des beugenden Hindernisses sind und  $\lambda$  die Wellenlänge des benutzten Lichtes ist, so ist die Lichtstärke hinter einem Spalt von der Breite  $a$ :  $J = J_0 (\sin pa/pa)^2$ ; in der Mitte ist das größte Helligkeitsmaximum, weitere Maxima zu beiden Seiten für  $\tan pa = pa$ , Minima ( $J = 0$ ) bei  $\sin pa = 0$ ; einige solche Stellen mit ihrer relativen Helligkeit:

$pa =$	0	$\pi$	1,43	2	2,46	3	3,47
$J:J_0$	1	0	0,045	0	0,016	0	0,008

Der zentrale Streifen ist doppelt so breit wie die übrigen und unvergleichlich heller; die Streifenbreite ist mit der Spaltbreite umgekehrt proportional, mit der Wellenlänge direkt, s. Fig. 14; bei weißem Licht sind daher die Streifen oder Beugungsspektren an der Innenseite violett, an der Außenseite rot. — Durch ein Rechteck erhält man die kombinierte Helligkeit

$$J = J_0 (\sin pa/pa)^2 \cdot (\sin qb/qb)^2;$$

die Beugungsfigur wird demgemäß ein Stern, s. Fig. 15. — Die Beugungsfigur eines Punktes ist im einfachsten Falle ein *Beugungsscheibchen* mit es umgebenden Ringen. Bei zwei Punkten

können sich diese Figuren teilweise überdecken und damit der Abbildungs- bzw. Auflösbarkeit eine Grenze setzen (s. Optische Instrumente). — Hat man nicht einen einzigen Spalt, sondern eine regelmäßige Folge solcher, d. h. ein *Streifengitter*, so vermehrt sich die Zahl der Minima und es bleiben nur noch einzelne helle Stellen übrig, die

man als Beugungsbilder des das Gitter beleuchtenden Lichtstreifens (leuchtender Spalt) betrachten kann. Der Winkelabstand von der Mitte hängt jetzt nicht mehr von der Breite der einzelnen Spalte, sondern nur noch von ihren Abständen, der *Gitterkonstante*, ab, und zwar ist sein Sinus mit der Ordnungsnummer des Bildes und der Wellenlänge direkt, mit

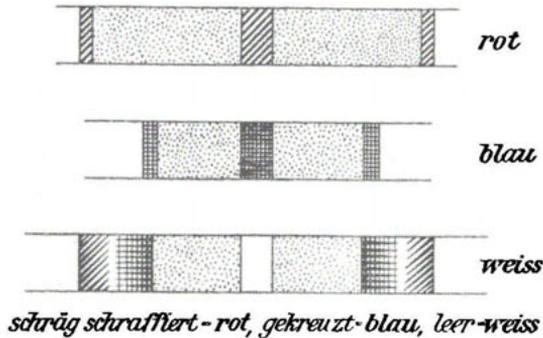


Fig 14.

der Gitterkonstante umgekehrt proportional. Statt im durchgehenden kann man auch im reflektierten Lichte beobachten, indem man ein durch Einritzen abwechselnd spiegelnd und nichtspiegelnd gemachtes Gitter benutzt; und wenn man überdies das Gitter auf einer konkaven Fläche anbringt, so erhält man reelle Beugungsbilder, die zur Projektion und Ausmessung der Spektren besonders geeignet sind und daher die vollkommenste spektrometrische Methode bilden: *Rowlandsche Konkavgitter* (s. Spektrometrie). Sie werden in außerordentlicher Regelmäßigkeit und Feinheit (200000 Streifen pro Zentimeter) hergestellt und liefern daher sehr ausgedehnte Beugungsspektren. In mancher Hinsicht noch leistungsfähiger ist das *Stufengitter* (Michelson), aus einer großen Zahl treppenartig übereinander geschichteter Glasplatten bestehend (die Stufen treten hier an die Stelle der Spalte). — Im übrigen sind die Beugungserscheinungen an Kombinationen von Spalten und Gittern verschiedener Art sehr mannigfaltig, und es treten dabei außerordentlich zahlreiche Kom-

plikationen auf. — Für die *Fresnelschen Beugungserscheinungen* werden die Formeln noch wesentlich verwickelter. Bei

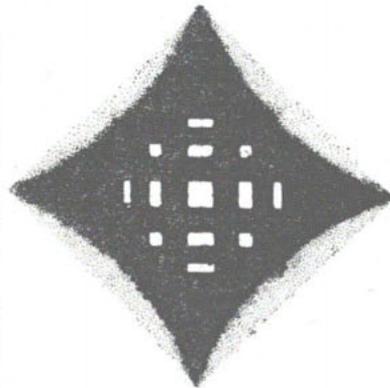


Fig. 15.

einem geradlinigen Schirmrande erhält man innerhalb des geometrischen Schattens keine Maxima und Minima; die Lichtstärke nimmt hier allmählich, wenn auch auf einer sehr kurzen Strecke, auf

null ab. Dagegen entstehen außerhalb des geometrischen Schattens Maxima und Minima. Diese merkwürdige Tatsache ist durch die Theorie vollständig verständlich gemacht worden, am anschaulichsten mit Hilfe der Cornuschen Spiralen. — Bei der Beugung an einer feinen Nadel erhält man sowohl außerhalb wie innerhalb des Schattens Fransen, und die mittelste Franse, also gerade die im Schattenzentrum gelegene, ist immer hell. Im umgekehrten Falle eines feinen Spalts ist die Erscheinung dieselbe, nur ist hier die Mitte je nach den geometrischen Verhältnissen hell oder dunkel; entsprechend hinter einem kleinen Kreisscheibchen oder einer kleinen kreisförmigen Öffnung. — Alle Fresnelschen Beugungserscheinungen treten nur bei sehr schmalen oder punktförmigen Lichtquellen auf, sonst gehen sie sehr rasch vollständig in die einfachen Erscheinungen des Kern- und Halbschattens über (s. Lichtausbreitung). — Die Beugungserscheinungen bedingen bei den optischen Instrumenten (s. d.) eine Grenze für ihre Leistungsfähigkeit. — Nach dem Huygensschen Prinzip müßte die Beugung eine überall und allgemein auftretende Erscheinung sein; sie ist es aber nicht wegen der Mitwirkung der Interferenz (s. Huygenssches Prinzip). — Wegen der Beugungstheorie der mikroskopischen Abbildung s. Mikroskop. — Beugungserscheinungen treten in der Natur vielfach auf, z. B. bei beschlagenen Fensterscheiben, in nebliger Luft an Laternen usw. (vgl. Atmosphärische Optik). — Wegen der Beugung der Röntgenstrahlen s. d.

*Beugung des Schalls*, s. Schallausbreitung.

*Beugungsgitter*, s. Beugung, Komparator, Spektrometrie.

*Beugungsscheibchen*, s. Beugung.

*Beugungsspektrum*, s. Beugung, Spektrum.

*Beugungstheorie der mikroskopischen Abbildung*, s. Mikroskop.

*Beweglichkeit der Ionen*, s. Elektrizitätsleitung der Flüssigkeiten, Elektrolyse.

**Bewegung** ist die Änderung des Ortes

mit der Zeit. Sie steht im Gegensatz zur Ruhe, d. h. der Beibehaltung des Ortes mit der Zeit. Die *Ruhe* ist der einfachste Fall der Bewegung, nämlich der mit der Geschwindigkeit null. Der nächst einfache ist der der *gleichförmigen Bewegung*, bei der die Geschwindigkeit konstant ist. Alle andern Bewegungen sind ungleichförmig oder veränderlich; der einfachste Fall ist die *gleichförmig beschleunigte* oder *gleichförmig verzögerte Bewegung*, bei der die Beschleunigung konstant (positiv oder negativ) ist. Ferner ist zu unterscheiden zwischen geradliniger, krummliniger, aber ebener und krummlinig-räumlicher Bewegung. Die allgemeinste unendlich kleine Bewegung eines Punktes ist eine *Schraubenbewegung*. Sodann ist der Fall von besonderer Wichtigkeit, wo im Laufe der Bewegung dieselben Orte in regelmäßigen Intervallen immer wieder berührt werden; *periodische Bewegung*, insbesondere Schwingungen oder Oszillationen einerseits, Drehungen oder Rotationen andererseits. Aus der Schwingungsbewegung (s. Schwingung) geht durch Fortpflanzung die Wellenbewegung (s. d.) hervor. Endlich ist zwischen *freier* Bewegung und Bewegung unter *Zwang* oder *zwangsläufiger* Bewegung zu unterscheiden, bei der bestimmte Beschränkungen auferlegt sind, z. B.: auf einer Fläche oder sogar auf einer Kurve zu bleiben oder von einem festen Punkte sich nicht über ein bestimmtes Maß zu entfernen (einseitiger *Zwang*) usw. Man unterscheidet in dieser Hinsicht Bewegungen mit einem, zwei oder drei (bei ganzen Systemen auch noch mit mehr) *Freiheitsgraden*. Die Bewegung mit einem Freiheitsgrade ist die *zwangsläufige* im engeren Sinne, wie sie im allgemeinen der Technik zugrunde liegt. — Soweit die Bewegung eines Punktes. — Geht man jetzt zu einem Körper über, so ist zu unterscheiden zwischen *starrer* und *elastischem* Körper. Ersterer kann nur zwei elementare Bewegungen ausführen: *Verschiebung* oder *Translation* und *Drehung* oder *Rotation*; beide zusammen ergeben die allgemeinste Bewegung des starren Körpers. Der starre Körper besitzt also

sechs Freiheitsgrade (Verschiebung in den drei Koordinatenrichtungen und Drehungen um die drei Achsen). Der elastische Körper kann außerdem noch *Kontraktion* bzw. *Dilatation* und *Deformation* erfahren. Bei Flüssigkeiten und Gasen endlich, aber auch vielfach bei andern Systemen, ist ein wichtiger Spezialfall die *stationäre Bewegung*, bei der die Bewegung in jedem Raumpunkte zeitlich immer dieselbe bleibt, wenn sie auch von andern materiellen Trägern übernommen wird; diese stationäre Bewegung steht in der Mitte zwischen der Ruhe und der veränderlichen Bewegung und hat mit jeder von beiden mancherlei gemeinsam. — Die Lehre von der Bewegung ist die Mechanik (s. d.), insbesondere die Dynamik (s. d.). — Wegen absoluter und relativer Bewegung, s. *Relativitätsprinzip*.

*Bewegung des Schwerpunkts*, s. Dynamik, Schwerpunkt.

**Bewegung fester Körper in Flüssigkeiten.** Sie ist dadurch charakterisiert, daß der feste Körper bei seiner Bewegung einen gewissen Bereich von Flüssigkeit in Mitbewegung (z. T. aber auch in Gegenbewegung) versetzt, und daß diese Mitbewegung auf die Bewegung des festen Körpers zurückwirkt. Diese Rückwirkung heißt *hydrodynamischer Widerstand*. Von ihr zu unterscheiden und bei reibenden Flüssigkeiten noch hinzutretend ist die *Reibungswirkung* und die mit ihr verknüpfte Bildung von Unstetigkeitsflächen und Wirbeln. Hier von abgesehen, ist der hydrodynamische Widerstand auf eine gleichförmige, bewegte Kugel null; sie bewegt sich genau so wie im leeren Raume; dagegen ist er auf eine beschleunigte (also durch Kräfte bewegte) Kugel so groß, als ob zur Masse der Kugel noch die halbe Masse der verdrängten Flüssigkeit hinzukäme. An den Polen fließt die Flüssigkeit mit voller Geschwindigkeit vorwärts, seitlich mit geringerer, dann kommt eine Grenzfläche der Ruhe; jenseits derselben strömt die Flüssigkeit rückwärts, und zwar am Äquator mit halber Geschwindigkeit. — Beim Zylinder ist der hydrodynamische Widerstand sogar gleich der ganzen verdrängten Flüssigkeitsmasse.

Für jede andre Körperform ergibt sich ein bestimmter Widerstandskoeffizient. Praktisch ist es von besonderer Wichtigkeit, diejenige Körperform zu ermitteln, für die der hydrodynamische Widerstand ein Minimum ist: eine solche Form ist das Rotationsparaboloid; eine Form, die man daher allen ein Medium durchschneidenden Körpern zu geben versucht: Geschosse, Schiffe, Luftschiffe usw. — In der *Nautik* spielt der hydrodynamische Widerstand als Schiffswiderstand eine wichtige Rolle; er nimmt durchschnittlich wie das Quadrat der Geschwindigkeit, für große Geschwindigkeiten aber noch schneller zu; auch in der Ballistik (s. Wurf) gilt ein ähnliches Gesetz. Von Bedeutung für den Widerstand ist ferner die Form der Hauptschnitte des Schiffes: Formfaktoren. Erheblich modifiziert wird der Widerstand durch Wirbel- und Wellenbewegung des Wassers: *Wellenwiderstand*. — In einer Flüssigkeit vom Reibungskoeffizienten  $\eta$  (s. Innere Reibung) und der Dichte  $\rho_0$  fällt eine Kugel vom Radius  $a$  und der Dichte  $\rho$  schließlich nicht mehr beschleunigt (s. Fall), sondern gleichförmig, und zwar gemäß dem *Stokeschen Gesetz* (s. auch Aerodynamik und Disperse Systeme) mit der Geschwindigkeit  $v = (2/9)g(\rho - \rho_0)a^2/\eta$ ; hierdurch gewinnt man eine Methode, den Radius sehr kleiner Körper aus der Fallgeschwindigkeit zu bestimmen:  $a = 3\sqrt{\eta v/2g(\rho - \rho_0)}$ . — Sehr verwickelt ist der Widerstand auf geneigte Flächen, insbesondere keilförmige; die wichtigste Anwendung ist die auf die *Schiffsschraube*, deren Fortschritts- geschwindigkeit und Arbeitsfähigkeit von ihren Dimensionen, Ganghöhe usw. abhängt. — Bewegen sich gleichzeitig *mehrere Körper* in einer Flüssigkeit, so erfahren beide Bewegungsänderungen, die den Anschein erwecken, als ob zwischen ihnen Fernkräfte wirksam wären. So stoßen sich z. B. zwei in gleicher Linie, gleichviel, ob gleich- oder gegensinnig laufende Kugeln ab mit einer Kraft, die den Kuben ihrer Radien direkt und dem Biquadrat ihres Abstandes umgekehrt proportional ist, also nur für kleine Entfernungen merklich wird;

entsprechendes gilt von einer gegen eine Wand anlaufende Kugel. Dagegen ziehen sich zwei parallel laufende Kugeln, und ebenso eine Kugel und eine Wand, der sie parallel läuft, an. Besonders interessant sind die Kräfte zwischen zwei oszillierenden oder pulsierenden (das Volumen periodisch vergrößernden und verkleinernden) Körpern; sie haben starke Analogie mit den elektrischen und magnetischen Fernkräften. Zur Demonstration hat Bjerknes einen sinnreichen Apparat konstruiert. Auch zwei Ringe in einer Flüssigkeit üben scheinbar Kräfte aufeinander aus, und zwar nach Kirchhoff solche, als ob sie von elektrischen Strömen durchflossen wären (s. Elektrodynamik). — Die obigen Feststellungen gelten großenteils auch für die Bewegung fester Körper in Gasen; nur ist hier der Widerstand einerseits viel geringer, andererseits verwickelter, namentlich auch wegen der dabei auftretenden Dichteänderungen (s. Aerodynamik).

*Bewegungsgröße*, s. Kraft.

*Bewegungsmoment*, s. Kraft.

*Bichord*, s. Saitentöne.

**Biegung** ist die Deformation eines Körpers quer zu seiner oder seinen Hauptdimensionen. Zur Beobachtung bedient man sich, da man zweckmäßig nur kleine Durchbiegungen anwendet,

gewöhnlich der Spiegelbeobachtung mit Mikroskop oder Fernrohr und mittels Okularmikrometers. Die Durchbiegung an der Stelle, wo sie am größten ist, heißt *Biegungspfeil*. Übrigens ist die Biegung keine selbständige physikalische Erscheinung, sondern zurückführbar auf eine Dehnung der einen und eine Zusammenziehung der andern Hälfte des Körpers; sie hängt daher auch nicht von einem besonderen Modul, sondern vom Dehnungsmodul  $E$  (s. Elastizitätsmodul und Längsdehnung) ab. Der Biegungspfeil ist mit dem biegenden Gewicht direkt, mit  $E$  umgekehrt proportional; im übrigen hängt er von der Form, den Dimensionen und der Aufstellung des Körpers ab. Für einen Stab (Balken, Draht) von überall gleichem Querschnitt und der Länge  $l$ , der an einem Ende fest eingelassen, am andern frei ist, ist der Biegungspfeil mit dem Kubus der Länge und mit dem Trägheitsmoment  $k$  des Querschnitts um die mittlere Horizontallinie (s. Biegemoment) umgekehrt proportional, in Formel:  $S = p l^3 / (3 k E)$ , und umgekehrt  $E = p l^3 / (3 k S)$ . Wichtige Fälle von Querschnittsformen: Quadrat:  $S = 4 p l^3 / (E a^4)$ , Rechteck:  $b h^3$  statt  $a^4$ , Kreis:  $3 \pi r^4$ . Relative Durchbiegung bei verschiedenen geformten, aber gleich großen Querschnitten (Quadrat gleich eins gesetzt):

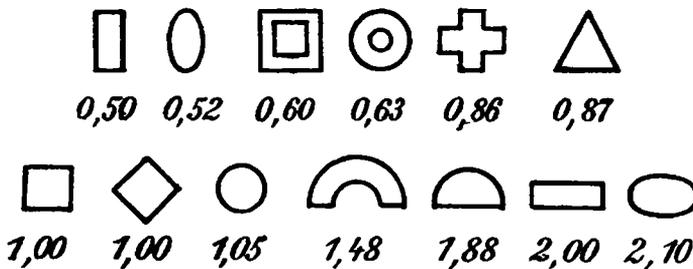


Fig. 16.

Die Kurve des Stabes hat die Gleichung:  $s = (p/2kE) \cdot (lx^2 - x^3/3)$ ; sie ist also einer Parabel einigermassen ähnlich. Bei einem beiderseits lose aufgelegten Stabe ist die Senkung der Mitte 16mal so

klein wie im obigen Falle; bei einem beiderseits fest eingeklemmten Stabe wiederum 4mal so klein. — Die Biegung ist mit einer Dehnung der oberen und einer Zusammenziehung der unteren

Hälfte des Stabes verknüpft. — Mit der Längsbiegung ist eine *Querbiegung* entgegengesetzten Sinnes verbunden; d. h. während die Längskurve an der oberen Fläche nach außen konvex ist, ist die Querkurve konkav [an einem geeignet geformten Stück Kautschuk (Fig. 17)



Fig. 17.

grob wahrnehmbar]. Das Verhältnis der Querbiegung zur Längsbiegung ist wieder die *Elastizitätszahl* (s. Querkontraktion]. Legt man auf einen rechteckigen, mit den Schmalseiten aufgelegten Biegungskörper einen ebensolchen Glasstreifen und biegt den ersteren durch, so erhält man infolge der Lichtinterferenz in der Luftschicht zwischen den beiden Streifen ein System von Hyperbeln, aus deren Asymptotenwinkel man die Elastizitätszahl nach Cornu und Straubel ableiten kann,

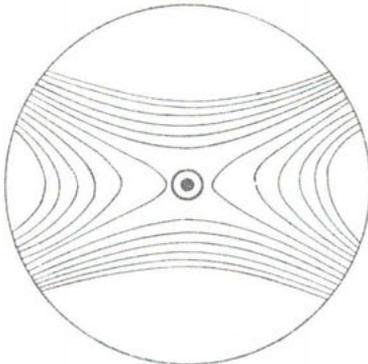


Fig. 18.

s. Fig. 18. — Die Durchbiegung einer kreisförmigen, am Rande eingeklemmten *Platte* ist, wenn  $\mu$  die Elastizitätszahl,  $p$  das Gewicht,  $r$  der Radius und  $d$  die Dicke ist:  $S = 3(1 - \mu^2)p r^2 / (4\pi E d^3)$ . Sie ist also mit dem Quadrat des Radius direkt und mit dem Kubus der Dicke umgekehrt proportional; außerdem

hängt sie nicht bloß vom Elastizitätsmodul  $E$ , sondern auch von der Elastizitätszahl  $\mu$  ab. In derselben Kombination kommen  $E$  und  $\mu$  übrigens auch bei dem Druck zweier Kugeln aufeinander vor: *Eindringungsmodul* (Hertz). — Auf der Biegung beruhen die *Querschwingungen* elastischer Körper, insbesondere der Saiten und Stäbe, Membranen und Platten (s. Saitentöne usw.).

*Biegungspfeil*, s. Biegung.

**Bifilare Aufhängung.** Statt eines einzigen Fadens, wie beim Pendel usw., kann man zur Aufhängung eines schweren Körpers, eines Magneten usw., auch deren zwei, an verschiedenen Stellen des Körpers mündende Fäden benutzen. In der natürlichen Lage liegen dann die beiden Fäden in einer vertikalen Ebene, bei der Verdrehung des Körpers, z. B. eines zylindrischen Stabes, werden die beiden Fäden windschief gegeneinander und, was die Hauptsache ist, mit ihren Enden gehoben, der Körper also mitgehoben; die Schwerkraft treibt also das System wieder in die natürliche Lage zurück. Man hat es demnach hier zwar, wie beim Pendel, mit Schwerschwingungen zu tun, aber nicht mit Pendel-, sondern mit Verdrehungsschwingungen. Ist  $M$  die Masse,  $K$  das Trägheitsmoment des Körpers,  $L$  die Länge der Fäden,  $o$  und  $u$  ihr oberer und unterer Abstand, so ist die Länge des korrespondierenden einfachen Pendels  $l = (K/M) \cdot L / (o u)$ , und somit die Schwingungsdauer des Systems

$$T = \pi \cdot \sqrt{K L / (g M o u)}.$$

Verwickelter, aber besonders interessant ist die trifilare Aufhängung.

*Bifilargalvanometer*, s. Magnetische Messungen.

*Bifilarmagnetometer*, s. Magnetische Messungen.

*Bifokalgläser*, s. Brille.

*Bild*, s. Abbildung.

*Bildgröße*, s. Abbildung, Linse, Spiegel.

*Bildpunkt*, s. Abbildung.

*Bildtelegraphie*, s. Lichtelektrizität, Telegraphie.

*Bildumkehr*, s. Prisma, Reflexion des Lichts.

*Bildungswärme*, s. Thermochemie.  
*Bildwölbung*, s. Abbildung.  
*Billardspiel*, s. Stoß.  
*Billettsche Halblinsen*, s. Interferenz des Lichts.  
*Binaurales Hören*, s. Gehör.  
*Binokulares Sehen*, s. Stereoskopie.  
*Biot-Savartsches Gesetz*, s. Elektromagnetismus.  
*Biprisma*, s. Interferenz des Lichts.  
*Bivektor*, s. Größe.  
*Blase in Flüssigkeit* s. Tropfen.  
*Blasengerüst*, s. Flüssigkeitslamellen.  
*Blasinstrumente*, s. Musikinstrumente, Pfeifen.  
*Bléiot*, s. Richtung.  
*Blenden*, s. Abbildung.  
*Blinder Fleck*, s. Sehen.  
*Blitz*, s. Atmosphärische Elektrizität, Elektrischer Funke, Entladung.  
*Blitzableiter*, s. Atmosphärische Elektrizität.  
*Blitzlicht*, s. Lichtquellen, Photographie.  
*Blitztafel*, s. Entladung.  
*Blondlotscher Erreger*, s. Elektrische Schwingungen.  
*Blutkreislauf*, s. Pumpen.  
*Bodendruck*, s. Hydrostatik.  
*Bodentemperatur*, s. Wärmeleitung fester Körper.  
*Bogengänge*, s. Gehör.  
*Bogenlampe*, s. Lichtbogen.  
*Bogenlicht*, s. Lichtbogen, Lichtquellen.  
*Bogenmaß*, s. Winkel.  
*Bologneser Fläschchen*, s. Geschmeidigkeit.  
**Bolometer** oder *Widerstandsthermometer* sind Apparate zur Temperaturmessung, die auf der Änderung des elektrischen Widerstandes eines Leiters mit der Temperatur beruhen. Da die Widerstandsmessungen großer Genauigkeit fähig sind, leisten diese Apparate ausgezeichnetes und haben für manche Zwecke auch sonstige Vorzüge; insbesondere sind sie in weitem Bereiche (von 700° bis herunter zu -200°) verwendbar. Das am meisten übliche Material ist Platin: Platinthermometer; entweder auf ein Glimmerkrenz lose aufgewickelt oder, beim Quarzglas-Widerstandsthermometer, in Quarzglas eingeschmolzen. Die Widerstandsmes-

sung erfolgt meist mittels der Wheatstoneschen Brücke. Die Eichung des Apparats kann nach verschiedenen Methoden erfolgen. Der Name Bolometer, der jetzt allgemeiner gebraucht wird, beschränkte sich ursprünglich auf elektrische Widerstandsthermometer, die für Strahlungsmessung bestimmt waren. Man unterscheidet je nach der Form der Widerstandskörper *Linearbolometer* und *Flächenbolometer*; Anordnung in Zackenlinien oder Spiralen. Gewöhnlich wird die Differentialschaltung benutzt, d. h. es werden durch zwei gleiche Widerstandskörper gleiche Ströme geschickt, die dann durch die beiden Spulen eines Differentialgalvanometers gehen; von vornherein erfolgt dann natürlich kein Ausschlag, wohl aber, wenn der eine der beiden Körper bestrahlt wird. Die Empfindlichkeit einer solchen Anordnung geht bis zu einem hunderttausendstel Celsiusgrad. — Apparate, die aus der Widerstandsänderung auf die Stärke von Wechselströmen schließen lassen, heißen *Barretter*.

*Bougie décimale*, s. Lichtstärke.  
*Boylesches Gesetz*, s. Dämpfe, Gase, Kinetische Theorie, Lösungen.  
*Brachistochrone*, s. Schiefe Ebene.  
*Bramahsche Presse*, s. Hydrostatik.  
*Brandung*, s. Wellenbewegung der Flüssigkeiten.  
*Braun-Schaltung*, s. Drahtlose Telegraphie.  
*Braunsche Röhre*, s. Hysteresis, Kathodenstrahlen.  
*Brechende Kante*, s. Prisma.  
*Brechender Winkel*, s. Prisma.  
*Brechung der elektrischen Strahlen*, s. Elektrische Schwingungen.  
*Brechung der elektrischen Stromlinien*, s. Flächenströme.  
*Brechung der Wärmestrahlen*, s. Wärmestrahlung.  
*Brechung der Wärmestromlinien*, s. Wärmeleitung fester Körper.  
*Brechung der Wellen*, s. Wellenbewegung.

**Brechung des Lichts** oder *Refraktion* des Lichts. Wenn ein Lichtbüschel an die Grenze zweier Medien gelangt, wird ein Teil reflektiert (s. Reflexion des Lichts); ein anderer dringt in das zweite

Medium ein und wird gebrochen, d. h. ebenfalls aus seiner Richtung abgelenkt; er bleibt aber (für isotrope Medien) in der durch einfallenden Strahl und Lot bestimmten Ebene. Mit dem Einfallswinkel  $\varphi$  (Winkel des einfallenden Strahls mit dem Einfallslot) wächst auch der Brechungswinkel  $\psi$  (Winkel des gebrochenen Strahls mit dem Einfallslot), und zwar gemäß dem *Snelliusschen Gesetz* so, daß das Verhältnis ihrer Sinus konstant bleibt, nämlich immer gleich dem Verhältnis zweier Zahlen, die man die *Brechungsquotienten* des zweiten und ersten Mediums nennt; speziell, wenn das erste Medium der leere Raum oder (annähernd) Luft ist, gleich dem Brechungsquotienten des zweiten Mediums schlechthin (d. h. gegen Luft), und wenn das zweite Medium Luft ist, gleich dem reziproken Werte dieses Brechungsquotienten; in Formel:  $\sin \varphi / \sin \psi = n_2 / n_1$  oder  $n_1 \sin \varphi = n_2 \sin \psi$  (dieses Produkt ist also für beide Medien dasselbe: *optische Invariante*); speziell, wenn das erste bzw. zweite Medium Luft ist:  $\sin \varphi / \sin \psi = n$  bzw.  $= 1/n$ , also aufgelöst:  $\sin \psi = (1/n) \sin \varphi$  bzw.  $\sin \varphi = n \sin \psi$ . Ein Medium mit größerem  $n$  heißt *optisch dichter*, ein solches mit kleinerem  $n$  *optisch dünner* (vielfach, aber nicht immer parallel laufend mit der mechanischen Dichte). Wegen der Zahlenwerte s. Brechungsquotient. Der Lichtweg bei der Brechung läßt sich stets umkehren, d. h. wenn man den gebrochenen Strahl als einfallenden wählt, wird der bisherige einfallende der gebrochene (s. Geometrische Optik). — Die Brechung ist eine Folge der verschiedenen Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Lichts in den beiden Medien; sie würde daher bei einem einzigen Strahl (wenn ein solcher existierte) gar nicht eintreten, sondern ist an den Aufprall eines ganzen Strahlenbüschels gebunden: der eine Randstrahl erreicht die Grenze früher als der andre, geht nun mit veränderter Geschwindigkeit weiter, und somit wird die verbindende Querlinie (im Sinne der Wellentheorie die Wellenebene) gedreht, s. Fig. 19; hieraus ergibt sich dann sekundär die Richtungsänderung der auf

der Querlinie stets senkrecht bleibenden Strahlen. Sind  $v_1$  und  $v_2$  die beiden Geschwindigkeiten, so wird jetzt  $\sin \varphi / \sin \psi = v_1 / v_2$ . Wegen der Komplikationen bei Kristallen s. Kristalloptik. — Das Brechungsgesetz ist (ebenso wie das Reflexionsgesetz) ein Ausfluß des *Satzes vom ausgezeichneten Lichtwege* (s. Geometrische Optik), d. h. der wirkliche Lichtweg zwischen Objekt und Bild ist kürzer (in gewissen Fällen länger) als jeder andre, mit dem Brechungsgesetze im Widerspruch stehende Weg; nur muß man statt der geometrischen die „optischen Längen“ oder

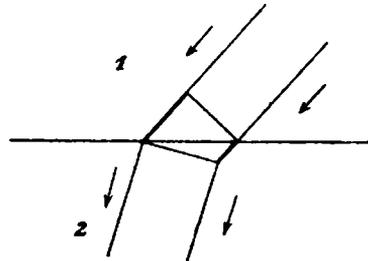


Fig. 19.

„Lichtwege“ mit Rücksicht auf die Geschwindigkeiten oder, anders gefaßt, die zur Zurücklegung der Wege erforderlichen Zeiten einführen und erhält dann den Satz von der schnellsten Ankunft (bzw. spätesten Ankunft). Ob schnellste oder langsamste Ankunft gilt, hängt von der Krümmung der Grenzfläche ab; eine Fläche, für die alle denkbaren Wege die gleiche Zeit erfordern, heißt *aplanatische Fläche*; ist die Fläche nach dem dichteren Medium hin schwächer konvex (oder stärker konkav) als jene, so findet schnellste, im andern Falle späteste Ankunft statt. — Bei senkrechter Inzidenz findet keine Ablenkung statt; der gebrochene Strahl ist die Fortsetzung des einfallenden. In allen andern Fällen findet eine Ablenkung statt, und zwar im Betrage  $\varphi - \psi$  bzw.  $\psi - \varphi$ . — In der bisher betrachteten einfachen Form findet übrigens die Brechung nur statt, wenn zwei Voraussetzungen erfüllt sind: erstens, daß das

auffallende Licht homogen (von bestimmter Wellenlänge) sei, andernfalls findet zugleich *Dispersion* (s. d.) statt, d. h. die einzelnen Farbtstrahlen laufen in verschiedenen Richtungen weiter; und zweitens, daß die beiden Medien optisch isotrop seien, was nur bei elastisch-isotropen Körpern sowie bei regulären Kristallen der Fall ist, andern-

falls tritt *Doppelbrechung* (s. Kristalloptik) ein. — Wenn sich Licht in einem Medium fortpflanzt, dessen Dichte sich von Schicht zu Schicht stetig ändert, so erfolgt fortwährend Brechung, und es entstehen *gekrümmte Lichtstrahlen*. Ein Beispiel bietet die atmosphärische *Strahlenbrechung* (Fig. 20, stark übertrieben), die zur Folge hat, daß die

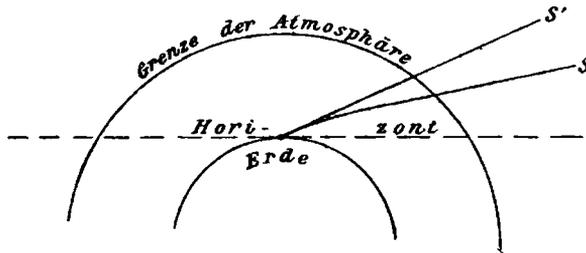


Fig. 20.

scheinbaren Örtter der Sterne desto mehr von den wahren, und zwar nach oben, abweichen, je näher am Horizont man sie erblickt; am Horizont selbst macht

Brechung bedient man sich eines parallelepipedischen Glastroges, den man zur Hälfte mit gefärbtem Wasser füllt, während man die Luft darüber mit Rauch schwängert; man kann dann von oben oder von der Seite Lichtbüschel entweder in die Luft oder in das Wasser eintreten lassen und die Brechung unter verschiedenen Winkeln studieren; auch kann man u. a. den beistehend skizzierten Apparat dazu benutzen (und zu vielen andern Demonstrationen), s. Fig. 21. Die gekrümmten Lichtstrahlen demonstriert man z. B. mittels Schwefelkohlenstoff und darüber gelagerten gefärbten Alkohols, wobei sich durch Diffusion ein nach oben an Dichte abnehmendes Gemisch bildet (Beleuchtung von der Seite). — Bei dem Übergang aus einem optisch dünneren in ein optisch dichteres Medium gibt es stets einen gebrochenen Strahl, außerdem, falls, nämlich bei streifender Inzidenz ( $\varphi = 90^\circ$ ) unter dem Winkel  $\psi = \arcsin(1/n)$ ; in den seitlich hiervon gelegenen Teil des zweiten Mediums kann kein Licht aus dem ersten Medium gelangen. Wenn nun umgekehrt aus diesem Raume, also unter einem Winkel, größer als der eben bezeichnete, Licht an die Grenze zum dünneren Medium

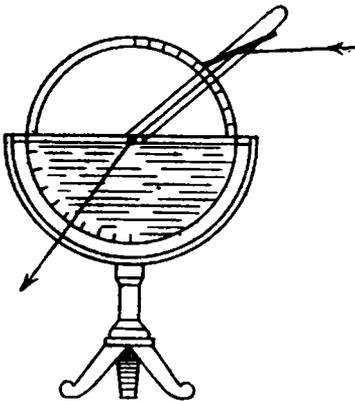


Fig. 21.

sie  $34' 54''$  aus, in  $5^\circ$  Höhe nur noch  $9' 47''$  usw. Auch irdische Objekte erfahren einen entsprechenden Einfluß; man unterscheidet daher zwischen astronomischer und terrestrischer Strahlenbrechung. — Zur Demonstration der

gelangt, so würde  $\sin \psi > 1$  werden, was unmöglich ist; es findet also überhaupt kein Austritt von Licht in das dünnere Medium statt; alles Licht wird reflektiert: *totale Reflexion* (s. d.). — Im übrigen hängt der Verlauf der gebrochenen Strahlen von der Gestalt der brechenden Fläche ab; die beiden wichtigsten Formen brechender Körper sind die *Prismen* (s. d.) mit ebenen, und die *Linsen* (s. d.) mit gekrümmten Flächen. — Die *Intensität des gebrochene n Lichts* hängt von der Natur der Medien, vom Einfallswinkel und vom Polarisationszustand des einfallenden Lichts ab; sie verteilt sich in veränderter Weise auf die Komponenten parallel und senkrecht zur Einfallsebene. Formeln für die Amplituden ( $A$  einfallende,  $D$  gebrochene):

$$D_p = A_p \frac{2 \sin \psi \cos \varphi}{\sin(\varphi + \psi) \cos(\varphi - \psi)},$$

$$D_s = A_s \frac{2 \sin \psi \cos \varphi}{\sin(\varphi + \psi)}$$

(Fresnelsche Brechungsformeln). Damit wird das Verhältnis beider Komponenten:

$$D_p : D_s = \frac{1}{\cos(\varphi - \psi)},$$

also  $D_p > D_s$ , d. h. partielle Polarisation parallel zur Einfallsebene, und zwar mit zunehmendem  $\varphi$  immer stärker (s. auch Polarisation).

*Brechung des Schalls*, s. Reflexion und Brechung des Schalls.

*Brechungsexponent*, s. Brechungsquotient.

*Brechungsindex*, s. Brechungsquotient.

**Brechungsquotient**, auch *Brechungsexponent* oder *Brechungsindex* oder *Brechungsverhältnis* genannt, ist das Verhältnis der Sinus des Einfallswinkels und Brechungswinkels bei der Brechung an der Grenze zweier Medien, für die er gelten soll; insbesondere ist es der Brechungsquotient des zweiten Mediums, wenn das erste das Vakuum oder (was nicht viel ändert) Luft ist (s. Brechung des Lichts). — Die wichtigsten Methoden zur Messung des Brechungsquotienten sind: 1. *Planplattenmethode*

(s. Prisma); hier wird der Strahl, ohne Richtungsänderung, nur seitlich verschoben, diese Verschiebung wird gemessen. Oder es wird die deutliche Einstellungswerte gemessen; muß z. B. ein Mikroskop, das auf das Objekt eingestellt ist, nach Einbringung der Platte von der Dicke  $d$  um  $a$  verschoben werden, so ist der Brechungsquotient  $n = d/(d - a)$ . Oder man markiert auf der Vorder- und Rückseite der Platte je einen Punkt und stellt nacheinander auf sie ein, wozu man um  $c$  verstellen muß; dann ist  $n = d/c$ . Oder, mittels nur einer Marke auf der Vorderfläche und ihres Spiegelbildes von der Hinterfläche:  $n = 2d/c$ . — 2. *Prismatische Methode* mit dem Spektrometer; es besteht aus einem drehbaren Tischchen für das Prisma, einer Kreisteilung und zwei Röhren für Zuführung und Beobachtung, nämlich Kollimator oder Spaltrohr, dessen Spalt am hintern Ende ein unendlich entferntes Objekt vertritt, und Fernrohr, auf Unendlich eingestellt und daher ein deutliches Spaltbild liefernd. Im allgemeinsten Falle sind Tischchen, Kollimator und Fernrohr jedes für sich drehbar (s. Spektrometrie). Es kommen dann folgende Methoden in Betracht: a) *Minimum der Ablenkung* (s. Prisma), nach Fraunhofer, Formel ( $\alpha$  brechender Prismawinkel,  $\delta$  Winkel zwischen direkter Einstellung und Minimum der Ablenkung):  $n = \sin \frac{1}{2}(\alpha + \delta) / \sin \frac{1}{2}\alpha$ . — b) *Senkrechter Austritt*, nach Meyerstein, wozu ein beleuchtbares Fadenkreuz gehört:  $n = \sin(\alpha + \delta) / \sin \alpha$ . — c) *In sich zurückkehrender Strahl* oder *Autokollimation*, nach Abbe, Kollimator überflüssig, aber beleuchtbares Fadenkreuz; man stellt nacheinander so ein, daß die Reflexion entweder an der vorderen oder an der hinteren Fläche senkrecht erfolgt,  $\beta$  Winkel zwischen beiden Stellungen:  $n = \sin \beta / \sin \alpha$ . — d) *Streifender Eintritt*, nach Kohlrausch, komplizierter und weniger genau. — 3. *Grenzwinkelmethode* oder *Methode der Totalreflexion*, Beobachtung der gekrümmten Grenzlinie zwischen hellem und dunklem Gesichtsfeld (s. Totalreflexion),  $n$  und  $N$  Brechungsquotienten

des schwächer und stärker brechenden Mediums:  $n = N \sin \varphi$ . a) *Totalreflektometer* von Kohlrausch, b) *Refraktometer* von Abbe (zwei Prismen, dazwischen die zu prüfende Flüssigkeit; oder nur eines der Prismen mit aufgeklebtem, festem Körper), mit fertig graduierter Skala. c) *Kristallrefraktometer* von Pulfrich und Abbe, ersteres mit Zylinder, letzteres mit Halbkugel, drehbar eingerichtet, so daß man in den verschiedenen Richtungen des auf die Deckfläche gelegten Kristalls messen kann. — 4. a) *Interferenzmethode*, beruhend auf der Verschiebung der Interferenzstreifen zweier Strahlen bei der Ersetzung der Luft im Lichtwege durch einen andern Stoff (s. Interferenz), wegen ihrer hohen Empfindlichkeit besonders für Gase geeignet. b) Insbesondere: *Interferentialrefraktor* usw. — Der Brechungsquotient hängt in hohem Maße von der Farbe (Wellenlänge) des Lichts ab (s. Dispersion); man muß also jeder Zahlenangabe die Wellenlänge beifügen. Einige Werte für mittlere Farbe:

Diamant . . . . .	2,42
Schwerstes Flint . . .	1,96
Schweres Flint . . .	1,75
Kalkpat . . . . .	1,66
Monobromnaphthalin	1,66
Schwefelkohlenstoff .	1,63
Leichtes Flint . . .	1,57
Schweres Kron . . .	1,57
Kanadabalsam . . .	1,54
Quarz . . . . .	1,54
Zedernöl . . . . .	1,52
Benzol . . . . .	1,50
Flußpat . . . . .	1,44
Leichtes Kron . . .	1,41
Alkohol . . . . .	1,36
Äther . . . . .	1,36
Wasser . . . . .	1,33
Kohlensäure . . . .	1,00045
Luft . . . . .	1,00029
Wasserstoff . . . .	1,00014
Kupfer . . . . .	0,65
Gold . . . . .	0,58
Silber . . . . .	0,27

Diamant bricht also am stärksten, zwischen den verschiedenen Glassorten bestehen große Unterschiede. Einige Metalle (in Prismen mit überaus kleinem

Winkel durchsichtig, oder mittels Totalreflexion untersucht) sind optisch dünner als Luft. Dem hohen Brechungsquotienten verdankt der Diamant seinen Glanz. In der instrumentellen Optik werden hochbrechende Substanzen, besonders Flüssigkeiten, vielfach angewandt, z. B. zur Erhöhung der numerischen Apertur (s. Mikroskop). — Der Brechungsquotient ändert sich in sehr verwickelter Weise mit Druck und Temperatur; dagegen bleibt der Ausdruck  $r = (n - 1)/\rho$  und noch besser  $R = (1/\rho) \cdot (n^2 - 1)/(n^2 + 2)$ , wo  $\rho$  die Dichte ist, nahezu konstant; man nennt ihn *Brechungs- oder Refraktionsvermögen* oder *spezifische Refraktion*. — Die Brechungsquotienten von *Mischungen* stehen in Beziehung zu denen ihrer Bestandteile. Zwischen verschiedenen Elementen besteht eine Beziehung zum Atomgewicht  $A$ . Der Ausdruck  $v = (A/\rho) \cdot (n^2 - 1)/(n^2 + 2)$  heißt *Atomrefraktion*; aus ihr ergibt sich die *Molekularrefraktion* in einfacher Weise. — Der Wert des Brechungsquotienten charakterisiert einen Körper in ausgezeichneter Weise; seine Bestimmung findet daher zum Zwecke der Materialprüfung vielfach Anwendung: *Butterrefraktometer*, zur Messung des Fettgehalts, *Zuckerrefraktometer*, *Gasrefraktometer* zur technischen Prüfung von Gasen, z. B. des Kohlenäuregehalts der Luft usw. — Der Brechungsquotient steht in theoretischer Beziehung zur *Dielektrizitätskonstante*  $\epsilon$ , und zwar ist  $n = \sqrt{\epsilon}$ , vorausgesetzt, daß beide Größen für Schwingungen von derselben Frequenz ermittelt werden, und daß der Stoff nicht noch außerdem Elektrizitätsleiter ist; andernfalls ist die Dispersion und das Leitvermögen zu berücksichtigen. Für unendlich lange Wellen gelten folgende Beispiele: Flintglas  $n^2 = 6,8$  und  $\epsilon = 6,8$ ; Flußpat  $n^2 = 6,1$  und  $\epsilon = 6,8$ ; Quarz  $n^2 = 4,6$  und  $\epsilon = 4,66$ ; auch für Gase ist die Übereinstimmung sehr gut (s. auch Dielektrizität).

*Brechungsverhältnis*, s. Brechungsquotient.

*Brechungsvermögen*, s. Brechungsquotient.

*Brechungswinkel*, s. Brechung des Lichts.

*Bremsdynamometer*, s. Kraftmessung.

*Bremse*, s. Reibung.

*Bremsmagnet*, s. Magnetische Tragkraft.

*Bremszaum*, s. Kraftmessung.

*Brennebene*, s. Abbildung.

*Brennfläche*, s. Sphärische Aberration.

*Brennglas*, s. Linsen.

*Brennlinie*, s. Sphärische Aberration.

*Brennpunkt*, s. Abbildung, Spiegel.

*Brennweite*, s. Abbildung, Linsen, Spiegel.

*Brewstersches Gesetz*, s. Polärisation.

*Brewstersche Streifen*, s. Interferenz des Lichts.

*Briefwaage*, s. Wägung.

**Brille** ist jede, lediglich zur Korrektur der Fehler des Auges dienende, von Vergrößerung freie Vorrichtung. Der erste dieser Fehler, die Weitsichtigkeit (s. Sehen), beruhend auf der Verringerung der Akkommodationsfähigkeit, wird durch eine schwache Sammellinse beseitigt, insbesondere für geringe Entfernungen (Leseweite). Der zweite Fehler, die Kurzsichtigkeit (Myopie) oder Übersichtigkeit (Hypermetropie), beruhend auf der zu frühen oder zu späten Strahlenvereinigung, wird im ersten Falle durch Konkav- oder Zerstreuungslinsen, im letzteren durch Konvex- oder Sammellinsen korrigiert, und zwar mit verschiedenen Krümmungen für das Sehen in die Nähe, in mittlere Entfernungen und in die Ferne. Der dritte Fehler, der Astigmatismus (s. daselbst), wird durch Zylinderlinsen mit entsprechend gerichteter Achse behoben. Sind mehrere dieser Fehler zugleich vorhanden, so muß man sphärische und zylindrische Krümmung in geeigneter Weise kombinieren: *sphäro-zylindrische Linsen*; häufig wird die Vorderfläche sphärisch, die Hinterfläche zylindrisch geschliffen. Charakterisiert wird ein Brillenglas durch seine *Brennweite* oder durch ihren reziproken Wert, die *Stärke* oder *Dioptrie*; bei 1 m Brennweite ist die Dioptrie 1, bei  $\frac{1}{2}$  m ist sie 2, bei  $-\frac{1}{3}$  ist sie -3 (konvex bzw. konkav). — Ein Brillenglas gibt zu-

nächst nur beim zentralen Sehen gute Bilder; soll es auch beim seitlichen bzw. peripherischen Sehen das tun, so muß es besonders konstruiert sein, und hierauf beruhen alle neueren Fortschritte der Brillentechnik. Am ältesten in dieser Hinsicht ist die *periskopische* oder *Umblickbrille* (Welläston); am vollkommensten die *Punktalbrille* (Zeiss), die auf der Theorie von Gullstrand und v. Rohr aufgebaut ist (zentriert für den Mittelpunkt der Augenbewegungen); hier sind die bei älteren Brillen sich unwillkürlich einstellenden Kopfdrehungen in die Sehrichtung hinein überflüssig. — Um mit Bequemlichkeit abwechselnd in die Nähe und Ferne sehen zu können, hat man *Bifokalbrillen* konstruiert, entweder aus zwei verschieden gekrümmten Teilen zusammengesetzt, wobei aber die Grenze störend wirkt, oder auf andre Weise; am vollkommensten sind die *torischen Gläser* (mit ringförmigen Zonen) und die *sphäro-torischen Gläser*. — Spezialitäten für besonders geschwächte Augen sind die *Fernrohrbrillen*, die *Starbrillen* (die die wegoperierte Augenlinse ersetzen müssen), die *Schneibrillen* zur Milderung der Lichtwirkung, die *Farbenbrillen* und unter ihnen besonders die *Gelbgläser* zum Schutz gegen ultraviolette Strahlen. — Für das Sehen mit einem Auge dient das Monokel; im Gegensatz dazu sind fast alle Brillen binokular. Dabei ist von Wichtigkeit, daß der Abstand der beiden Gläser dem der Augen genau entspreche, was nur durch festen Aufbau vollkommen erreicht werden kann; zur Feststellung dient der *Augenabstandsmesser*. — Das Brillenglas würde von Vergrößerung bzw. Verkleinerung und von andern Fehlern frei sein, wenn es das Auge unmittelbar berührte; solche Brillen, *Kontaktbrillen*, sind auch gebaut worden, haben sich aber als zu lästig nicht eingeführt. Die üblichen Brillen geben kleine Größenänderungen, was aber nicht viel schadet, z. T. sogar eine willkommene Beigabe ist.

*Brinelleche Kugelprobe*, s. Härte.

*Brisanz*, s. Explosion.

*British-Association-Einheit*, s. elektrische und magnetische Maßsysteme.

*Brockengespenst*, s. Atmosphärische Optik.

*Bromsilbergelatine*, s. Photographie.

**Brownsche Bewegung** ist die von dem Botaniker Brown entdeckte und mit dem Mikroskop leicht zu beobachtende Bewegung suspendierter Teilchen in einer Flüssigkeit. Die Bewegungen sind andauernd, völlig regellos und sie stehen mit keiner bekannten äußeren Ursache in irgendeinem Zusammenhang; es sind also jedenfalls Bewegungen aus innerer Ursache, und der naheliegende Schluß, daß es sich um *Wärmebewegung*, analog der von der kinetischen Gastheorie (s. d.) angenommenen Schwirrbewegung der Molekeln handelt, ist inzwischen durch zahlreiche experimentelle und theoretische Untersuchungen (Perrin, Smoluchowski, Einstein) vollauf bestätigt worden. Die Grundgesetze beider Erscheinungen sind die gleichen, und auch numerisch kommt man zu übereinstimmenden Beziehungen, so daß es sich also nicht bloß um eine äußere Analogie, sondern um ein richtiges, wenn auch grobes *Modell der Molekularbewegung* handelt. Als Material eignen sich besonders zwei Harze: Gummigutt und Mastix; durch geeignete Behandlung erhält man die gewünschte Emulsion, die man dann durch Zentrifugierung fraktionieren kann, d. h. man kann dann Emulsionen erhalten, die nur Teilchen von einem bestimmten Größenbereich enthalten. Die meistbenutzten Teilchen hatten einen Radius von 0,1 bis 0,5 Mikron (1 Mikron = 0,001 mm). Mit dem Mikroskop kann man auch die Teilchen zählen und feststellen, nach welchem Gesetz die Konzentration in einer zylindrischen Säule nach oben abnimmt; es ist hier, wie bei Gasen, das Gesetz der geometrischen Reihe. Vergleicht man das Gefälle hier und dort, so kann man die *Avogadro'sche Zahl* (s. Gase und Kinetische Theorie) berechnen und findet ausgezeichnete Übereinstimmung mit den Ergebnissen anderer Methoden, nämlich  $N = 68 \cdot 10^{22}$ . — Übrigens sind die Schwirrbewegungen, die man mit dem Mikroskop beobachtet, noch nicht die wahren, sondern nur die groben Integrationsbahnen über relativ längere Zeitabschnitte, innerhalb derer die wahre Bahn schon viele Knicke erfährt. Ferner kann man Diffusionsmessungen anstellen und nach dem Stokesschen Gesetz (s. Bewegung fester Körper in Flüssigkeiten) berechnen, wobei sich für  $N$  dieselbe Zahl ergibt. Abgesehen von der andern Natur des Mediums und der andern Größenordnung der schwirrenden Teilchen ist also die Brownsche Bewegung wesensgleich mit der hypothetischen Molekularbewegung der Gase, die dadurch eine weitere wesentliche Stütze erhält.

*Bruchdehnung*, s. Festigkeit.

*Brückenwaage*, s. Wägung.

*Brückenwalze*, s. Widerstandsmessung.

*Brummkreisel*, s. Kubische Pfeifen.

*Brustkasten*, s. Stimme und Sprache.

*Bruststimme*, s. Stimme und Sprache.

*Büschellicht*, s. Glühlicht.

*Bumerang*, s. Wurf.

*Bunsenbrenner*, s. Wärmeapparate.

*Bunsensches Element*, s. Galvanische Elemente.

*Busssole*, s. Galvanometer.

*Butterrefraktometer*, s. Brechungsquotient.

## C

*Cadmiumelement*, s. Galvanische Elemente.

*Caloricum*, s. Wärme.

*Camera lucida*, s. Mikroskop.

*Camera obscura*, s. Photographisches Objektiv, Projektion.

*Carcellampe*, s. Lichtstarke.

*Cardanische Aufhängung*, s. Zeitmessung.

*Carnotsche Maschine*, s. Thermodynamik.

*Carnotsches Prinzip*, s. Thermodynamik.

*Cartesischer Taucher*, s. Schwimmen.

*Brockengespenst*, s. Atmosphärische Optik.

*Bromsilbergelatine*, s. Photographie.

**Brownsche Bewegung** ist die von dem Botaniker Brown entdeckte und mit dem Mikroskop leicht zu beobachtende Bewegung suspendierter Teilchen in einer Flüssigkeit. Die Bewegungen sind andauernd, völlig regellos und sie stehen mit keiner bekannten äußeren Ursache in irgendeinem Zusammenhang; es sind also jedenfalls Bewegungen aus innerer Ursache, und der naheliegende Schluß, daß es sich um *Wärmebewegung*, analog der von der kinetischen Gastheorie (s. d.) angenommenen Schwirrbewegung der Molekeln handelt, ist inzwischen durch zahlreiche experimentelle und theoretische Untersuchungen (Perrin, Smoluchowski, Einstein) vollauf bestätigt worden. Die Grundgesetze beider Erscheinungen sind die gleichen, und auch numerisch kommt man zu übereinstimmenden Beziehungen, so daß es sich also nicht bloß um eine äußere Analogie, sondern um ein richtiges, wenn auch grobes *Modell der Molekularbewegung* handelt. Als Material eignen sich besonders zwei Harze: Gummigutt und Mastix; durch geeignete Behandlung erhält man die gewünschte Emulsion, die man dann durch Zentrifugierung fraktionieren kann, d. h. man kann dann Emulsionen erhalten, die nur Teilchen von einem bestimmten Größenbereich enthalten. Die meistbenutzten Teilchen hatten einen Radius von 0,1 bis 0,5 Mikron (1 Mikron = 0,001 mm). Mit dem Mikroskop kann man auch die Teilchen zählen und feststellen, nach welchem Gesetz die Konzentration in einer zylindrischen Säule nach oben abnimmt; es ist hier, wie bei Gasen, das Gesetz der geometrischen Reihe. Vergleicht man das Gefälle hier und dort, so kann man die *Avogadro'sche Zahl* (s. Gase und Kinetische Theorie) berechnen und findet ausgezeichnete Übereinstimmung mit den Ergebnissen anderer Methoden, nämlich  $N = 68 \cdot 10^{22}$ . — Übrigens sind die Schwirrbewegungen, die man mit dem Mikroskop beobachtet, noch nicht die wahren, sondern nur die groben Integrationsbahnen über relativ längere Zeitabschnitte, innerhalb derer die wahre Bahn schon viele Knicke erfährt. Ferner kann man Diffusionsmessungen anstellen und nach dem Stokesschen Gesetz (s. Bewegung fester Körper in Flüssigkeiten) berechnen, wobei sich für  $N$  dieselbe Zahl ergibt. Abgesehen von der andern Natur des Mediums und der andern Größenordnung der schwirrenden Teilchen ist also die Brownsche Bewegung wesensgleich mit der hypothetischen Molekularbewegung der Gase, die dadurch eine weitere wesentliche Stütze erhält.

*Bruchdehnung*, s. Festigkeit.

*Brückenwaage*, s. Wägung.

*Brückenwalze*, s. Widerstandsmessung.

*Brummkreisel*, s. Kubische Pfeifen.

*Brustkasten*, s. Stimme und Sprache.

*Bruststimme*, s. Stimme und Sprache.

*Büschellicht*, s. Glühlicht.

*Bumerang*, s. Wurf.

*Bunsenbrenner*, s. Wärmeapparate.

*Bunsensches Element*, s. Galvanische Elemente.

*Busssole*, s. Galvanometer.

*Butterrefraktometer*, s. Brechungsquotient.

## C

*Cadmiumelement*, s. Galvanische Elemente.

*Caloricum*, s. Wärme.

*Camera lucida*, s. Mikroskop.

*Camera obscura*, s. Photographisches Objektiv, Projektion.

*Carcellampe*, s. Lichtstarke.

*Cardanische Aufhängung*, s. Zeitmessung.

*Carnotsche Maschine*, s. Thermodynamik.

*Carnotsches Prinzip*, s. Thermodynamik.

*Cartesischer Taucher*, s. Schwimmen.

ccm, s. Raummaß.  
*Celsiusgrad*, s. Temperatur.  
*Celsius thermometer*, s. Thermometrie.  
*C-G-S-System*, s. Maßsysteme.  
*Charlière*, s. Luftschiffahrt.  
*Chemie*, s. Materie, Physik.  
*Chemilumineszenz*, s. Lumineszenz.  
*Chemische Harmonika*, s. Tönende Systeme.  
*Chemische Strahlen*, s. Strahlung.  
*Chemische Wärme*, s. Thermochemie.  
*Chemische Wirkungen des Lichts*, s. Photochemie.  
*Chemitelegraphie*, s. Telegraphie.  
*Chladnische Klangfiguren*, s. Membrantöne, Plattentöne.  
*Chlorsilberelement*, s. Galvanische Elemente.

**Chromatische Aberration** oder *Chromatische Abweichung* oder *Farbenabweichung* ist der Abbildungsfehler, der aus dem verschiedenen Verhalten verschiedenfarbigen Lichts infolge seiner verschiedenen Schwingungszahl bzw. Wellenlänge resultiert. Er macht sich nur bei der Brechung (sowie bei Interferenz und Beugung), nicht aber bei der Spiegelung geltend. Da der Brechungsquotient eines Stoffes (s. Brechung und besonders Dispersion) von der Farbe abhängig ist, und zwar, bei gut durchsichtigen Stoffen, in dem Sinne, daß er von Rot bis zu Violett stets zunimmt, wird auch der Gang verschiedenfarbiger Lichtstrahlen im Raume entsprechend verschieden, und die Vereinigungspunkte der Strahlen eines Bündels liegen für jede Farbe an anderer Stelle. Farbige Objekte werden also nicht in ein und derselben Ebene scharf abgebildet, sondern in verschiedenen; und bei schwarzweißen Objekten zeigt das Bild wegen der verschiedenen Lage der Bildpunkte farbige Konturen. Zur Herabminderung oder Beseitigung dienen Kombinationen von Linsen aus verschiedenen Glassorten. Früher verfügte man hierzu nur über die beiden Haupttypen, *Kron* und *Flint* (jenes mit niedriger, dieses mit höherer Brechung und Farbenzerstreuung), die man durch Verbindung einer Bikonvexlinse aus Kron mit einer Bikonkavlinse aus Flint zu einem *Achromaten* oder achromatischen

Objektiv vereinigte, s. Fig. 22 (Kron nach rechts unten, Flint nach rechts oben schraffiert); die Brechung blieb bestehen, die Farbenzerstreuung war herabgemindert, aber doch nur bis zu einem gewissen Grade, nämlich so, daß von dem Spektrum, das durch die Farbenzerstreuung entsteht, nur noch ein gewisser Rest, das *sekundäre Spektrum* übrig blieb; durch einen Achromaten lassen sich nämlich nur zwei

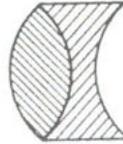


Fig. 22.

Stellen, z. B. Fraunhofersche Linien, der Spektren der Einzellinsen zur Deckung, also zur Aufhebung bringen, nicht aber die übrigen. Das wurde erst möglich durch Herstellung neuer Gläser,

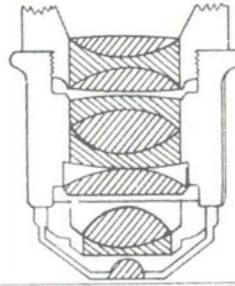


Fig. 23.

der *Jenaer Gläser* (Schott und Abbe), mit deren Hilfe dann neue Objektive, die *Apochromate*, gebaut wurden, die auch das sekundäre Spektrum zum großen Teile wegnehmen, s. Fig. 23 (Schraffierung willkürlich); solche Apochromate, die oft aus bis zu zehn Einzellinsen bestehen, finden in der Mikroskopie, Teleskopie und photographischen Optik Anwendung, z. T. auch unter Benutzung von natürlichem Fluß-

spat für eine der Linsen. — Übrigens ist zu unterscheiden zwischen optischer Achromasie und photographischer oder *aktinischer Achromasie*, je nachdem die Korrektion vollkommen ist für Wellenlängen, wie sie das Auge am besten wahrnimmt, oder für die viel kleineren, bei denen das Optimum der chemischen Wirkung liegt. — Außer der chromatischen Aberration infolge Brechung spielt in der Abbildungslehre auch noch die chromatische Abweichung der sphärischen Aberration (s. d.) eine Rolle, da letztere ebenfalls für verschiedene Farben verschieden stark ist.

*Chromatische Tonleiter*, s. Tonhöhe.

*Chromosphäre*, s. Sonne.

*Chromsäureelement*, s. Galvanische Elemente.

*Chronograph*, s. Zeitmessung.

*Chronographische Auflösung*, s. Experiment, Klang, Schwingungen.

*Chronometer*, s. Zeitmessung.

*Chronoskop*, s. Zeitmessung.

*Clarkeelement*, s. Galvanische Elemente.

*Clausius-Mosottische Theorie*, s. Dielektrizität.

*Clausiusches Prinzip*, s. Thermodynamik.

*Clément-Désormessche Methode*, s. Kalorimetrie.

*cm*, s. Längenmaß.

*Compounderschaltung*, s. Dynamomaschine.

*Contractio venae*, s. Ausfluß.

*Cornusche Hyperbeln*, s. Interferenz des Lichts, Biegung.

*Cornusche Spiralen*, s. Beugung des Lichts.

*Corona*, s. Sonne.

*Cortische Fasern*, s. Gehör.

*Coulomb*, s. Elektrische Maßsysteme.

*Coulombsche Drehwaage*, s. Elektrometrie, Magnetische Messungen.

*Coulombsches Gesetz*, s. Elektrostatik, Magnetismus.

*Coulombsches Reibungsgesetz*, s. Reibung.

*Crookescher Dunkelraum*, s. Glimmlicht.

*Crookesche Röhre*, s. Glimmlicht, Kathodenstrahlen.

*Curiesche Konstante*, s. Ferromagnetismus.

*Curisches Gesetz*, s. Ferromagnetismus.

*Curl der Kräfte*, s. Potential.

## D

*Dämmerung*, s. Atmosphärische Optik, Sonne.

**Dämpfe** im weitesten Sinne des Wortes sind nichts anderes als Gase, nur werden sie in engerer Beziehung zu der Flüssigkeit, aus der sie durch Verdampfung hervorgehen, erfaßt. Dabei ist dann eine wesentliche Unterscheidung zu machen: *ungesättigte* oder *überhitzte* Dämpfe einerseits und *gesättigte Dämpfe* andererseits. Erstere können nur für sich (nicht mit Flüssigkeit zusammen) existieren; sie verhalten sich wie Gase, und zwar bei genügend hoher Temperatur oder genügend großem Volumen wie ideale Gase, d. h. sie erfüllen das Boyle-Gay-Lussacsche Gesetz (s. Gase und Thermische Ausdehnung der Gase); aber je niedriger die Temperatur oder

je höher der Druck wird, desto mehr weichen sie von ihm ab. Ihre Isothermen sind dann nicht mehr gleichseitige Hyperbeln, sondern kompliziertere Kurven. Anschaulicher ist es, als Funktion des Druckes  $p$  nicht das spezifische Volumen  $v$ , sondern das Produkt  $pv$  darzustellen; es müßte sich dann für jede Temperatur eine horizontale Gerade ergeben, in Wahrheit ergeben sich Kurven, die desto stärker nach unten ausgetaucht sind, je niedriger die Temperatur ist, s. Fig. 24 (gültig für Kohlensäure). Für zahlreiche Dämpfe hat man die zusammengehörigen Werte von  $v$ ,  $p$ ,  $T$  (absolute Temperatur) gemessen, ganz besonders vielfach natürlich für Wasserdampf, bei dem übrigens die Abweichungen meist nicht sehr er-

spat für eine der Linsen. — Übrigens ist zu unterscheiden zwischen optischer Achromasie und photographischer oder *aktinischer Achromasie*, je nachdem die Korrektion vollkommen ist für Wellenlängen, wie sie das Auge am besten wahrnimmt, oder für die viel kleineren, bei denen das Optimum der chemischen Wirkung liegt. — Außer der chromatischen Aberration infolge Brechung spielt in der Abbildungslehre auch noch die chromatische Abweichung der sphärischen Aberration (s. d.) eine Rolle, da letztere ebenfalls für verschiedene Farben verschieden stark ist.

*Chromatische Tonleiter*, s. Tonhöhe.  
*Chromosphäre*, s. Sonne.  
*Chromsäureelement*, s. Galvanische Elemente.

*Chronograph*, s. Zeitmessung.  
*Chronographische Auflösung*, s. Experiment, Klang, Schwingungen.  
*Chronometer*, s. Zeitmessung.  
*Chronoskop*, s. Zeitmessung.  
*Clarkeelement*, s. Galvanische Elemente.

*Clausius-Mosottische Theorie*, s. Dielektrizität.  
*Clausiusches Prinzip*, s. Thermodynamik.

*Clément-Désormessche Methode*, s. Kalorimetrie.

*cm*, s. Längenmaß.

*Compounderschaltung*, s. Dynamomaschine.

*Contractio venae*, s. Ausfluß.

*Cornusche Hyperbeln*, s. Interferenz des Lichts, Biegung.

*Cornusche Spiralen*, s. Beugung des Lichts.

*Corona*, s. Sonne.

*Cortische Fasern*, s. Gehör.

*Coulomb*, s. Elektrische Maßsysteme.

*Coulombsche Drehwaage*, s. Elektrometrie, Magnetische Messungen.

*Coulombsches Gesetz*, s. Elektrostatik, Magnetismus.

*Coulombsches Reibungsgesetz*, s. Reibung.

*Crookescher Dunkelraum*, s. Glimmlicht.

*Crookesche Röhre*, s. Glimmlicht, Kathodenstrahlen.

*Curiesche Konstante*, s. Ferromagnetismus.

*Curisches Gesetz*, s. Ferromagnetismus.

*Curl der Kräfte*, s. Potential.

## D

*Dämmerung*, s. Atmosphärische Optik, Sonne.

**Dämpfe** im weitesten Sinne des Wortes sind nichts anderes als Gase, nur werden sie in engerer Beziehung zu der Flüssigkeit, aus der sie durch Verdampfung hervorgehen, erfaßt. Dabei ist dann eine wesentliche Unterscheidung zu machen: *ungesättigte* oder *überhitzte* Dämpfe einerseits und *gesättigte Dämpfe* andererseits. Erstere können nur für sich (nicht mit Flüssigkeit zusammen) existieren; sie verhalten sich wie Gase, und zwar bei genügend hoher Temperatur oder genügend großem Volumen wie ideale Gase, d. h. sie erfüllen das Boyle-Gay-Lussacsche Gesetz (s. Gase und Thermische Ausdehnung der Gase); aber je niedriger die Temperatur oder

je höher der Druck wird, desto mehr weichen sie von ihm ab. Ihre Isothermen sind dann nicht mehr gleichseitige Hyperbeln, sondern kompliziertere Kurven. Anschaulicher ist es, als Funktion des Druckes  $p$  nicht das spezifische Volumen  $v$ , sondern das Produkt  $pv$  darzustellen; es müßte sich dann für jede Temperatur eine horizontale Gerade ergeben, in Wahrheit ergeben sich Kurven, die desto stärker nach unten ausgetaucht sind, je niedriger die Temperatur ist, s. Fig. 24 (gültig für Kohlensäure). Für zahlreiche Dämpfe hat man die zusammengehörigen Werte von  $v$ ,  $p$ ,  $T$  (absolute Temperatur) gemessen, ganz besonders vielfach natürlich für Wasserdampf, bei dem übrigens die Abweichungen meist nicht sehr er-