

Dr. W. Guttmann

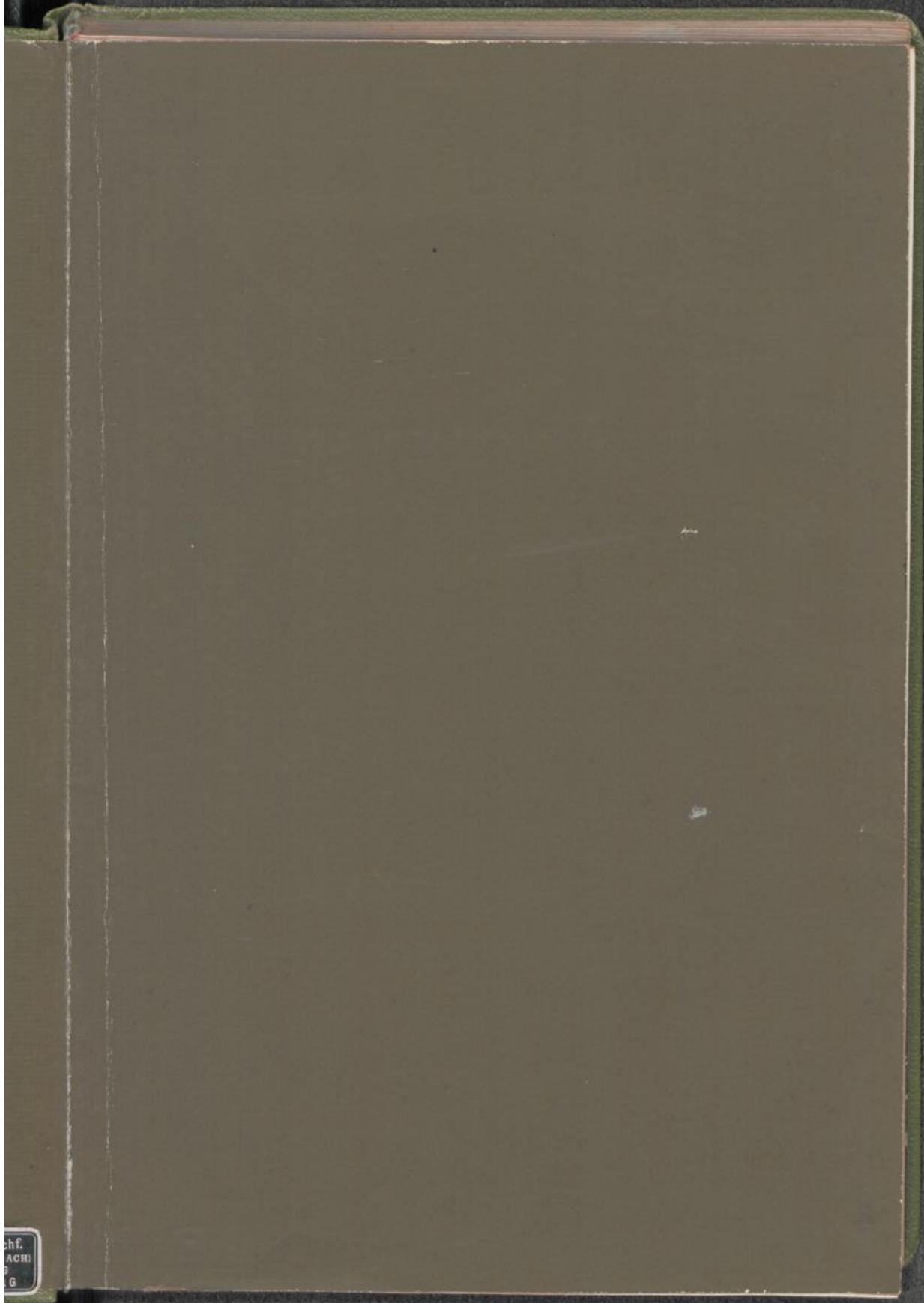
Grundriss der Physik

Dritte Auflage.

LEONHARDT
LEIPZIG

DV 5121³

C. SEEL'S Nachf.
(MORITZ WEIDENBACH)
BUCHHANDLUNG
DILLENBURG



chf.
ACH
G

3.80

Weigel, Ant. pharm. 23!

Grundriss der Physik

Hillenbrand (Nassau)

für Studierende,

besonders

für Mediziner und Pharmazeuten

von

Dr. med. Walter Guttman,

Stabsarzt an der Kaiser Wilhelms-Akademie für das militärärztliche Bildungswesen.

Mit 125 Abbildungen.

Dritte, verbesserte Auflage.

Leipzig.

Verlag von Georg Thieme.

1904.

Grundriss der Physik

für Studierende

für Mediziner und Pharmazeuten

Dr. med. Walter Gatzmann

UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
- Med.-Naturwiss. Abl. -
DÜSSELDORF
V5766

Vorwort zur dritten Auflage.

Da trotz der vielen vorhandenen Lehrbücher der Physik die beiden ersten starken Auflagen dieses Grundrisses binnen kurzer Zeit vergriffen sind, so darf ich wohl mit Recht daraus schließen, daß er seinen Zweck, „die wichtigsten Gesetze und Tatsachen der Physik in kurzer, aber doch klarer und verständlicher Form vorzuführen“, erfüllt hat. Wenn ich daher auch bei der dritten Auflage von prinzipiellen Änderungen Abstand nehmen konnte, so zeigt sie doch zahlreiche Verbesserungen und Zusätze gegenüber den beiden ersten. So sind u. a. die physikalischen Grundlagen der Kryoskopie, die ja jetzt in der Medizin eine große Rolle spielt, etwas eingehender behandelt worden, und das absolute Maßsystem hat in einem Anhang eine zusammenhängende Darstellung gefunden; auch ist, mehrfachen Wünschen entsprechend, die etymologische Erklärung der wichtigsten fremdsprachlichen Fachausdrücke gegeben worden.¹ Die Bemerkungen der Kritik habe ich nach Möglichkeit berücksichtigt; manche Ausstellung beruht indes auf einer vollständigen Verkennung der Aufgaben dieses Buches, wie z. B. die, es enthalte zu wenig Tabellen und Zahlenbeispiele. Dem gegenüber möchte ich nochmals betonen, daß der vorliegende Grundriß keineswegs die Bestimmung hat, die größeren, ausgezeichneten Lehrbücher² zu ersetzen. Er soll vielmehr für diejenigen, die Physik nur als Nebenfach studieren, also für Mediziner, Pharmazeuten, Zahnärzte etc. in erster Linie als kurze Einleitung in die Physik dienen; er soll den Genannten ferner ein Hilfsmittel beim Hören von Vorlesungen sein, indem er ihnen das lästige Nachschreiben nach Möglichkeit erspart; und schließlich soll er sich als Repetitorium nützlich erweisen, indem er das zum Examen Notwendige in übersichtlicher Form darbietet.

Januar 1904.

W. Guttmann.

¹ Vergl. W. Guttmann, Medizinische Terminologie; Ableitung und Erklärung der wichtigsten Fachausdrücke der Medizin und ihrer Hilfswissenschaften, Berlin und Wien 1902.

² Besonders empfehlenswert für Mediziner ist das „Lehrbuch der Experimentalphysik in elementarer Darstellung“ von Dr. Arnold Berliner, Jena 1903.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Vorwort.	
Einleitung	1—8
Mechanik	4—48
A. Allgemeine Grundbegriffe	4
B. Gesetze der festen Körper	10
C. Gesetze der flüssigen Körper	27
D. Gesetze der luftförmigen Körper	35
Allgemeine Wellenlehre	44—52
Akustik	53—61
Wärmelehre	61—79
A. Mechanische Wärmetheorie	61
B. Ausdehnung durch Wärme	63
C. Änderung des Aggregatzustandes	67
D. Spezifische Wärme	74
E. Fortpflanzung der Wärme	77
Optik	79—109
A. Ursprung und Ausbreitung des Lichtes	79
B. Reflexion des Lichtes (Katoptrik)	83
C. Brechung des Lichtes (Dioptrik)	87
D. Dispersion, Absorption, Spektralanalyse	95
E. Interferenz und Polarisation	100
Magnetismus	110—118
Elektrizität	114—144
A. Statische Elektrizität	114
B. Der elektrische Strom	121
a. Entstehung und Gesetze des galvanischen Stromes	121
b. Wärme, Licht- und chemische Wirkungen	128
c. Elektromagnetismus und Elektrodynamik	132
d. Induktion	136
Anhang: Absolute Maße	145—151

Einleitung.

§ 1. **Physik und Chemie.** Die Physik¹ beschäftigt sich mit den Kräften, die in der Natur walten, die Chemie dagegen mit der stofflichen Zusammensetzung der Körper. Ist z. B. Eisen der Luft ausgesetzt, so rostet es, d. h. es entsteht durch Verbindung mit dem Sauerstoff und Wasserstoff der Luft ein ganz neuer Körper, nämlich Eisenoxydhydrat. Bestreicht man dagegen Eisen mit einem Magnet, so ist zwar stofflich kein Unterschied zu bemerken, aber das Eisen hat eine neue Kraft, nämlich magnetische Wirkung, bekommen. Der erste Vorgang fällt in das Gebiet der Chemie, der zweite in das der Physik. Beide Gebiete sind aber nicht scharf voneinander abzugrenzen, da Kraft und Stoff nur begriffliche Abstraktionen sind, die in Wirklichkeit nie allein vorkommen, sondern stets untrennbar miteinander verbunden sind. Ihre gesonderte Betrachtung geschieht nur aus praktischen Gründen.

Die scheinbar trivialen Wahrheiten, daß aus nichts nichts entstehen, und daß umgekehrt nichts spurlos verschwinden kann, bilden die Grundlagen der Physik und Chemie, die noch nicht allzulange Zeit sicher festgestellt sind. LAVOISIER bewies nämlich am Ende des 18. Jahrhunderts mit der Wage das Gesetz von der Unzerstörbarkeit des Stoffes, ROBERT MAYER sprach 1842 das Gesetz von der Unzerstörbarkeit der Kräfte aus, auch Gesetz von der Erhaltung der Energie genannt.

§ 2. **Atome und Moleküle.** Bezüglich der Beschaffenheit des Stoffes (der Materie²) wird heute ziemlich allgemein die Atomtheorie DALTON'S angenommen, deren Anfänge bis auf DEMOKRIT zurückgehen. Danach bestehen die Körper aus kleinsten, selbst mikroskopisch unsichtbaren Teilchen, den Atomen³, die man sich durch fortgesetzte Teilung entstanden denken kann. [Vergl. § 188.]

¹ φυσική (θεωρία) eigentlich nur: Naturforschung.

² Mutter- oder Ursubstanz; von *mater* Mutter.

³ ἄτομος unteilbar.

Diese können aber nicht allein existieren, sondern bilden Komplexe von mindestens 2, die sogenannten Moleküle.¹ Bei den Elementen (d. s. solche Stoffe, die sich mit den heutigen Mitteln nicht weiter zerlegen lassen) bestehen nun die Moleküle aus gleichen Atomen, bei zusammengesetzten Verbindungen aus verschiedenen. Also ein Molekül Wasserstoff (H_2) besteht aus 2 Atomen H , ein Molekül Salzsäure (HCl) dagegen aus 1 Atom H und 1 Atom Cl . Zwischen diesen Körpermolekülen nimmt man nun, da ja ein leerer Raum nicht existieren kann, einen äußerst feinen, unsichtbaren Stoff, den Äther, an, der noch kleinere Moleküle besitzt und zur Fortpflanzung von Licht und Wärme dient.

So große Erfolge die moderne Wissenschaft der Atomistik verdankt, so muß man sich doch erinnern, daß es sich hier nur um eine Hypothese handelt. Gesehen hat noch niemand Atome, und die Vorstellung von unteilbaren (*ἄτομος*) Körpern ist eine *contradictio in adjecto*. Es sei gleich hier darauf hingewiesen, daß auch alle anderen Grundbegriffe der Physik nicht vorstellbar sind, z. B. Äther, Attraktion, Zeit und Raum, mag man letztere als objektive Größen oder als Form des Denkens betrachten.

§ 3. **Aggregatzustände.** Je nachdem die Moleküle eines Körpers näher oder weiter voneinander entfernt sind, unterscheidet man drei Aggregatzustände², den festen, flüssigen und gasförmigen. Feste Körper haben bestimmtes Volumen und bestimmte Gestalt; flüssige Körper bestimmtes Volumen, wechselnde Gestalt; gasförmige Körper weder bestimmtes Volumen noch bestimmte Gestalt.

§ 4. **Volumen. Dichte.** Unter Volumen eines Körpers versteht man den Raum, den er einnimmt. Je mehr Masse in einem gegebenen Volumen ist, desto größer ist die Dichte. Befinden sich z. B. in einem Raume 10 Leute, in einem gleichgroßen 100, so ist in letzterem natürlich die Dichtigkeit größer. Dichte ist mithin das Verhältnis von Masse zum Volumen $D = \frac{M}{V}$, oder, wie man auch sagen kann, sie ist direkt proportional der Masse, umgekehrt proportional dem Volumen.

§ 5. **Maßeinheiten.** Bevor die Physik ihre Hauptaufgabe, das Wesen der Kräfte festzustellen, erfüllen kann, ist es nötig, die verschiedenen Formen der Kräfte, resp. die von ihnen an der Materie hervorgebrachten Wirkungen zu messen. In der Neuzeit ist man nun bemüht, alle physikalischen Größen in absoluten Maßen auszudrücken, d. h. auf die Einheiten der Länge, Masse, Zeit zurückzuführen [s. Anhang].

Als Längeneinheit gilt das Meter. Ursprünglich war es als 40millionster Teil des Erdmeridians gewählt worden, doch trifft dies

¹ Diminutiv von *moles* Masse.

² *aggrego* anhäufen.

nach neueren Messungen nicht genau zu. Jetzt gilt als Urmaß das aus Platin gemachte *mètre des archives* in Paris.

Lineare Maße: 1 Meter (m) = 10 Dezimeter¹ (dm) = 100 Zentimeter (cm) = 1000 Millimeter (mm).

1 Mikron (μ) = 0,001 mm.

1 Mikromillimeter ($\mu\mu$) = 0,001 μ = 0,000001 mm.

Flächenmaße: 1 Quadratmeter (qm) = 10 · 10 Quadratdezimeter (qdc) = 1000 · 1000 Quadratmillimeter etc.

Raum- oder Volummaße: 1 Kubikmeter (cbm) = 10 · 10 · 10 Kubikdezimeter (cdm) = 100 · 100 · 100 Kubikzentimeter (ccm) etc.

1 Kubikdezimeter, auch Liter (l) genannt, ist also $\frac{1}{1000}$

Kubikmeter und enthält 1000 Kubikzentimeter.

Als Masseneinheit gilt die Menge Wasser von 4° Celsius, also im Zustand der größten Dichte, welche 1 Liter (bzw. 1 ccm) faßt. Da nun Gewichte den Massen proportional sind [§ 11], so bezeichnet man (nicht ganz zweckmäßig) auch das Gewicht dieser Wassermenge, nämlich 1 Kilogramm bzw. 1 Gramm, als Masseneinheit. [Vergl. Anhang.] Auch hier gilt wieder das Kilogramm des *archives* in Paris als Urmaß.

1 Kilogramm (kg) = 1000 Gramm (g oder gr). 1 Gramm = 10 Deziagramm (dg) = 100 Zentigramm (cg) = 1000 Milligramm (mg).

Es besteht also die wichtige Beziehung, daß 1 l Wasser von 4° 1 kg wiegt, somit 1 ccm Wasser 1 g.

Als Zeiteinheit gilt die Sekunde oder der 86 400. Teil des mittleren Sonnentages.

§ 6. **Nonius.** Um die Länge eines Körpers auch in Bruchteilen eines Maßstabes auszudrücken, gebraucht man den sogenannten Nonius (NONIUS 1550; VERNIER 1681).

Es ist dies ein kleiner, an dem Hauptmaßstab verschieblicher Maßstab, bei dem $n + 1$ oder

$n - 1$ Teile n Teilen des ersteren entsprechen; im ersten Falle heißt er vorläufig, im zweiten rückläufig. Um z. B. mit einem vorläufigen Nonius, bei dem 10 Teile 9 Teilen des Hauptmaßstabes entsprechen, den Körper *a b* (Fig. 1) zu messen, bringt man *a* an den Nullpunkt des Hauptmaßstabes, schiebt dann den Nullpunkt des Nonius an *b* heran und sieht nach, welcher Teilstrich des letzteren mit einem Teilstrich des ersteren zusammenfällt. Ist es, wie in der Figur, der dritte, so bedeutet dies, daß *a b* 2,3 Teilstriche des Hauptmaßstabes lang ist.

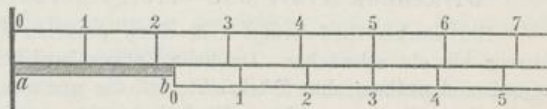


Fig. 1.

¹ Es sei daran erinnert, daß die lateinischen Vorsilben Dezi-, Zenti-, Milli- den zehnten, hundertsten, tausendsten Teil, die griechischen Deko-, Hekto-, Kilo- das Zehn-, Hundert-, Tausendfache des Grundmaßes bedeuten. Mega- (*μέγας* groß) bezeichnet das Millionenfache, Mikro- (*μικρός* klein) den millionten Teil der Einheit.

Mechanik.

A. Allgemeine Grundbegriffe.

§ 7. Die Grundlage der Mechanik, d. h. der Lehre vom Gleichgewicht und von der Bewegung der Körper, bilden die 3 **Newton'schen Bewegungsgesetze**, von denen übrigens die beiden ersten schon **GALILEI** bekannt waren:

- 1) Jeder Körper verharrt in seinem Zustand der Ruhe oder der geradlinigen, gleichförmigen Bewegung, solange keine neue Kraft eine Änderung dieses Zustandes bewirkt.

Dieses sogenannte Trägheitsgesetz (Trägheit = Beharrungsvermögen) ist eine Erfahrungstatsache und erklärt es z. B., warum man in einem Eisenbahnzuge etc. nach vorn fällt, wenn er plötzlich hält.

- 2) Die Änderung der Bewegung ist proportional der einwirkenden Kraft und erfolgt geradlinig zu dieser.

Ein starker Stoß bringt z. B. einen größeren Ausschlag eines Pendels hervor als ein schwacher. Da beim Zusammenwirken mehrerer Kräfte jede einzelne derselben ohne Rücksicht auf die anderen bezw. auf eine bereits vorhandene Bewegung ihren Einfluß ausübt, so heißt das Gesetz auch Unabhängigkeitsprinzip.

- 3) Wenn zwischen zwei Körpern Kräfte tätig sind, so ist ihre Wirkung stets wechselseitig und gleichgroß. (*Actioni aequalis est reactio*).

Dieses Prinzip der Wechselwirkung besagt z. B., daß ein Brett ebenso stark ein auf ihm liegendes Gewicht drückt, wie umgekehrt; daß die Wagen eines Zuges die Lokomotive ebenso stark anziehen, wie diese die Wagen etc. Bei ungleichen Kräften kommt es natürlich zu einer fortschreitenden Bewegung in der Richtung der stärkeren, d. h. also, das Brett wird zerdrückt, die Wagen werden fortgezogen etc. Immer ist aber hierbei ein Teil der stärkeren Kraft durch das Maximum der schwächeren neutralisiert.

Zum genaueren Verständnis dieser Bewegungsgesetze ist es nun nötig, die in ihnen enthaltenen Begriffe einzeln zu betrachten.

§ 8. **Ruhe** ist Negation der Bewegung. Da nun überall bewegende Kräfte existieren, so ist Ruhe vorhanden, wenn die einwirkenden Kräfte einander aufheben. Es gibt aber keine absolute Ruhe, nur relative. Führt man z. B. in einem Wagen, so kann man in Beziehung auf diesen in Ruhe sein. Der Wagen aber bewegt sich auf der Erde, diese dreht sich um sich selbst und um die Sonne, und auch das ganze Sonnensystem zeigt eine fortschreitende Bewegung. In gewissem Sinne ist also alles in Bewegung (*πάντα ῥεῖ* des HERAKLIT). Bei der Bewegung kommt in Betracht die

§ 9. **Geschwindigkeit**, d. i. der Weg, der in einer bestimmten Zeit (in der Regel 1 Sekunde) durchlaufen wird. Sie ist um so größer, ein je längerer Weg in derselben Zeit zurückgelegt wird, andererseits um so kleiner, je mehr Zeit man dazu braucht. Daher sagt man, Geschwindigkeit ist direkt proportional dem Wege, umgekehrt proportional der Zeit; mathematisch¹ ausgedrückt:

$$v = \frac{s}{t}.$$

$$\text{Daraus folgt: } s = vt \quad t = \frac{s}{v}.$$

Einheit der Geschwindigkeit ist die, bei der die Einheit des Weges (1 cm) in der Zeiteinheit (1 Sek.) zurückgelegt wird.

Eine Geschwindigkeit kann nun gleichförmig sein, wenn sie in jedem Augenblick gleichgroß ist, oder ungleichförmig. Die ungleichförmige Geschwindigkeit muß nach dem ersten Bewegungsgesetze durch Kräfte bedingt sein, die entweder eine Beschleunigung oder eine Verlangsamung bewirken. Letztere kann auch negative Beschleunigung genannt werden.

§ 10. **Beschleunigung** ist demnach der Zuwachs an Geschwindigkeit bezogen auf die Zeit. Sie ist nämlich um so größer, je größer die resultierende Geschwindigkeit ist, und in je kürzerer Zeit dies geschieht.

$$a = \frac{v}{t}.$$

Einheit der Beschleunigung ist die, bei der die Einheit der Geschwindigkeit in der Zeiteinheit erreicht wird. Die Beschleunigung kann ebenfalls wieder gleichförmig oder ungleichförmig sein. Eine gleichförmige Beschleunigung ist z. B. beim freien Fall vorhanden, eine gleichförmige Verlangsamung beim Wurf in die Höhe.

¹ Die üblichen Abkürzungen sind: *v* oder *c* für Geschwindigkeit (velocitas oder celeritas), *a* für Beschleunigung (acceleratio), *g* für Beschleunigung durch Erdanziehung (gravitas), *s* für Weg (spatium), *t* für Zeit (tempus).

Eine gleichförmig beschleunigte Bewegung kann man sich auch ersetzt denken durch eine Bewegung von mittlerer gleichförmiger Geschwindigkeit. Hat z. B. ein Körper zuerst die Geschwindigkeit 0, und steigt dieselbe innerhalb einer Sekunde an bis v , so ist das Resultat dasselbe, als hätte es sich mit der gleichförmigen Geschwindigkeit $\frac{v}{2}$ bewegt. Der Körper legt somit in 1 Sekunde $\frac{v}{2}$ cm zurück in t Sekunden $\frac{1}{2} v t$.

*die Kraft ist die
Ursache der
Beschleunigung
und ist proportional
zu der Beschleunigung
als Kraft.*

§ 11. **Kraft** ist nach dem zweiten NEWTON'schen Gesetze Ursache einer Bewegungsänderung, und dadurch auch allein wahrnehmbar und meßbar. Bezeichnet man das Produkt aus Masse in ihre Geschwindigkeit ($m \cdot v$) als Bewegungsgröße, so ist eine Kraft proportional der Bewegungsgröße, die sie in der Zeiteinheit hervorbringen kann.

$$F = \frac{(m v)}{t}.$$

Da man $\frac{(m v)}{t}$ auch $m \frac{v}{t}$ schreiben kann, $\frac{v}{t}$ aber, wie gezeigt, = Beschleunigung ist, so kann man Kraft auch definieren als Produkt aus Masse und Beschleunigung [vgl. Anhang]. Allen Massen wird nun durch die Erde die Beschleunigung $g = 9,81$ erteilt [§ 17], d. h. sie werden von der Erde angezogen mit einer Kraft P (Pondus) = $m g$. Diese auf sie ausgeübte Kraft äußern sie durch den Druck auf ihre Unterlage, mit andern Worten durch ihr Gewicht. Daraus folgt: 1) Kräfte können durch Gewichte gemessen werden; als praktische Einheit¹ der Kraft wird daher in der Mechanik das Kilogramm benutzt, das somit das Gravitationsmaß der Kraft vorstellt; 2) daß die Gewichte den Massen proportional sind, da g für jeden Ort auf der Erde eine konstante Zahl ist.

Kräfte sind sogenannte gerichtete Größen, d. h. sie haben neben einer bestimmten Größe auch eine bestimmte Richtung. Daher lassen sie sich durch Linien von bestimmter Länge und Richtung graphisch darstellen. Wenn also eine Kraft positiv genannt wird, heißt die entgegengesetzt gerichtete Kraft negativ.

Die wichtigste Form der Kraft, auf die sich in letzter Linie alle anderen zurückführen lassen, ist die Anziehung und Abstoßung zweier Massen. Die Anziehung zwischen den Teilchen desselben Körpers heißt Kohäsion, zwischen zwei verschiedenen Körpern Adhäsion. Auf letzterer beruht z. B. das Leimen etc. Speziell die Anziehungs-

¹ Die absolute Krafteinheit ist die Dyne, über die Näheres im Anhang gesagt ist.

kraft der Weltkörper heißt Gravitation, zu der auch die Anziehungskraft der Erde, die Schwerkraft, gehört. Nach NEWTON ziehen sich nun zwei Massen M und m in der Entfernung r an mit der Kraft

$$F = \frac{Mm}{r^2} k$$

wobei k , der sogen. Proportionalitätsfaktor, eine Zahl darstellt, die von der Natur der Körper abhängt. In Worten: die anziehende Kraft ist direkt proportional dem Produkt der Massen, umgekehrt proportional dem Quadrate ihrer Entfernung.

Das Wesen der Gravitation ist ein bisher ungelöstes Rätsel. Jedenfalls darf man sich dieselbe nicht als Fernwirkung vorstellen, d. h. als Wirkung durch den leeren Raum; denn ein solcher existiert nicht. Vielleicht ist die Gravitation wie alle scheinbaren Fernkräfte von gewissen Spannungszuständen des Äthers abhängig.

§ 12. **Arbeit** im physikalischen Sinne heißt das Produkt aus Kraft und dem von ihr zurückgelegten Weg.

$$A = F s$$

Als praktisches Arbeitsmaß¹ gilt das Kilogramm-meter oder Meterkilogramm, d. i. also die Arbeit, welche geleistet wird, wenn 1 kg 1 m gehoben wird.

Die Arbeit wird = 0, wenn in dem Produkte Fs ein Faktor 0 wird. Hängt z. B. ein Gewicht an einem Faden, so wirkt hier zwar eine Kraft, nämlich die Anziehung der Erde, aber der Körper wird nicht verschoben. Folglich ist s und somit auch die geleistete Arbeit = 0.

Gewöhnlich wird auch als Beispiel angeführt, daß, wenn ein Gewicht im ausgestreckten Arme gehalten wird, im physikalischen Sinne keine Arbeit geleistet wird. Das ist falsch. Denn jede dauernde Muskelkontraktion (Tetanus) setzt sich aus einer Reihe von Zuckungen zusammen.

Es kann aber auch $F = 0$ werden, wie dies z. B. der Fall ist, wenn sich ein Gas in einen luftleeren Raum ausdehnt [vgl. auch § 18]; dann wird ebenfalls keine Arbeit geleistet.

§ 13. **Nutzeffekt** oder **Effekt** heißt die Arbeit, die in einer gegebenen Zeit geleistet wird. Als praktische Einheit¹ dient die Pferdekraft, d. i. eine Arbeit von 75 Meterkilogramm pro Sekunde. Sie entspricht ungefähr der Arbeitsleistung von kräftigen Männern in einer Sekunde.

¹ Die absoluten Einheitsmaße der Arbeit und des Effektes sind das Erg und Joule bezw. das Sekundenerg und Watt, über die Näheres im Anhang gesagt ist.

§ 14. **Energie.** Die Fähigkeit eines Körpers, Arbeit zu leisten, bzw. sein Arbeitsvorrat, wird **Energie** genannt, und zwar unterscheidet man **aktuelle** und **potentielle** Energie.

Aktuelle oder **kinetische**¹ **Energie**, **Energie** der **Bewegung**, auch wohl **lebendige Kraft**² genannt, ist die **Energie**, die ein Körper jeden Augenblick durch seine **Bewegung** besitzt. Sie entspricht der **Arbeit**, die er leistet, wenn er die **Bewegung** verliert.

Ein einfaches Beispiel ist eine abgeschossene Kanonenkugel, die durch ihre **Bewegung** befähigt wird, die dicksten Mauern zu zertümmern. Als eine Form der **Arbeit** wird die **kinetische** **Energie** ausgedrückt durch $Fs = \frac{mv}{t} \cdot s$. Da es sich hier nun um eine gleichmäßig beschleunigte **Bewegung** handelt, bei der die **Geschwindigkeit** am Anfange 0, am Ende v ist, so ist hier nach § 10 $s = \frac{1}{2} vt$. Daraus folgt:

$$\text{kinetische Energie} = \frac{mv}{t} \cdot \frac{1}{2} vt = \frac{1}{2} mv^2.$$

Die **kinetische** **Energie** ist also direkt proportional der **Masse** und dem **Quadrate** der **Geschwindigkeit**. Bei der **Wucht**, wie die **kinetische** **Energie** auch noch genannt wird, spielt also die **Geschwindigkeit** des bewegten Körpers die Hauptrolle.

Potentielle **Energie**, auch **Energie** der **Lage** oder **Spannkraft** genannt, ist die zweite Form der **Energie**. Hier leistet ein Körper zwar noch nicht **Arbeit**, aber er besitzt vermöge seiner **Lage** oder **Spannung** die **Möglichkeit** (*potentia*), sie jeden Augenblick zu leisten. So erklären sich die Namen. Ein Stein auf dem Dache hat z. B. durch seine **Lage** zur **Erdoberfläche** **potentielle** **Energie**; denn wenn er fällt, kann er **Arbeit** leisten. Hieraus geht schon hervor, daß **potentielle** **Energie** eine **relative** **Größe** ist, da man ja von **Lage** eines Punktes immer nur in **Beziehung** auf einen andern sprechen kann. Also ein Stein auf dem Dache hat **potentielle** **Energie** in Bezug auf das **Niveau** der **Erdoberfläche**, ein Stein auf dieser **potentielle** **Energie** etwa in Bezug auf einen tiefen Schacht etc. Auch die **Atome** in einem **Molekül** besitzen **potentielle** **Energie**, wie sich dies besonders markant bei den **explosiven** **Körpern** zeigt. Wenn z. B. beim **Schießpulver** durch **äußere** **Einwirkung** die **Moleküle** **gesprengt** werden, so nehmen die **Atome** zueinander ganz andere **Lagen** ein;

¹ *κίνησις* bewegen.

² Die „lebendige Kraft“ ist, streng genommen, keine Kraft, sondern eine **Arbeit**, ebenso wie die „Pferdekraft“ ein **Effekt** ist.

es entstehen Gase mit großem Ausdehnungsbestreben, wodurch die Sprengwirkung erklärt wird. Auch eine gespannte Feder hat potentielle Energie.

Interessant ist der Gegensatz zwischen Tier- und Pflanzenwelt. Letztere bereitet durch Reduktionsprozesse Spannkraft, die im tierischen Organismus durch Oxydation in kinetische Energie (Bewegung, Wärme, Elektrizität etc.) übergeführt werden.

§ 15. **Gesetz von der Erhaltung der Energie.** Diese beiden Formen der Energie sind der Ausdruck für alle existierenden Kräfte resp. Arbeitsleistungen. Wie die einzelnen Formen der kinetischen Energie ineinander übergeführt werden können, z. B. mechanische Arbeit in Wärme, so kann auch die kinetische Energie übergehen in potentielle, und umgekehrt. Nie aber kann Energie aus Nichts entstehen, nie kann bei solchen Umwandlungen ein Plus oder Minus an Energie resultieren. In einem abgeschlossenen System, z. B. im Sonnensystem, ist die Summe der kinetischen und potentiellen Energie eine konstante Größe. Die Vermehrung der einen von beiden Formen bedingt eine Verminderung der anderen. Dieses Gesetz, welches das schon durch die Erfahrung widerlegte Prinzip des Perpetuum mobile auch logisch für immer beseitigt, heißt das Gesetz von der Erhaltung der lebendigen Kraft, besser das Gesetz von der Erhaltung der Energie. Zuerst ausgesprochen wurde es 1842 von ROBERT MAYER, einem Arzte in Heilbronn, mathematisch formuliert von HELMHOLTZ.

Zwei Beispiele mögen es noch besser erläutern:

1) Wenn ein Pendel (Fig. 2) durch einen Stoß aus der Ruhelage *AB* gebracht wird und nach einer Seite schwingt, wird seine potentielle Energie, d. h. seine Entfernung von der Erde, größer. Nach dem Gesetze von der Erhaltung der Energie muß seine kinetische Energie um ebensoviel kleiner werden. Das beweist auch die Erfahrung; denn nach einer gewissen Zeit bleibt der Pendel stehen, etwa in *C*. Dann kommt er wieder langsam in Bewegung und schwingt in umgekehrter Richtung ebenso weit über den Ruhepunkt hinaus, etwa bis *D*, und so fort. Bei *C* ist also die kinetische Energie = 0, die potentielle hat ihr Maximum erreicht. Bei der umgekehrten Bewegung wird die potentielle Energie kleiner, dafür wächst die kinetische, die dann in *B* ihr Maximum hat.

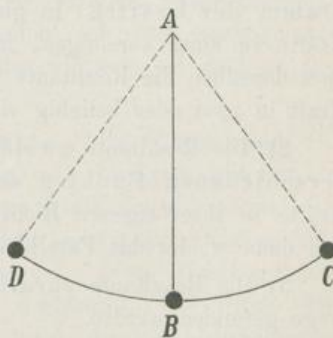


Fig. 2.

2) Die Planeten bewegen sich um die Sonne in elliptischen Bahnen. In der Sonnennähe, dem sogenannten Perihel, ist ihre potentielle Energie

klein, folglich muß ihre kinetische Energie groß sein, d. h. sie bewegen sich an dieser Stelle schnell. Fern von der Sonne, im Aphel, ist es natürlich umgekehrt. Daraus folgt ohne weiteres, daß ihre Verbindungslinien mit der Sonne, die Radii vectores, in gleichen Zeiten gleiche Flächen durchmessen (zweites Gesetz von KEPLER).

B. Gesetze der festen Körper.

§ 16. **Zusammensetzung und Zerlegung von Kräften.** Für manche Betrachtungen ist es nötig, mehrere Kräfte durch eine einzige zu ersetzen und umgekehrt. Dies geschieht nach folgenden Grundsätzen:

1) Es handelt sich zunächst um zwei Kräfte, die an einem Punkte angreifen. Entweder haben sie genau die gleiche oder genau die entgegengesetzte Richtung. Im ersten Falle können sie ersetzt werden durch eine Kraft gleich ihrer Summe, im zweiten

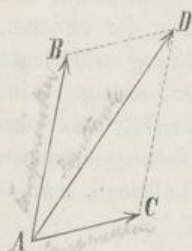


Fig. 3.

durch eine Kraft gleich ihrer Differenz. Zwischen diesen Extremen liegen noch viele andere Möglichkeiten, wenn nämlich die Kräfte miteinander einen Winkel bilden. In Punkt *A* (Fig. 3) greifen z. B. die Kräfte *AB* und *AC* an. Dann ist die Wirkung die gleiche, wie wenn allein die Kraft *AD* angegriffen hätte. *AD* heißt die Resultante, *AB* und *AC* die Komponenten. Die Resultante läßt sich nun leicht finden: sie ist die Diagonale des Parallelogramms, zu dem sich die ursprünglichen Kräfte vervollständigen lassen (Gesetz vom Parallelogramm der Kräfte). In gleicher Weise kann man beliebig viele Kräfte zu einer vereinigen, indem man nacheinander immer zu je zwei derselben die Resultante konstruiert. Umgekehrt läßt sich jede Kraft in zwei oder beliebig viele Komponenten zerlegen.

2) Die Resultante zweier nicht paralleler Kräfte, die an verschiedenen Punkten angreifen, findet man, wenn man die Kräfte in ihrer eigenen Richtung verschiebt, bis sie sich schneiden, und dann wieder das Parallelogramm der Kräfte konstruiert.

3) Die Resultante paralleler Kräfte kann nur auf einem Umwege gefunden werden.

Um z. B. die Resultante der an *AB* (Fig. 4) angreifenden parallelen Kräfte *P* und *Q* zu finden, denke man sich auf *A* und *B* die gleich großen, aber entgegengesetzt gerichteten Kräfte *E* und *E'* wirkend, wodurch ja der Bewegungszustand des Systems nicht geändert wird. Aus *AE* und *AP* ergibt

sich die Resultante AC , aus BQ und BE' die Resultante BD . Verschiebt man nun AC und BD in ihrer eigenen Richtung, bis sie sich in F schneiden, und zerlegt sie dort wieder in zwei Kräfte, so daß GF und FH gleich und parallel AE und BE' sind, so ist die in F angreifende Resultante erstens parallel P und Q , und, da FJ und FL in einer Richtung wirken, auch gleich der Summe von P und Q . Diese Resultante läßt sich nun in ihrer eigenen Richtung so weit verschieben, daß ihr oberes Ende auf AB fällt. MN ist dann die gesuchte Größe.

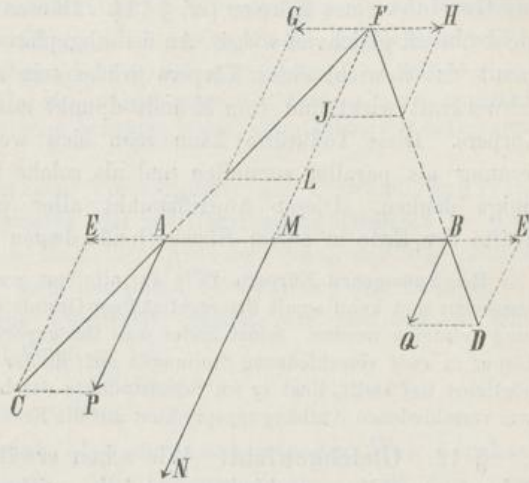


Fig. 4.

Zwei (und natürlich auch beliebig viele) parallele, gleichgerichtete Kräfte lassen sich also ersetzen durch eine Resultante, die gleich ihrer Summe ist und dieselbe Richtung hat wie sie. M heißt Mittelpunkt der parallelen Kräfte und ist von der Richtung der parallelen Kräfte ganz unabhängig.

4) Wenn parallele Kräfte nach entgegengesetzten Richtungen angreifen, so läßt sich eine Resultante nur finden, wenn sie verschieden groß sind. Zwei gleichgroße, parallele, entgegengesetzt gerichtete Kräfte lassen sich nämlich nicht zu einer einzigen vereinigen. Sie bewirken eine Drehung des Körpers, an dem sie angreifen, und heißen ein Kräftepaar.

§ 17. **Schwere und Schwerpunkt.** Alle Körper sind der Schwere unterworfen. Damit bezeichnet man die Kraft, mit der sie von der Erde angezogen werden. Diese Kraft denkt man sich im Mittelpunkt der Erde lokalisiert. Ein nicht unterstützter Körper fällt also in der Richtung nach dem Erdzentrum. Diese Richtung heißt vertikal, die dazu senkrechte Ebene horizontal. Die Größe der Schwerkraft (gravitas) wird gemessen durch die Beschleunigung g , die sie einem fallenden Körper erteilt; dieselbe ist identisch mit der Geschwindigkeit desselben am Ende der ersten Sekunde (9,81 m). Da nach dem Gravitationsgesetze die Anziehung zwischen zwei Körpern

um so größer wird, je kleiner die Entfernung ist, so muß g um so größer sein, je näher ein Körper dem Erdzentrum ist. Das Produkt aus Masse und Beschleunigung durch die Schwerkraft, mg , heißt nun das Gewicht eines Körpers [cf. § 11]. Daraus folgt, daß ein Körper nicht überall gleichviel wiegt. An den abgeplatteten Polen wird g und damit das Gewicht eines Körpers größer sein als am Äquator. Die Schwerkraft wirkt nun vom Erdmittelpunkt aus auf alle Teilchen des Körpers. Diese Teilkräfte kann man sich wegen der großen Entfernung als parallel vorstellen und als solche in einem Punkte vereinigt denken. Dieser Angriffspunkt aller parallelen anziehenden Kräfte der Erde in einem Körper heißt dessen Schwerpunkt.

Bei homogenen Körpern fällt er mit dem geometrischen Mittelpunkt zusammen und kann somit bei regelmäßiger Gestalt des Körpers durch Rechnung gefunden werden. Sonst findet man ihn experimentell: Man hängt den Körper in zwei verschiedenen Stellungen auf; da der Schwerpunkt sich immer möglichst tief stellt, liegt er im Schnittpunkte der beiden Lote, die von den zwei verschiedenen Aufhängungspunkten auf die Erdoberfläche gefällt werden.

§ 18. **Gleichgewicht.** Wie schon erwähnt, ist ein Körper in Ruhe, wenn die verschiedenen auf ihn wirkenden Kräfte sich aufheben. Man nennt den Zustand der Ruhe auch Gleichgewicht, besonders wenn eine der wirkenden Kräfte die Schwerkraft ist. Man unterscheidet nun drei Arten des Gleichgewichts:

1) Indifferentes oder neutrales Gleichgewicht, wenn Schwerpunkt und Unterstützungspunkt zusammenfallen (z. B. bei Rädern) oder wenn der Schwerpunkt stets senkrecht über dem Unterstützungspunkte liegt (z. B. bei Kugeln). Die Folge hiervon ist, daß der Körper bei jeder Verschiebung in der neuen Lage verharrt. Da also der Schwerpunkt in derselben Entfernung vom Erdmittelpunkt bleibt, bleibt auch die potentielle Energie des Körpers gleich groß. Mit anderen Worten, die Arbeit (gegen die Schwerkraft) ist hier bei der Verschiebung = 0 [cf. § 12]. In Wirklichkeit ändert die Reibung etc. dieses Resultat. Trotzdem bleibt ein Rad und eine Kugel sehr leicht beweglich.

2) Stabiles Gleichgewicht: Hierbei ist ein Körper so aufgehängt, daß der Schwerpunkt unter den Unterstützungspunkt fällt. Macht man eine Verschiebung, so kehrt der Körper in die ursprüngliche Lage zurück. Das beste Beispiel hierfür ist das Pendel. Beim stabilen Gleichgewicht liegt also das Schwergewicht so tief wie möglich, die potentielle Energie ist somit ein Minimum.

3) Labiles Gleichgewicht: ist dadurch charakterisiert, daß der Schwerpunkt senkrecht über dem Unterstützungspunkt liegt,

und daß der geringste Anstoß genügt, um den Körper in einen neuen Gleichgewichtszustand, nämlich den stabilen, überzuführen (z. B. ein auf die Spitze gestelltes Pendel). Anders ausgedrückt, die potentielle Energie ist hier ein Maximum. Übrigens ist auch der Mensch im labilen Gleichgewicht. Daher fallen kleine Kinder und Bewußtlose hin.

Für gewisse Betrachtungen, z. B. in der Physiologie, ist noch das sogenannte dynamische Gleichgewicht aufgestellt worden. Darunter versteht man denjenigen Zustand einer bewegten Masse, wenn ebensoviel hinzukommt wie fortgeht.

§ 19. **Maschinen** sind Vorrichtungen zur Umwandlung (Transformation) von Energietomen oder zur Übertragung derselben an einen andern Ort. Für alle Maschinen gilt der Satz, daß die Arbeitsleistung der Kraft P stets der durch Überwindung der Last Q verrichteten Arbeitsleistung gleich ist. Macht man also mittelst einer Maschine eine Verschiebung, so ist

$$Ps = Qs'$$

$$P:Q = s':s.$$

Die Kraft verhält sich also zur Last wie der Weg der Last zum Wege der Kraft. Mit anderen Worten heißt dies, daß niemals eine Maschine, ohne daß von außen Energie zugeführt wird, selbsttätig Kräfte erzeugen kann, daß also ein Perpetuum mobile unmöglich ist [vgl. § 15]. Wenn daher auch durch Maschinen eine kleine Kraft eine große Last überwinden kann, so muß sie dafür einen um so größeren Weg zurücklegen. Die Arbeit bleibt also stets dieselbe.

Auch die Organismen, die auf den ersten Blick als selbständige Kräftequellen erscheinen könnten, sind ja von den zugeführten Spannkraften, der Nahrung etc., durchaus abhängig.

Im Folgenden sollen nur die einfachen Maschinen besprochen werden.

§ 20. Die **Rolle** ist eine kreisförmige Scheibe, die um eine durch den Mittelpunkt gehende Achse drehbar ist, und an ihrem Umfange Seile etc. aufnehmen kann. Es gibt feste und bewegliche Rollen.

a) Bei der festen Rolle (Fig. 5) ist die Achse befestigt. Verschiebt man die Kraft P um die Strecke h , so wird die Arbeit Ph geleistet. Die Last Q geht

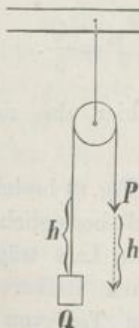


Fig. 5.

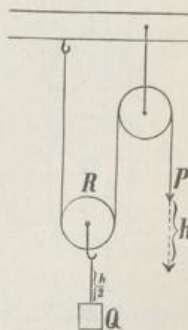


Fig. 6.

um ebensoviel in die Höhe, erfordert also die Arbeit Qh . Gleichgewicht ist vorhanden, wenn $Ph = Qh$ oder $P = Q$ ist.

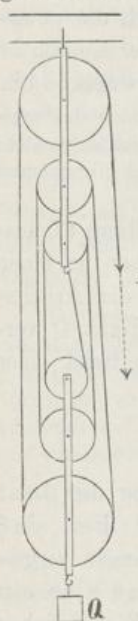


Fig. 7.

Das heißt, die angewandte Kraft ist ebenso groß wie die Last. Die feste Rolle dient also nicht zur Kraftersparnis, sondern nur, um die Richtung der Kraft zu ändern, bezw. die Reibung zu vermindern.

b) Bei der beweglichen Rolle (Fig. 6) ist auch die Achse beweglich. Verschiebt man die Kraft P um h , so wird die Arbeit Ph geleistet. Diese Verschiebung h verteilt sich nun auf beide Schnüre der beweglichen Rolle R . Q wird also nur um $\frac{h}{2}$ gehoben, somit die Arbeit $Q \frac{h}{2}$ geleistet. Gleichgewicht besteht, wenn

$$Ph = Q \frac{h}{2} \text{ oder } P = \frac{Q}{2} \text{ ist.}$$

Um die Last zu heben, ist also nur die halbe Kraft nötig. Freilich muß sie den doppelten Weg wie die Last zurücklegen.

§ 21. Der **Fflaschenzug** ist eine Kombination von festen und beweglichen Rollen.

a) Der gewöhnliche Flaschenzug (Fig. 7) besteht aus einer Anzahl fester und ebensoviel beweglicher Rollen, die durch ein Seil verbunden sind, das immer von einer festen zu der entsprechenden beweglichen Rolle geht. Verschiebt man P um h , so wird die Arbeit Ph geleistet. Dann wird Q nur um den sovielten Teil von h gehoben, als Rollen vorhanden sind. In Fig. 7 herrscht also Gleichgewicht, wenn

$$Ph = Q \frac{h}{6} \text{ ist. Daraus folgt } P = \frac{Q}{6}.$$

Um die Last zu heben, ist hier also nur der sechste Teil der Kraft nötig.

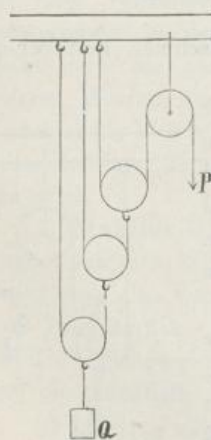


Fig. 8.

b) Der Potenzflaschenzug (Fig. 8) besteht aus einer festen und einer Anzahl beweglicher Rollen, von denen die unterste die Last trägt. Verschiebt man bei n beweglichen Rollen P um h , so wird Q um den 2^n ten Teil von h gehoben.

Gleichgewicht ist also vorhanden, wenn

$$Ph. = Q \frac{h}{2^n} \text{ ist; daraus folgt } P = \frac{Q}{2^n}.$$

Also zum Heben der Last ist nur ein Teil der Kraft nötig, welcher der sovielten Potenz von 2 entspricht, als bewegliche Rollen vorhanden sind. In Fig. 8 wäre somit nur der $2^3 =$ achte Teil der Kraft nötig.

§ 22. Das **Wellrad** (Fig. 9) besteht aus einer Walze, der sogenannten Welle, vom Radius r , die um ihre Achse drehbar ist, und aus einem mit ihr fest verbundenen Rade vom Radius R , das oft auch gezähnt ist. Die Kraft P greift am Umfange des Rades an, die Last Q am Umfange der Welle. Verschiebt man nun P um H , so bewegt sich auch das Rad um den Bogen H , die damit verbundene Welle um den Bogen h . Q wird also um h gehoben. Gleichgewicht ist vorhanden, wenn

$$PH = Qh \text{ ist.}$$

Nun verhalten sich aber die Bogen H und h wie die entsprechenden Radien. Es ist also

$$PR = Qr$$

$$P = \frac{r}{R} Q.$$

Zur Hebung der Last ist daher nur ein Bruchteil der Kraft nötig, der um so geringer ist, je größer das Rad und je kleiner die Welle ist. Dieselbe Wirkung erzielt man natürlich, wenn man zwei verschieden große Räder durch Ketten oder Riemen verbindet, bzw. sie mittelst Zähne ineinandergreifen läßt.

§ 23. **Schiefe Ebene** heißt eine gegen den Horizont geneigte Ebene, die zum Heben von Lasten dient (Fig. 10). AB heißt die Basis (b), BC die Höhe (h), AC die Länge (l) der schiefen Ebene. Die Last Q soll heraufgezogen werden:

a) durch eine der schiefen Ebene parallele Kraft P . Wird Q von A nach C gezogen, so legt P den Weg l zurück, leistet also die Arbeit Pl .

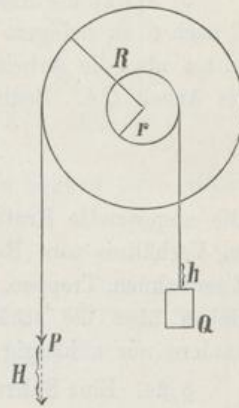


Fig. 9.

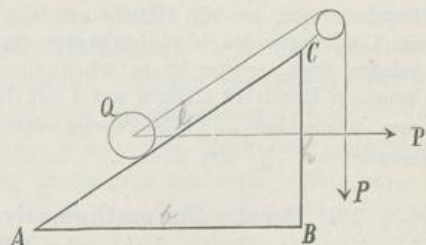


Fig. 10.

Die Last wird dabei um BC gehoben, also die Arbeit Qh geleistet. Gleichgewicht ist vorhanden, wenn

$$Pl = Qh$$

$$P:Q = h:l.$$

Die aufgewandte Kraft ist also um so geringer, je kleiner die Höhe im Verhältnis zur Länge, d. h. je weniger steil die Ebene ist.

b) Wirkt die Kraft P^1 parallel zur Basis, so legt sie, um Q von A nach C zu bringen, in ihrer eigenen Richtung den Weg AB zurück, leistet also die Arbeit P^1b . Die Hebung der Last erfordert wieder die Arbeit Qh . Bedingungen des Gleichgewichts:

$$P^1b = Qh$$

$$P^1:Q = h:b.$$

Die angewandte Kraft ist also um so geringer, je kleiner die Höhe im Verhältnis zur Basis ist. Diese Gesetze kommen bei Straßen, Eisenbahnen, Treppen, Rampen etc. zur Anwendung. Die Arbeit beim Heben über die schiefe Ebene ist natürlich unabhängig vom Weg, sondern nur abhängig von dem Gewicht der Last und der Höhe (Qh).

§ 24. Eine **Schraube** kann man sich dadurch entstanden denken, daß eine schiefe Ebene um einen Zylinder gewickelt wird. Bei der Schraubenspindel sind die Windungen erhaben; die Schraubennutter ist ein Hohlzylinder mit entsprechenden Vertiefungen. Nach den Gesetzen der schiefen Ebene verhält sich hier die Kraft zur Last wie die Höhe einer ganzen Windung (Ganghöhe) zum Umfang der Schraube. Es wird also um so mehr Kraft gespart, je flacher die Schraubengänge sind.

Unter anderm dient die Schraube zu feinen Dickenmessungen als Mikrometerschraube: Wird der oberste Teil der Schraube, der sogenannte Schraubenkopf, einmal ganz herumgedreht, so bewegt sich die Spindel in der Schraubennutter um die Höhe einer Windung, die bekannt ist. Eine teilweise Umdrehung des Schraubenkopfes, deren Größe an einer Kreiseinteilung abgelesen wird, entspricht natürlich einem Bruchteil dieser Höhe. Eine Schraube z. B. mit 10 Gängen auf 1 cm Höhe, also mit einer Ganghöhe von 1 mm würde bei $\frac{1}{100}$ Umdrehung des Schraubenkopfes eine Bewegung (Messung) von $\frac{1}{100}$ mm machen.

§ 25. **Hebel.** Ein mathematischer Hebel ist eine Linie, die sich um einen Punkt dreht. In Wirklichkeit gibt es nur einen physischen Hebel, d. i. eine unbiegsame, um eine feste Achse drehbare Stange, an der Kräfte angreifen. Der Punkt der Achse, um den die Drehung erfolgt, heißt Unterstützungspunkt, Drehungs-

punkt oder Hypomochlion; von ihm gehen die Hebelarme aus. Beim zweiarmigen Hebel (Fig. 12) greifen Kraft und Last auf verschiedenen Seiten des Unterstützungspunktes an, wirken aber nach derselben Richtung. Beim einarmigen Hebel (Fig. 11) greifen sie auf derselben Seite an, wirken aber nach entgegengesetzten Richtungen. Beim Winkelhebel bilden die Hebelarme einen Winkel.

Um die Gleichgewichtsbedingungen am Hebel zu finden, werde (Fig. 12) die Kraft P um h verschoben, dann wird Q um h' gehoben.

Nach der Verschiebung hat der Hebel die Lage $A'CB'$. Gleichgewicht ist vorhanden, wenn

$$Ph = Qh' \text{ oder}$$

$$P:Q = h':h.$$

Aus den ähnlichen Dreiecken $A'CD$ und $B'CE$ folgt nun

$$\begin{aligned} h':h &= B'C:A'C \\ &= BC:AC. \end{aligned}$$

Bezeichnet man AC mit p und BC mit q , so ist

$$P:Q = q:p$$

d. h. Kraft und Last verhalten sich umgekehrt wie ihre Hebelarme. Aus der Gleichung folgt ferner unmittelbar:

$$P \cdot p = Q \cdot q.$$

Das Produkt aus angreifender Kraft und ihrem senkrechten Abstand vom Drehungspunkte (Hebelarm) heißt nun statisches Moment oder Drehungsmoment. Mithin ist Gleichgewicht am Hebel vorhanden, wenn die entgegengesetzt wirkenden statischen Momente gleich sind. Bei mehreren angreifenden Kräften muß die Summe der statischen Momente gleich sein. Es folgt, daß eine kleine Kraft, die am langen Hebelarm angreift, einer großen am kurzen Arm angreifenden das Gleichgewicht hält.

Angewandt wird der Hebel vielfach, z. B. als Schere, ein einarmiger Hebel als Nußknacker, als Hebebaum, ein Winkelhebel beim Klingelzuge etc. Eine der wichtigsten Formen des Hebels ist die

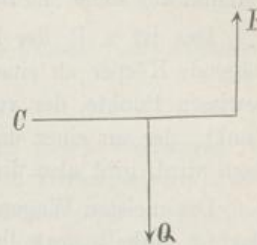


Fig. 11.

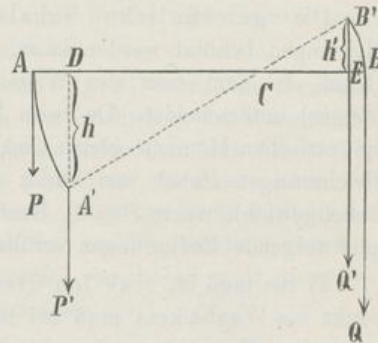


Fig. 12.

§ 26. **Wage.** Nur die wenigsten Wagen dienen dazu, wie man vermuten könnte, das Gewicht der Körper direkt zu bestimmen, d. h. das Produkt aus Masse und Beschleunigung durch die Schwerkraft, mg [§ 17].

Das ist z. B. der Fall bei der Federwage. Hier wird der zu wägende Körper an eine Feder gehängt, die er natürlich bis zu einem gewissen Punkte, der von seiner Schwere abhängt, ausdehnt. Dieser Punkt, der an einer dahinter angebrachten empirischen Skala abgelesen wird, gibt also direkt das Gewicht des Körpers an.

Die meisten Wagen dienen dagegen zur Massenvergleichung. Das ist deshalb vorteilhaft, weil ja, wie erwähnt, g und damit das Gewicht der Körper an verschiedenen Orten nicht ganz gleich ist. Wenn nun auf der gewöhnlichen Hebelwage zwei Körper m und m' sich das Gleichgewicht halten, so ist $mg = m'g$. Dadurch wird also g eliminiert, und es ist $m = m'$.

Die gewöhnliche Schalenwage, die zu den subtilsten Messungen benutzt werden kann, ist ein zweiarmiger, gleicharmiger Hebel, an dem man den Wagebalken, die Schalen und die Zunge (Zeiger) unterscheidet. Da beim Hebel Gleichgewicht herrscht, wenn die statischen Momente gleich sind, also $Pp = Qq$ ist, so besteht beim gleicharmigen Hebel und somit auch bei der Wage, wo $p = q$ ist, Gleichgewicht, wenn $P = Q$, Kraft gleich Last ist. Eine gute Wage muß folgende Bedingungen erfüllen:

1) Sie muß im stabilen Gleichgewicht sein, d. h. der Schwerpunkt des Wagbalkens muß bei horizontaler Lage desselben senkrecht unter dem Unterstützungspunkte liegen.

2) Sie muß richtig sein, d. h. beide Arme des Wagbalkens müssen in einer Ebene liegen, gleiche Länge und gleiche statische Momente haben; die Wagschalen müssen ferner gleich schwer sein und genau horizontal stehen.

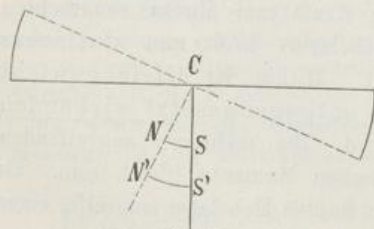


Fig. 13.

3) Sie muß empfindlich sein, d. h. sie muß bei einem kleinen Übergewicht auf der einen Seite einen gewissen Ausschlag geben. Als Maß der Empfindlichkeit nimmt man gewöhnlich den Ausschlag an, den eine Mehrbelastung von 0,001 g bewirkt.

Die Empfindlichkeit ist um so größer,

a) je näher der Schwerpunkt dem Unterstützungspunkte liegt. Es sei (Fig. 13) C der Unterstützungspunkt, S der Schwerpunkt. Durch ein Über-

gewicht rechts nehme die Wage die punktierte Stellung ein. Dann beschreibt S den Weg $S'N$. Ein in S' liegender Schwerpunkt müßte bei demselben Ausschlag den größeren Weg $S'N'$ beschreiben, wozu natürlich eine größere Belastung nötig ist;

b) je länger die Wagbalken sind: denn dadurch wachsen ja die statischen Momente;

c) je leichter Wagbalken und Wagschalen sind.

Zu genauen Resultaten ist das Mittel aus vielen Wägungen zu nehmen, Temperatur und Barometerstand zu berücksichtigen, sowie das gefundene Gewicht auf den leeren Raum zu reduzieren [cf. § 51]. Sind die Wagbalken nicht genau gleich lang, so umgeht man diesen Fehler durch Tarieren. Hierbei kommt die zu wägende Substanz auf die eine Schale, auf die andere legt man z. B. Schrotkugeln, bis die Zunge auf dem 0-Punkte der Skala steht. Dann ersetzt man die Substanz durch Gewichte, bis die Zunge wieder auf 0 steht. Wenn zwei Größen (Substanz und Gewichte) einer dritten (den Schrotkugeln) gleich sind, sind sie untereinander gleich.

Sehr wichtig sind die Brückenwagen, wozu die Dezimal-, Zentesimalwagen etc. gehören. Nicht das ist hierbei das Wesentliche, daß durch 10 oder 100 mal kleinere Gewichte der Last das Gleichgewicht gehalten wird; das ist ja leicht zu erreichen, wenn der Hebelarm des Gewichts 10 oder 100 mal länger gemacht wird als der der Last; sondern die Hauptsache ist, daß die Wagschale („Brücke“) für die Last stets mit sich selbst parallel verschoben wird, mag der Körper in der Mitte oder am Rande liegen.

Es ist nämlich (Fig. 14) $ab : ac = ef : ed$ konstruiert, z. B. = 1 : 4. Durch die Belastung Q geht h und dadurch auch f ein bestimmtes Stück n herunter, folglich d 4 mal soviel; ebenso auch der mit d verbundene Punkt c ; b und der damit verbundene Punkt g wieder um n . g und h werden also gleichmäßig um n verschoben, bewegen sich mithin parallel zur früheren Ebene.

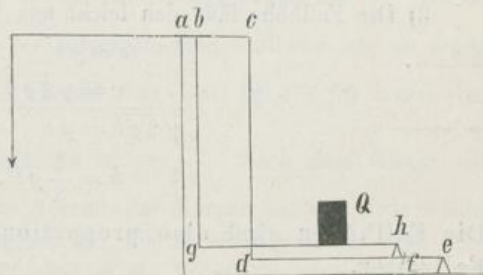


Fig. 14.

Wir kommen nun zu den speziellen Bewegungen.

§ 27. Fallgesetze.

1) Der freie Fall ist eine durch die Anziehungskraft der Erde gleichmäßig beschleunigte Bewegung. Die Geschwindigkeit ist am

2*

Anfang = 0, am Ende der ersten Sekunde $g = 9,81$ m, am Ende der zweiten Sekunde $2g$, nach t Sekunden tg .

$$v = gt.$$

Es sind also die Fallgeschwindigkeiten proportional den Fallzeiten. Diese Formel geht unmittelbar aus der Definition der Beschleunigung $g = \frac{v}{t}$ hervor [§ 10].

2) Die Fallgeschwindigkeit läßt sich auch aus der durchfallenen Strecke (Höhe) berechnen.

Um einen Stein vom Gewicht mg auf ein Dach von der Höhe h zu bringen, ist eine Arbeit mgh (Kraft mal Weg) nötig. Die potentielle Energie des Steins ist natürlich auch $=mgh$, da nach dem Gesetze von der Erhaltung der Energie keine Kraft verschwunden oder zugekommen sein kann. Fällt der Stein dieselbe Höhe herab, so verwandelt sich die potentielle Energie in die entsprechende, gleichgroße, kinetische Energie $\frac{1}{2}mv^2$. Also

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2$$

$$gh = \frac{1}{2}v^2$$

$$v = \sqrt{2gh}$$

d. h. die Fallgeschwindigkeiten sind also auch proportional den Quadratwurzeln aus den Fallhöhen.

3) Die Fallhöhe läßt sich leicht aus 1) und 2) finden.

$$v = gt$$

$$v = \sqrt{2gh}$$

$$\sqrt{2gh} = gt$$

$$h = \frac{1}{2}gt^2.$$

Die Fallhöhen sind also proportional den Quadraten der Fallzeiten.

Alle Fallgesetze sind nur für den luftleeren Raum streng gültig. In Wirklichkeit hat der Widerstand der Luft und das spezifische Gewicht großen Einfluß auf die Fallgeschwindigkeit.

§ 28. Beim **Fall über die schiefe Ebene** kann man sich die auf den Körper M einwirkende Schwerkraft g , in Fig. 15 dargestellt durch mh , in die beiden Komponenten mf und me zerlegt denken,

von denen erstere parallel AC , letztere senkrecht dazu gerichtet ist. Da me durch den Widerstand der Unterlage AC aufgehoben wird, kommt für die Fortbewegung von M nur $mf = g'$ in Betracht. Fällt M von C nach B , so ist $v = \sqrt{2gh}$ [§ 27]; fällt es von C nach A , so ist $v' = \sqrt{2g' \cdot AC}$. Da nun $g' = g \cdot \sin \alpha$ und $AC = \frac{h}{\sin \alpha}$ ist, so folgt daraus $v' = v$, d. h. die Endgeschwindigkeit bzw. Wucht ist beim Falle von C nach A dieselbe wie beim Falle von C nach B , also von der Neigung der schiefen Ebene ganz unabhängig. Dagegen dauert natürlich die Fallbewegung um so länger, je mehr die Ebene geneigt ist.

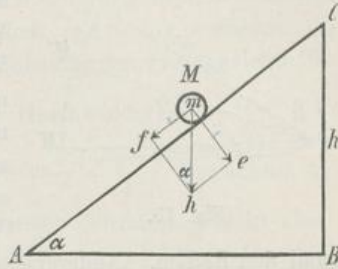


Fig. 15.

§ 29. Bei der **Wurfbewegung** erhält der Körper eine willkürliche Anfangsbeschleunigung und wird dann der Wirkung der Schwerkraft überlassen. Die Wurfbewegung ist geradlinig, wenn der Körper senkrecht auf- oder abwärts geworfen wird. Im letzten Falle wirkt die Summe von Anfangsgeschwindigkeit c und Fallgeschwindigkeit gt [§ 27], im ersten die Differenz. Hier muß also ein Zeitpunkt kommen, wo der Körper frei in der Luft schwebt, um bald darauf zu fallen. Dieser Punkt ist erreicht, wenn die aufwärts gerichtete Geschwindigkeit $v = c - gt$ gleich Null geworden ist, wenn also $c = gt$ ist. Dann ist die Dauer des Aufstieges $t = \frac{c}{g}$. Da die Wurfhöhe identisch mit der entsprechenden Fallhöhe ist, so ergibt sie sich, wenn man in die Formel $h = \frac{1}{2}gt^2$ [§ 27] für t den eben gefundenen Wert $\frac{c}{g}$ einträgt: sie ist $= \frac{c^2}{2g}$. Nach dem Gesetz von der Erhaltung der Energie kommt der Körper auf der Erde wieder mit derselben Geschwindigkeit an, die er anfangs hatte. Bei allen anderen Richtungen des Wurfes ist die Wurfbahn eine Parabel, als Resultante der die Anfangsrichtung bedingenden Kraft und der Schwerkraft.

§ 30. Bei der **drehenden Bewegung** ist zu unterscheiden: 1) die lineare Geschwindigkeit, d. i. der Weg, den der Körper in gegebener Zeit zurücklegt; 2) die sog. Winkelgeschwindigkeit, d. i. der Winkel, der in einer gegebenen Zeit vom Radius be-

schrieben wird. Zwei Körper M und m (Fig. 16) bewegen sich im

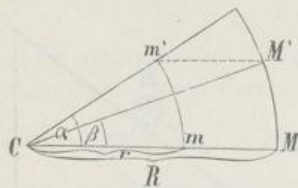


Fig. 16.

Abstände R und r (dieser Abstand heißt Radius oder Radius vector) um den festen Punkt C . Bei gleicher Winkelgeschwindigkeit, d. h. um den Winkel α in gleicher Zeit zu durch-

messen, muß der entferntere Körper M natürlich eine größere lineare Geschwindigkeit haben. Die linearen Geschwindigkeiten sind also bei gleicher Winkelgeschwindigkeit direkt proportional den Radien. Andererseits sind die Winkelgeschwindigkeiten bei gleicher linearer Geschwindigkeit umgekehrt proportional den Radien. Bedeutet w Winkelgeschwindigkeit, v lineare Geschwindigkeit, r den Radius, so ist

$$w = \frac{v}{r}$$

$$v = w r.$$

Daraus folgt $\frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m r^2 w^2$. Da $m r^2$, das Produkt aus Masse und dem Quadrat des Radius, Trägheitsmoment heißt, so ist also die kinetische Energie (Wucht) direkt proportional dem Trägheitsmoment. Das Trägheitsmoment kommt besonders im Schwungrad der Maschinen zur Anwendung, bei dem die größte Masse an der Peripherie, also möglichst weit von der Drehungsachse angebracht ist. Es dient dazu, um den gleichmäßigen Gang der Maschine zu erhalten und ihr über die sog. toten Punkte fortzuhelfen.

Eine wichtige Form der drehenden Bewegung ist

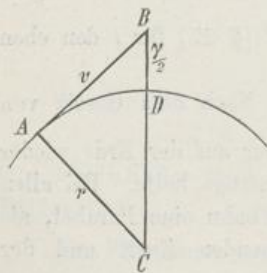


Fig. 17.

§ 31. die **Zentralbewegung**, bei der ein Körper in Kreisen, Ellipsen etc. sich um einen Punkt bewegt. Sie heißt gebunden, wenn der Körper mit demselben verbunden ist, wenn also z. B. ein Gewicht an einem Seil herumgeschwungen wird, anderenfalls frei, wie z. B. die Bewegung der Planeten um die Sonne. Eine kreisförmige Bewegung setzt nun das fortwährende Bestehen einer Kraft voraus, da

ohne diese nach dem Trägheitsgesetz [§ 7] der Körper geradlinig in der Richtung der Tangente fortfliegen würde. So würde sich z. B. (Fig. 17) eine Masse m , welche die Geschwindigkeit v besitzt, in der Zeiteinheit von A nach B bewegen. Da sie in Wirk-

lichkeit aber nach D gelangt, so muß eine nach dem Zentrum hin gerichtete Kraft, die sogenannte Zentripetalkraft¹ auf sie eingewirkt und ihr eine gleichförmige Beschleunigung nach dem Zentrum hin erteilt haben, die in der Zeiteinheit von 0 bis γ wächst. Der von m unter dem Einflusse dieser Beschleunigung zurückgelegte Weg BD entspricht daher einer mittleren Geschwindigkeit $\frac{\gamma}{2}$ [cf. § 14].

Es ist nun $r^2 + v^2 = \left(r + \frac{\gamma}{2}\right)^2 = r^2 + r\gamma + \frac{\gamma^2}{4}$. Betrachtet man die Bewegung während eines sehr kleinen Zeitraums, rückt also D dicht an A heran, so wird $BD = \frac{\gamma}{2}$ so klein, daß $\frac{\gamma^2}{4}$ unberücksichtigt bleiben kann. Es ist also $\gamma = \frac{v^2}{r}$, und

$$\text{die Zentripetalkraft } m\gamma = \frac{mv^2}{r}.$$

Um die Zentripetalkraft auch durch die Winkelgeschwindigkeit auszudrücken, benutzt man die Formel $w = \frac{v}{r}$. Dann ist $w^2 = \frac{v^2}{r^2}$, $\frac{v^2}{r} = rw^2$. Mithin

$$F = mrw^2.$$

Der Zentripetalkraft gleich, aber entgegengesetzt gerichtet, ist die Zentrifugalkraft²), die also strebt den Körper vom Zentrum zu entfernen. Auf ihr beruht es z. B., daß man an scharfen Kurven leicht aus dem Wagen geschleudert wird, daß man in einer Flüssigkeit suspendierte feste Bestandteile leicht von dieser trennen kann (z. B. Urinzentrifuge), daß aus einem mittelst einer Schnur schnell im Kreise bewegten Glase Wasser nichts ausfließt etc. Auf ihr beruht auch die Abplattung der Erde an den Polen und die Anhäufung der größten Masse am Äquator. Die Zentrifugalkraft ist natürlich der Schwerkraft entgegengerichtet, da diese ja zentripetal wirkt, sie muß sie also schwächen. Auch aus diesem Grunde folgt, daß g am Äquator kleiner ist als an den Polen [§ 17].

§ 32. Keplers Gesetze über die Bewegung der Planeten:

- 1) Die Planetenbahnen sind Ellipsen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht.
- 2) Die Radii vectores beschreiben in gleichen Zeiten gleiche Flächen [cf. § 15].

¹ *peto* sich nach einer Richtung hin bewegen.

² *fugio* fliehen.

3) Die Quadrate der Umlaufzeiten verhalten sich wie die Kuben der großen Bahnachsen.

§ 33. **Pendel.** Ein Pendel¹⁾ ist ein Körper, der um eine horizontale Achse schwingen kann (physisches Pendel). Die Pendelgesetze sind zunächst für das mathematische Pendel abgeleitet, das man sich als punktförmige Masse an einem gewichtslosen Faden befestigt denkt.

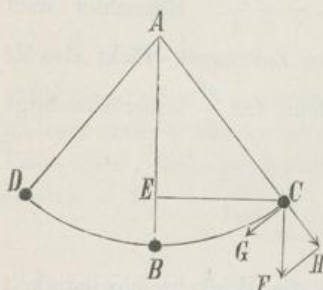


Fig. 18.

Wird das Pendel AB (Fig. 18) aus der Gleichgewichtslage gebracht, so schwingt es etwa bis C , bleibt stehen, schwingt dann umgekehrt über den Ruhepunkt B hinaus bis D und wieder zurück usf. Ein mathematisches Pendel, das aber nicht wirklich existiert, wäre somit ein Perpetuum mobile, insofern es, einmal in Gang gebracht, sich selbst in Bewegung erhielte. Man nennt nun AB die Länge des Pendels (l), die

Entfernung aus der Gleichgewichtslage EC bzw. $\angle BAC$ die Schwingungsweite (auch Elongation oder Amplitude), und die Zeit, in der es den Weg $BCBDB$, d. i. eine ganze Schwingung, beschreibt, Schwingungsdauer (T).

Die Kraft, welche das Pendel von C zurückführt, ist die Schwerkraft, dargestellt durch CF . Diese läßt sich in zwei Komponenten zerlegen: CH , welche durch die Festigkeit des Fadens kompensiert wird, und die für die Pendelbewegung allein in Betracht kommende $CG = FH$. Aus den ähnlichen Dreiecken FCH und AEC folgt $HF:CF = EC:AC$; mithin $HF = \frac{CF \cdot EC}{AC}$. Hierbei stellt CF die Schwerkraft dar, gemessen durch g , AC die Pendellänge, EC die Amplitude. Da die beiden ersten Größen konstant sind, folgt also als erstes Pendelgesetz:

Die Intensität der Pendelschwingung ist direkt proportional der Schwingungsweite, d. h. die Geschwindigkeitsänderung, also die Beschleunigung bzw. Verzögerung, der Pendelbewegung (nicht die Geschwindigkeit!) ist am größten an den Umkehrungspunkten, am kleinsten, wenn der Pendel die Ruhelage passiert.

¹⁾ pendulus herabhängend.

Das zweite Pendelgesetz, dessen mathematische Ableitung zu weit führen würde, lautet:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Daraus folgt:

a) Die Schwingungszeit ist proportional der Quadratwurzel aus der Pendellänge (GALILEI), umgekehrt proportional der Quadratwurzel aus der Beschleunigung durch die Erdanziehung.

b) Die Schwingungszeit ist unabhängig von der Schwingungsweite (falls sie 5° nicht übersteigt) und von dem Gewichte des Pendels (GALILEI, NEWTON).

Diese Formel ist sehr wichtig. Wenn von den 3 Größen T , l , g zwei bekannt sind, läßt sich ja ohne weiteres die dritte finden. So kann man z. B. die Länge eines Sekundenpendels, d. h. eines Pendels, dessen Schwingungszeit 1 Sekunde beträgt, berechnen, wenn g (= Fallbeschleunigung, Intensität der Schwerkraft) bekannt ist. Andererseits kann man aus der Schwingungsdauer eines Pendels von bekannter Länge (und zwar kommt hier die sogenannte korrespondierende Pendellänge in Betracht) g an den verschiedenen Orten der Erde finden.

Ein physisches Pendel kann man sich aus vielen, verschieden langen mathematischen Pendeln zusammengesetzt denken, deren Schwingungsdauer — vorausgesetzt, daß sie für sich schwingen — teils größer, teils kleiner wäre als die Schwingungsdauer der analogen Punkte der Pendelstange; denn diese schwingen wegen ihrer starren Verbindung natürlich alle gleichmäßig mit einer mittleren Geschwindigkeit. Es wird nun einen Punkt der Pendelstange geben, der so schwingt wie ein gleich langes mathematisches Pendel. Dieser Punkt heißt Schwingungs(mittel)punkt. Seine Entfernung vom Unterstützungspunkt heißt reduzierte oder korrespondierende Länge des physischen Pendels. Vertauscht man Schwingungspunkt und Unterstützungspunkt, so wird die Schwingungszeit nicht geändert (HUYGENS). Ein Pendel, das dafür eingerichtet ist, indem die Pendelstange zwei Schneiden zum Aufhängen des Pendels besitzt, die ihre Schärfe einander zukehren, heißt Reversionspendel. Durch Verschiebung von Gewichten, die an der Pendelstange angebracht sind, kann man nun erzielen, daß das Pendel gleich schwingt, mag es nun um die eine oder die andere Schneide schwingen. Ein solches Reversionspendel dient daher zur experimentellen Bestimmung der korrespondierenden Pendellänge, die eben dem Abstand der beiden Schneiden entspricht.

Da die Schwingungszeit eines Pendels von seiner Länge abhängt, alle Körper aber durch Wärme ausgedehnt werden, so gibt es sogenannte Kompensationspendel, bei denen die Pendelstange aus 2 Metallen von verschiedener Ausdehnungsfähigkeit so zusammengesetzt ist, daß keine Längenveränderung stattfindet.

Von den vielen Anwendungen des Pendels sei hier nur das Echappement der Pendeluhr besprochen. An der Welle W (Fig. 19) ist ein

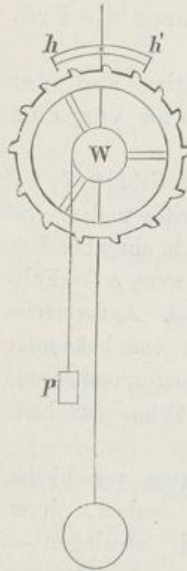


Fig. 19.

Gewicht P angewunden, das durch seinen Fall die Welle dreht. Um die Beschleunigung durch das Gewicht in eine gleichmäßige Geschwindigkeit zu verwandeln, greift der an der Pendelstange befestigte Doppelhaken hh' in das mit der Welle w verbundene Zahnrad ein, so dass das Rad, und damit auch die Welle, bei jeder Doppelschwingung nur um einen Zahn vorrücken kann. Zugleich wird aber auch die Reibung, welche die Pendelbewegung allmählich vernichten würde, kompensiert, indem das Pendel jedesmal einen kleinen Stoß bekommt, wenn der Haken aus dem Zahnrad herausgeht.

Erwähnt sei noch der Foucault'sche Pendelversuch. FOUCAULT zeigte nämlich, daß ein sehr langes, mit möglichst geringer Reibung aufgehängtes, schweres Pendel allmählich scheinbar seine Schwingungsebene ändert. In Wirklichkeit beruht dies auf der Achsendrehung der Erde, die somit hierdurch zum ersten Male direkt nachgewiesen wurde. An den Polen würde die scheinbare Drehung der Pendelebene innerhalb von 24 Stunden 360° betragen; am Äquator ist sie $= 0$, an anderen Orten dem Sinus der geographischen Breite proportional.

§ 34. **Elastizität**¹ heißt die Eigenschaft eines Körpers, nach einer Deformation die ursprüngliche Gestalt wieder anzunehmen. Doch versteht man darunter auch den Widerstand gegen eine Formveränderung (s. u.) Alle elastischen Körper — und dazu gehören in gewissem Sinne auch Gase und Flüssigkeiten — sind im Pendelgleichgewicht. Es gilt also der Satz: Die Elastizität ist proportional der Intensität der deformierenden Kraft. Nach den einwirkenden Kräften unterscheidet man Zug-, Druck-, Biegungs-, Drehungs-(Torsions-)Elastizität. Ein Körper heißt vollkommen elastisch, wenn er nach Aufhören der Kraft seine frühere Gestalt wieder vollkommen annimmt, z. B. Kautschuk. Im Gegensatz dazu steht z. B. Wachs. Elastische Wirkung findet aber stets nur bis zu einer gewissen Grenze, der Elastizitätsgrenze, statt. Wird die einwirkende Kraft zu groß, so nimmt der Körper dauernd eine andere Form an, er wird zertrümmert, reißt etc. Unter Größe der Elasti-

¹ *ελαστικός* der Treiber, von *ελαίνο* treiben, stoßen.

zität versteht man dagegen die Kraft, die nötig ist, um eine bestimmte Formveränderung herbeizuführen, also z. B. um einen Körper von 1 qmm Durchmesser um seine eigene Länge zu dehnen, vorausgesetzt, daß er nicht reißt. Das Maß dafür heißt Elastizitätsmodul.¹ Kautschuk hat also, entgegen der gewöhnlichen Ausdrucksweise, eine vollkommene, aber kleine Elastizität. Der reciproke Wert des Elastizitätsmoduls ist der Elastizitätskoeffizient. Er gibt an, um welchen Bruchteil der Länge ein Körper von 1 qmm Querschnitt durch 1 kg gedehnt wird. Er mißt also, genauer ausgedrückt, die Dehnbarkeit. Der Elastizitätskoeffizient des Kautschuks ist z. B. groß.

§ 35. **Bewegungshindernisse.** Die Bewegungsfähigkeit der Körper findet wesentliche Einschränkungen durch die verschiedenen Bewegungshindernisse. Vor allem gehört hierzu die Reibung, die durch die Unebenheiten zweier sich gegeneinander verschiebender Körper bedingt ist. Sie ist, abgesehen vom Drucke, um so größer, je rauher die Oberflächen sind; darum schmiert man die der Reibung ausgesetzten Teile mit Öl, Fett etc. ein. Man unterscheidet gleitende Reibung, bei der immer dieselben Teile eines Körpers betroffen sind, und rollende Reibung, bei der die Berührungsfläche wechselt. Im allgemeinen ist letztere geringer; daher setzt man z. B. Wagen auf Räder und wendet beim Transport schwerer Gegenstände Rollen an. Die Reibung ist z. B. Ursache davon, daß soviel vom Nutzeffekt der Maschinen verloren geht. Andererseits ist es ihr zu danken, daß eine Lokomotive einen Zug fortbewegt; überwiegt nämlich die Schwere des Zuges die Reibung der Lokomotivräder, so drehen diese sich nur auf derselben Stelle um ihre Achse. Reibung findet auch zwischen den kleinsten, unsichtbaren Teilchen der Körper statt, sogenannte innere Reibung, die besonders bei Flüssigkeiten und Gasen eine wichtige Rolle spielt. — Ein Bewegungshindernis ist ferner der Widerstand des Mediums. Derselbe wächst mit der Dichte desselben, sowie mit der Geschwindigkeit und der Oberfläche des bewegten Körpers.

C. Gesetze der flüssigen Körper.

§ 36. **Grundeigenschaften der Flüssigkeiten.**² Flüssige Körper haben zwar ein bestimmtes Volumen, aber keine bestimmte Gestalt, da ihre Teilchen leicht gegeneinander verschieblich sind. Man kann

¹ *modulus* kleines Maß.

² Im folgenden sind die Flüssigkeiten im engeren Sinne (tropfbaren Flüssigkeiten) gemeint; die gasförmigen Flüssigkeiten sind im nächsten Abschnitt behandelt.

dies auch so ausdrücken: Flüssigkeiten besitzen nur Elastizität des Volumens, aber nicht (wie die festen Körper) auch Elastizität der Gestalt. Zur Erklärung nimmt man an, daß ihre Moleküle in labilem Gleichgewicht schwingen und zugleich eine fortschreitende Bewegung haben. Aus dieser leichten Verschieblichkeit folgt, daß die einzelnen Teilchen unter dem Einflusse der Schwerkraft sich möglichst tief stellen; mit anderen Worten, die Oberfläche einer Flüssigkeit ist genau horizontal. Nur in engen Röhren findet eine Ausnahme statt [cf. § 42]. Da den Flüssigkeiten Poren fehlen, so sind sie auch fast inkompressibel. Sehr wichtig ist ferner, daß ein an beliebiger Stelle ausgeübter Druck sich in einer Flüssigkeit gleichmäßig nach allen Richtungen fortpflanzt. Darauf beruht z. B. das Messen des Blutdruckes, da derselbe ja im Arterienrohr auch seitlich wahrnehmbar ist. Eine Anwendung dieses Gesetzes ist ferner die hydraulische¹ oder Brahma'sche Presse, deren Prinzip aus Fig. 20 erhellt.

Wird der Kolben k durch eine Kraft p um h verschoben, so wird die Arbeit ph geleistet. Dadurch wird ein Druck auf das Wasser in dem Röhrensystem erzeugt, und der Kolben k'

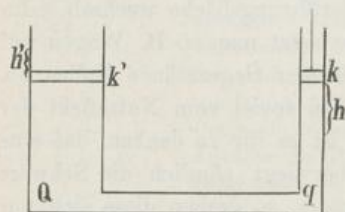


Fig. 20.

mit einer Kraft p' um h' gehoben, also die Arbeit $p'h'$ geleistet. Gleichgewicht ist vorhanden, wenn

$$ph = p'h' \text{ oder} \\ p:p' = h':h \text{ ist.}$$

Da nun in beiden Schenkeln eine gleiche Wassermasse bewegt wird, ist, wenn q und Q die betreffenden Querschnitte bedeuten:

$$h':h = q:Q \text{ mithin} \\ p:p' = q:Q.$$

Der im weiten Rohr erzeugte Druck übertrifft also um so mehr die angewandte Kraft, je größer der Querschnitt des weiten Rohrs im Verhältnis zu dem des engen ist. Natürlich ist dies wieder nur auf Kosten des Weges möglich (§ 19).

§. 37. **Hydrostatischer Druck** heißt der Druck, den eine Flüssigkeit auf die Flächeneinheit ausübt. Betrachten wir zunächst den Bodendruck. Für diesen gilt das sogenannte hydrostatische Paradoxon: er hängt nämlich für dieselbe Flüssigkeit ausschließlich ab von der Größe der Grundfläche und der Höhe der Flüssigkeitssäule, aber nicht von der Form des Gefäßes. Es ist also z. B. in Fig. 21 $A-C$ der Bodendruck überall gleich groß. Dies kann experimentell bewiesen werden, ergibt sich aber auch durch folgende

¹ ὕδωρ Wasser, αἰλός Röhre.

Überlegung: Das Flächenteilchen a trägt die Flüssigkeitssäule ab , erleidet also einen Druck, entsprechend ihrem Gewicht. Da sich nun in Flüssigkeiten der Druck allseitig gleichmäßig fortpflanzt, erleiden alle Flächenteile des Bodens denselben Druck, auch wenn direkt über ihnen die Flüssigkeit nicht so hoch steht. Ihre Gesamtheit entspricht aber der Grundfläche.

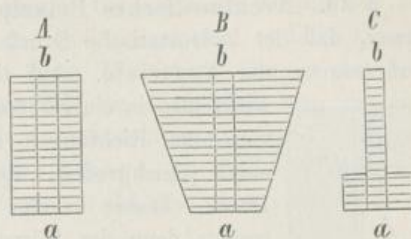


Fig. 21.

Ferner folgt auch, daß der Seitendruck an einer Seite der Wand nur abhängt von der Größe dieser Stelle und von ihrer Entfernung von der Oberfläche der Flüssigkeit. Daraus ergibt sich unmittelbar das

Gesetz der kommunizierenden Röhren: Sind zwei miteinander verbundene Röhren mit ein und derselben Flüssigkeit gefüllt, so steht diese in beiden gleichhoch, ganz unabhängig von der Form der Röhren. Denn wenn Gleichgewicht vorhanden sein soll, muß z. B. an der Stelle ab (Fig. 22) beiderseits gleicher Druck herrschen. Das kann aber, da die Fläche ab beiderseits gleichgroß ist, nur dann der Fall sein, wenn die Flüssigkeit in den Röhren gleich hoch steht. Ist die eine Röhre zu kurz, so wird die Flüssigkeit herauspritzen bis zum Niveau in der anderen Röhre. Darauf beruhen z. B. die Springbrunnen.

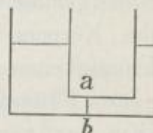


Fig. 22.

Die Ausflußgeschwindigkeit in diesem Falle und überhaupt aus seitlichen Öffnungen ist $v = \sqrt{2gh}$, also ebensogroß, als wäre die Flüssigkeit die Strecke zwischen Spiegel und Ausflußöffnung heruntergefallen (Torricelli's Theorem). Die Ausflußmenge ist theoretisch gleich dem Produkt aus der Ausflußgeschwindigkeit und der Größe der Ausflußöffnung. In Wirklichkeit ist sie kleiner, da die Flüssigkeit eine Zusammenziehung erfährt (Contractio venae).

Auf dem Seitendruck beruht auch das Segner'sche Wasserrad: An dem um seine Achse drehbaren vertikalen Hohlzylinder C , den Fig. 23 im Querschnitt darstellt, befinden sich unten die gleichfalls hohlen Arme A^1, A^2, A^3 , aus denen Wasser in der Richtung der kleinen Pfeile ausfließt, wenn C damit gefüllt wird. Da der Seitendruck an der Ausflußöffnung verringert wird, bekommt er an der gegenüberliegenden Stelle das

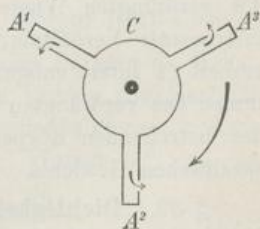


Fig. 23.

Ubergewicht und dreht den Apparat in der Richtung des großen Pfeiles (sog. Reaktionswirkung).

§ 38. **Archimedisches Prinzip.** Aus dem Vorstehenden folgt ferner, daß der hydrostatische Druck auch nach oben gerichtet sein muß (sog. Auftrieb). Auf einen festen Körper A (Fig. 24)

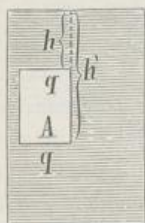


Fig. 24.

wirkt also in einer Flüssigkeit der hydrostatische Druck von allen Richtungen her. Die Seiten erleiden dabei einen gleichgroßen, aber entgegengesetzt gerichteten Druck. Dieser kommt für das Gewicht nicht in Betracht; denn der Körper kann dadurch nur komprimiert werden, was in großen Tiefen auch wirklich geschieht. Beeinflußt wird aber das Körpergewicht durch den hydrostatischen Druck von oben her (Abtrieb) und von unten her (Auftrieb). Der Auftrieb muß größer sein als der Abtrieb, weil er dem Gewicht der Flüssigkeitssäule qh' entspricht, der Abtrieb nur dem der kleineren Flüssigkeitsmenge qh . Das Körpergewicht wird also vermindert um die Differenz zwischen Auf- und Abtrieb, oder um die Gewichts-differenz der Flüssigkeitssäulen qh' und qh . Nun ist aber $qh' - qh$ das Volumen des Körpers A , somit auch das Volumen der von A verdrängten Flüssigkeitsmenge. Daraus ergibt sich: jeder Körper verliert in einer Flüssigkeit soviel von seinem Gewichte, als die von ihm verdrängte Flüssigkeitsmenge wiegt. Es folgt zunächst, daß ein Körper in einer Flüssigkeit untertauchen wird, wenn er trotz seines Gewichtsverlustes noch mehr wiegt als das Volumen der von ihm verdrängten Flüssigkeit, oder, anders ausgedrückt, wenn der Auftrieb kleiner ist als die Summe des Körpergewichts und des Abtriebs. Im umgekehrten Falle schwimmt der Körper.

Wählt man als Flüssigkeit Wasser, so gibt wieder die Differenz zwischen dem Gewicht des Körpers in Luft und Wasser das Gewicht des verdrängten Wassers an. Beim Wasser besteht nun aber das interessante Verhältnis, daß die Gewichtseinheit (1 kg) der Volumseinheit (1 Liter) entspricht [§ 5]. Somit erhält man auch das Volumen des verdrängten Wassers, oder, was dasselbe ist, das Volumen des betreffenden Körpers. Das ist wichtig für die Berechnung des spezifischen Gewichts.

§ 39. **Dichtigkeit und spezifisches Gewicht.** Dichtigkeit [cf. § 4] ist die Masse eines Körpers bezogen auf sein Volumen

$$D = \frac{M}{V}.$$
 Dies ist also eine physikalische Größe von einer bestimmten Dimension [s. Anhang]. Gewicht eines Körpers heißt das

Produkt aus Masse und Beschleunigung durch die Erdanziehung $P = mg$ [cf. § 17]. Daraus folgt, daß das Gewicht gleicher Volumina von der Dichtigkeit der Körper abhängt; denn größere Dichtigkeit bedeutet ja eben mehr Masse in der Volumeneinheit. 1 Liter Quecksilber z. B. wiegt mehr als 1 Liter Weingeist. Es ist nun ein praktisches Bedürfnis, dadurch schnell die Dichtigkeit resp. das Gewicht eines Körpers zu beurteilen, daß man es mit der Dichtigkeit resp. dem Gewicht eines bekannten Körpers, gewöhnlich Wasser von 4° C., vergleicht. In diesem Sinne spricht man vom spezifischen Gewichte (s) eines Körpers.

Spezifisches Gewicht eines Körpers heißt also das Verhältnis seiner Dichte zur Dichte des Wassers; anders ausgedrückt: das spezifische Gewicht gibt an, wieviel mehr ein Körper wiegt, als das gleiche Volumen Wasser von 4° C. Nicht immer wird Wasser als Einheit gewählt, sondern bei Gasen meistens Luft, bei den Elementen der Chemie Wasserstoff. Jedenfalls ist spezifisches Gewicht stets nur eine Verhältniszahl, der natürlich keine Dimension zukommt. Es wird jetzt klar sein, daß man die Gesetze vom Schwimmen auch so aussprechen kann: Ein Körper schwimmt in einer Flüssigkeit, wenn er spezifisch leichter ist als sie, sonst sinkt er unter.

§ 40. **Libelle.** Da luftförmige Körper spezifisch leichter sind als Flüssigkeiten, so steigen sie in ihnen auf. Darauf beruht u. a. die Libelle¹ oder Wasserwaage (Fig. 25), die zur Bestimmung der Horizontalebene dient. Es ist dies eine kleine Glasröhre oder Dose, die bis auf eine kleine Luftblase mit Wasser etc. gefüllt ist. Die Blase l steigt nun immer so hoch wie möglich, steht also bei horizontaler Lage des Behälters genau unter der etwas ausgebuchteten Mitte ab seiner oberen Wand.

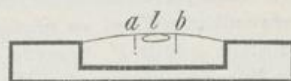


Fig. 25.

§ 41. **Bestimmung des spezifischen Gewichts.** Das Gewicht eines Körpers läßt sich auch ausdrücken durch das Produkt aus Volumen und spezifischem Gewicht $P = Vs$. Daraus folgt $s = \frac{P}{V}$.

Es handelt sich also darum, das Volumen des Körpers zu finden. Dies entspricht aber nach dem Archimedischen Prinzip dem Gewicht des von ihm verdrängten Wassers bezw. der Gewichts-differenz in Luft und Wasser. Nennt man das Gewicht im Wasser P' , so ist

$$s = \frac{P}{P - P'}$$

Darauf beruhen die meisten Methoden.

1) Hydrostatische Waage: Das absolute Gewicht wird festgestellt, indem der Körper an einen Wagbalken gehängt und die Wagschale der

¹ *libella* Diminutiv von *libra* Waage.

anderen Seite mit den entsprechenden Gewichten belastet wird. Dann wird unter den Körper ein Gefäß mit Wasser geschoben, so daß er ganz hineintaucht, und sein Gewicht wieder bestimmt. Die Differenz ergibt sein Volumen.

2) **Nicholson's Gewichtsaräometer**¹: Wird der Körper auf die Schale *S* (Fig. 26) gebracht, so sinkt der Apparat im Wasser etwa bis *m* ein. An Stelle des Körpers werden nun soviel Gewichte auf den Teller gelegt, bis derselbe Effekt erreicht ist. So wird das absolute Körpergewicht bestimmt. Bringt man dann den Körper in das Körbchen *k* und legt oben auf den Teller so viel Gewichte zu, daß der Apparat wieder bis *m* einsinkt, so erhält man den Gewichtsverlust im Wasser, mithin das Volumen des Körpers.

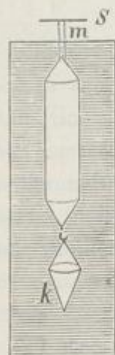


Fig. 26.

3) Das **Skalenaräometer** dient zur Bestimmung des spezifischen Gewichts von Flüssigkeiten. Es besteht aus einer geschlossenen, unten beschwerten Glasröhre, mit einer empirischen Skala, an der das spezifische Gewicht direkt abgelesen wird. Je größer nämlich das spezifische Gewicht einer Flüssigkeit ist, um so weniger tief wird das Aräometer einsinken. Auf diesem Prinzip beruhen u. a. die Urometer (für Urin), Alkoholometer etc.

4) Das **Pyknometer**² dient ebenfalls zur Bestimmung des spezifischen Gewichts von Flüssigkeiten. Es ist ein kleines Fläschchen, das man bis zu einer bestimmten Marke einmal mit Wasser und dann mit der betreffenden Flüssigkeit gefüllt wiegt. Das Verhältnis der gefundenen Gewichte ergibt unmittelbar das spez. Gewicht. Das Pyknometer ist aber auch für zerkleinerte feste Substanzen, besonders solche in Pulverform, verwendbar. Wiegt es nämlich mit Wasser gefüllt *P*, mit Wasser und der Substanz gefüllt *P'*, während letztere *G* wiegt, so ist das Gewicht des durch die Substanz verdrängten Wassers $P + G - P'$.

5) Auch durch kommunizierende Röhren läßt sich das spezifische Gewicht von Flüssigkeiten finden. Sind (Fig. 27) in beiden Röhren verschiedene Flüssigkeiten, so steht die spezifisch leichtere höher; sie hat z. B. die Höhe *h'*, die spezifisch schwerere die Höhe *h*. An einer beliebigen Stelle *a b* vom Querschnitt *c* ist Gleichgewicht vorhanden, wenn

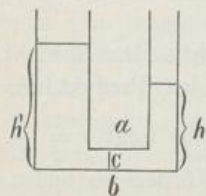


Fig. 27.

$$chs = ch's'$$

$$hs = h's'$$

$$s:s' = h':h.$$

Die spezifischen Gewichte verhalten sich also umgekehrt wie die Höhen. Kennt man daher das spezifische Gewicht der einen Flüssigkeit, so läßt sich das der anderen leicht berechnen.

§ 42. **Kohäsion und Adhäsion.** Zwischen den einzelnen Teilchen der Flüssigkeiten (und festen Körper) findet eine Anziehung

¹ ἀραιός dünn.

² πυκνός dicht.

statt (Kohäsion¹). Darauf beruht es, daß kleine Tropfen Kugelform annehmen. Gewöhnlich wirkt dieser Kohäsion die Schwerkraft entgegen [cf. § 36]. Eliminiert man aber dieselbe, so nehmen auch größere Flüssigkeitsmengen Kugelform an. Zuerst zeigte dies PLATEAU, indem er Öl vorsichtig in eine Flüssigkeit von gleichem spezifischen Gewicht brachte. Befinden sich Flüssigkeiten in engen Röhren, so wirkt der Kohäsion auch noch die Adhäsion² entgegen, d. h. die Anziehung zwischen Gefäßwand und Flüssigkeit. Überwiegt die Adhäsion, so ist die Oberfläche der Flüssigkeit konkav, z. B. bei Wasser in Glasröhren; überwiegt die Kohäsion, so ist sie konvex, z. B. bei Quecksilber in Glasröhren. Eine solche gekrümmte Oberfläche heißt auch Meniskus.

§ 43. **Oberflächenspannung und Kapillarität.** Die obersten Schichten von Flüssigkeiten zeigen die interessante Eigenschaft, daß sie dichter sind als die übrigen. Sie bilden gewissermaßen ein Häutchen. Darauf beruht es, daß manche Insekten auf dem Wasser laufen können, daß eine Nadel auf Wasser schwimmt etc. Diese Eigenschaft heißt Oberflächenspannung.

Man kann dies so erklären: Während bei einem kugelförmigen Teilchen im Innern einer Flüssigkeit die anziehenden Kräfte sich von allen Seiten das Gleichgewicht halten, werden an der Oberfläche die anziehenden Kräfte in *abc* (Fig. 28) nicht kompensiert, sie werden also *de* nach unten zu ziehen suchen. Aus Fig. 29 erhellt nun ohne weiteres, daß die Spannung bei konvexen

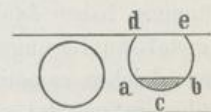


Fig. 28.

Oberflächen größer, bei konkaven aber kleiner ist als bei ebenen. Da geht aus den betreffenden Größen des Stückes *abc*

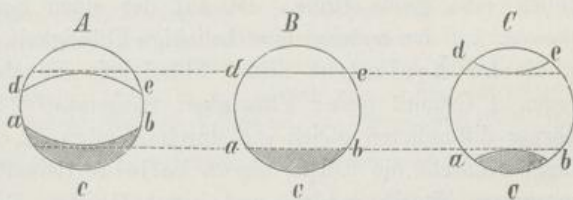


Fig. 29.

hervor, das ja durch seine Anziehung die Oberflächenspannung hervorruft. Hierdurch finden die Erscheinungen in Kapillaren³ ihre Erklärung. Ohne auf die komplizierten Verhältnisse hier näher einzugehen, sei nur bemerkt, daß, wenn man ein solches enges

¹ *cohaereo* zusammenhangen.

² *adhaereo* anhaften.

³ *capillus* Haar; also Haarröhrchen, d. h. sehr feine Röhren.

Röhrchen in eine Flüssigkeit einsetzt, das Niveau im Röhrchen entweder höher ist als das der anderen Flüssigkeit (Kapillarattraktion) oder tiefer (Kapillardepression). Kapillarattraktion, die gewöhnliche Erscheinung, muß natürlich stattfinden, wenn die Oberflächenspannung im Röhrchen geringer ist als in der anderen Flüssigkeit, wenn also der Meniskus in ihm konkav ist [cf. § 42]. Auf der Kapillarität beruhen viele wichtige Erscheinungen, z. B. das Sickersen von Wasser durch poröse Wände, das Aufsteigen von Wasser in Zucker, wenn nur eine Stelle benetzt ist etc.

§ 44. **Diffusion und Osmose.** Diffusion¹ heißt die Eigenschaft zweier Flüssigkeiten (oder Gase), sich, wenn sie übereinander geschichtet sind, allmählich zu durchdringen. Das ist z. B. bei Wasser und Alkohol der Fall. Flüssigkeiten, deren Kohäsion größer ist als die gegenseitige Adhäsion, diffundieren aber nicht, z. B. Wasser und Öl. Sind die Flüssigkeiten (oder Gase) durch poröse Scheidewände, besonders tierische oder pflanzliche Membranen (Schweinsblasen etc.) getrennt, so erfolgt die Vermischung ev. durch diese hindurch und heißt dann Osmose² oder Endosmose. Bei hinreichender Verdünnung haben äquimolekulare³ Lösungen, die mit gleichen Volumina desselben Lösungsmittels hergestellt sind, bei gleicher Temperatur den gleichen osmotischen Druck; und zwar ist dieser (von den Molekülen ausgeübte) osmotische Druck gleich dem Druck eines Gases von gleicher Temperatur, das in gleichen Raumteilen ebensoviel Moleküle enthält wie die Lösung Moleküle gelösten Stoffes (van't Hoff'sche Gesetze). Dieser Vorgang spielt bei der Ernährung der Zellen eine große Rolle. Ist auf der einen Seite der Membran Wasser, auf der anderen eine beliebige Flüssigkeit, so heißt das osmotische Äquivalent dieser Flüssigkeit die Menge Wasser, die gegen 1 Gramm dieser Flüssigkeit ausgetauscht wird. Nicht alle Körper diffundieren gleich gut durch Membranen. GRAHAM teilte in dieser Hinsicht die Körper ein in kolloide (leimähnliche), zu denen besonderes Eiweiß gehört, und kristalloide. Die ersteren diffundieren fast gar nicht durch Membranen, mit anderen Worten, ihr osmotisches Äquivalent ist unendlich groß; letztere gehen leicht hin-

¹ *diffundo* ausbreiten.

² *ὄσμος* das Stoßen.

³ Äquimolekular oder isomolekular heißen Lösungen, die in gleichen Volumina dieselbe Anzahl Moleküle des gelösten Stoffes enthalten. Anders ausgedrückt: die in gleichen Volumina enthaltenen Massen der gelösten Stoffe verhalten sich hier wie deren Molekulargewichte. [Cf. Avogadro'sche Hypothese § 45].

durch. Man hat somit ein bequemes Mittel, kolloide von kristalloiden Körpern zu trennen. Das Verfahren heißt Dialyse, der Apparat Dialysator. Befindet sich zwischen der Lösung eines Stoffes und dem reinen Lösungsmittel eine sog. halbdurchlässige Membran (d. h. eine solche, die nur das Lösungsmittel, nicht aber den gelösten Stoff hindurchläßt), so tritt auf Seite der Lösung ein Überdruck (osmotischer Druck) ein, der die Membran nach außen vorwölbt, bis der von ihr geleistete Gegendruck einen Gleichgewichtszustand herbeiführt. Dieser osmotische Druck hängt nach VAN'T HOFF nicht von der Natur der halbdurchlässigen Membran, sondern nur von der Temperatur, Konzentration und chemischen Beschaffenheit der Lösung ab.

Der osmotische Druck läßt sich also bei bekannter Temperatur aus dem Molekulargewicht berechnen. Bezeichnet man nämlich als Gramm-Molekel oder Mol eine solche Anzahl Gramm, die dem Molekulargewicht der betreffenden Substanz entspricht (also z. B. 2 Gramm Wasserstoff, 32 Gramm Sauerstoff, 28 Gramm Stickstoff etc.), und berücksichtigt, daß nach AVOGADRO alle Gase in gleichgroßen Volumina gleichviel Moleküle enthalten, so folgt zunächst der Satz: Die Gramm-Moleküle der Gase besitzen bei gleichen Druck- und Temperaturverhältnissen alle dasselbe Volumen. Was für Gase gilt, gilt aber auch nach VAN'T HOFF für verdünnte Lösungen [s. o.]. Da nun 1 Mol Wasserstoff bei 0° und 760 mm Druck das Volumen von 22,4 Liter besitzt, muß auch jedes andere Mol eines Gases bzw. einer Substanz in sehr verdünntem Lösungsmittel das gleiche Volumen einnehmen. 1 Mol Rohrzucker z. B. ($C_{12}H_{22}O_{11}$) wiegt 342 Gramm. 1 Gramm Rohrzucker würde daher in Gasform bei 0° und 760 mm Druck $\frac{22,4}{342}$ Liter = 65,5 Kubikzentimeter ausfüllen. Löst man dagegen 1 Gramm Rohrzucker in 100 Gramm Wasser auf, so beträgt das Volumen dieser Lösung bei 0° und 760 mm Druck 100,6 Kubikzentimeter. Zur Berechnung des osmotischen Druckes dient nun das Boyle-Mariotte'sche Gesetz [§ 48], das auch für verdünnte Lösungen gilt. Es verhält sich also der (osmotische) Druck in der Lösung zum Druck des Dampfes umgekehrt wie die entsprechenden Volumina, $x:760 = 65,5:100,6$. Der osmotische Druck in der 1% Zuckerlösung beträgt somit bei 0° $x = \frac{760 \cdot 65,5}{100,6}$ = zirka 495 mm Quecksilber. Bei t° beträgt er nach dem Gay-Lussac'schen Gesetze [§ 82] $\frac{495 \cdot T}{273}$. Danach kann man auch den osmotischen Druck bei der Gefrierpunkttemperatur berechnen [cf. § 89].

D. Gesetze der luftförmigen Körper.

§ 45. **Grundeigenschaften.** Die luftförmigen Körper oder gasförmigen Flüssigkeiten teilt man ein in Gase und Dämpfe, die sich dadurch unterscheiden, daß Gase schon bei gewöhnlicher Tem-

peratur luftförmig sind, Dämpfe erst bei erhöhter Temperatur. Luftförmige Körper sind ohne bestimmtes Volumen und ohne bestimmte Gestalt; sie haben das Bestreben, sich auszudehnen und jeden gegebenen Raum als homogene Masse auszufüllen. Das erklärt man durch die Annahme, daß die Moleküle sich gegenseitig nicht anziehen, sondern im Gegenteil eine geradlinige, fortschreitende Bewegung besitzen, bis sie aneinander oder an die Wand anprallen (sog. kinetische Gastheorie). Da also die Größe der Molekel gegenüber den Intermolekularräumen verschwindend klein ist, so sind nach der Hypothese von AVOGADRO in gleichen Volumina von Gasen bei gleichem Druck und gleicher Temperatur die gleiche Anzahl Moleküle enthalten. Gase und Dämpfe haben mit Flüssigkeiten das gemein, daß ein Druck in ihnen allseitig fortgepflanzt wird, daß sie infolge ihres Gewichts einen bestimmten Druck auf den Boden ausüben, der allerdings gewöhnlich sehr klein ist, und daß ein Körper in ihnen soviel an Gewicht verliert, als das gleiche Volumen des betreffenden Gases wiegt. Sie unterscheiden sich aber dadurch von ihnen, daß sie sehr leicht kompressibel sind, und daß abgeschlossene nicht zu große Gasvolumina auf alle Wände des Gefäßes an allen Stellen gleichen Druck ausüben. Letztere Tatsache findet ihre Erklärung darin, daß die Moleküle fortwährend an die Wand des Gefäßes anprallen.

§ 46. **Luftdruck.** Daß luftförmige Körper auch der Schwere unterworfen sind, erkennt man wegen ihrer geringen Dichte (1 l Luft wiegt z. B. ca. 1 gr) nur bei großen Gasmassen, z. B. bei der Atmosphäre. Diese ist im wesentlichen ein Gemenge von 80% Stickstoff und 20% Sauerstoff und hat eine Höhe von ca. 150 km. Die große Bedeutung des Luftdrucks erkannte zuerst TORRICELLI, indem er auf ihn die Erscheinung zurückführte, daß Wasser in luftleere Räume eindringt. Vorher hatte man angenommen, dies geschehe, weil die Natur keine leeren Räume dulde (*horror vacui*). Um zu zeigen, daß doch ein Vakuum vorkommt, füllte er eine am oberen Ende geschlossene 1 m lange Röhre mit Quecksilber und stülpte sie in ein ebenfalls mit Quecksilber gefülltes Gefäß um; dann fiel zuerst das Quecksilber in der Röhre, blieb dann aber in einer Höhe von 76 cm stehen; darüber ist ein luftleerer Raum (Torricelli's Vakuum). Der Luftdruck, der von oben auf das Gefäß drückt, hält also der 76 cm hohen Quecksilbersäule in der Röhre das Gleichgewicht. Man sagt dann: der Luftdruck beträgt 76 cm Quecksilber. (Da Wasser leichter ist als Quecksilber [spez. Gew. 13,6], so gehört eine 10 m hohe Wassersäule dazu, dem Luftdruck das Gleichgewicht zu halten.)

Demnach ist die Größe des Luftdrucks auf 1 qcm = 76.13,6, also ca. 1 kg. Diese Druckeinheit nennt man eine Atmosphäre; demnach ist z. B. ein Druck von 2 Atmosphären vorhanden, wenn ein Dampf oder eine Flüssigkeit auf 1 qcm ihrer Wandung einen Druck von 2 kg ausübt. Der Luftdruck auf die gesamte Oberfläche eines Menschen beträgt ca. 15000 kg. Daß dadurch der Mensch nicht zerdrückt wird, beruht darauf, daß auch im Innern des Körpers der gleiche Luftdruck herrscht. Der Luftdruck ist es auch z. B., der den Oberschenkelknochen in der Pfanne des Beckens hält.

§ 47. Das **Barometer**¹ dient zum Messen des Luftdrucks.

1) Die Gefäßbarometer (Fig. 30) entsprechen genau dem TORRICELLI'schen Apparate [§ 46] und sind deshalb nicht sehr praktisch, weil sie schlecht transportabel sind, und weil das Flüssigkeitsniveau im unteren Gefäß, und damit auch der Nullpunkt der Skala, fortwährend wechselt. Das beste Gefäßbarometer ist das von FORTIN, bei dem das Quecksilber sich unten in einem Lederbeutel befindet, der durch eine Schraube gehoben und gesenkt werden kann. So kann das Quecksilberniveau stets auf die gleiche Höhe eingestellt werden.



Fig. 30.

2) Die Heberbarometer (Fig. 31) bestehen aus einer heberartigen Glasröhre mit offenem kurzen und geschlossenem langen Schenkel. Die Größe des Luftdrucks wird hier durch den Niveauunterschied der Quecksilbersäulen in beiden Röhren gemessen.



Fig. 31.

Gute (Gefäß- und Heber-) Barometer müssen folgende Bedingungen erfüllen:

1) Das TORRICELLI'sche Vakuum muß ganz luftleer sein. Man erreicht das durch Auskochen des Quecksilbers in der Röhre; dadurch wird nämlich die der Glaswand anhaftende Wasserhaut ausgetrieben, die sonst in das Vakuum verdampfen würde.

2) Die Glasröhre muß genau kalibriert sein, d. h. die einzelnen Striche der Skala müssen gleichen Volumsteilen der Röhre entsprechen.

3) Das Quecksilber muß rein sein, da sonst sein spezifisches Gewicht beeinflußt wird. Da auch die Temperatur einen Einfluß hat, indem das Quecksilber durch die Ausdehnung bei der Erwärmung ein kleineres spezifisches Gewicht bekommt, so reduziert man die Beobachtungen auf eine Temperatur von 0°, d. h. man berechnet, welche Höhe das Quecksilber bei 0° haben würde. Man spricht dann von reduziertem Barometerstand. Abgelesenen Barometerstand nennt man dagegen die Niveaudifferenz

¹ βάρος Schwere, μέτρον Maß.

des Quecksilbers in dem luftleeren und in dem mit Luft in Verbindung stehenden Gefäß.

4) Die Barometerröhre darf nicht zu eng sein, weil sonst die Kapillardepression zu groß wird. Beim Heberbarometer ist dieses Übel eliminiert, da es in beiden Röhren gleich ist.

3) Die Aneroidbarometer¹ beruhen darauf, daß kreisförmig gebogene, luftleere, metallische Röhren sich um so stärker krümmen, je größer der äußere Luftdruck wird. Dabei nähern sich also ihre Enden, während sie bei abnehmendem Luftdruck auseinandergehen. Diese Bewegung der Enden wird durch einen Winkelhebel auf einen Zeiger übertragen, der an einer empirisch bestimmten Skala vorbeigeht. Diese Barometer sind bequem zum Transport, aber nicht sehr genau.

Das Barometer dient also vor allem zur Bestimmung des Luftdrucks, dann aber auch zur Höhenmessung. Es ist ja klar, daß in höheren Regionen, auf denen eine kleinere und weniger dichte Luftsäule lastet, der Luftdruck geringer sein muß. Schließlich dient das Barometer auch zur Wetterbestimmung. Er steigt z. B., wenn die Lufttemperatur sinkt, wenn die Luft trockener wird, dagegen fällt es, wenn starke Luftströmungen herrschen. Die Linien, welche Orte gleichen Luftdrucks verbinden, heißen Isobaren. Sie wechseln natürlich beständig.

§ 48. **Boyle-Mariotte'sches Gesetz.** Unter Spannung eines Gases (oder Dampfes) versteht man sein mehr oder minder großes Bestreben, sich auszubreiten, mithin auch den Druck, den es auf die Wand des einschließenden Gefäßes ausübt. Dieser Druck ist natürlich ebensogroß wie der Druck der Wand auf das Gas. Wird nun ein Gas von bestimmtem Volumen v in einen engeren Raum v' zusammengedrückt, so wird es unter höheren Druck p_1 gebracht, oder anders ausgedrückt, seine Spannung wird größer:

$$p : p_1 = v_1 : v.$$

Also: bei gleichbleibender Temperatur ist die Spannung eines Gases dem Volumen umgekehrt proportional. Da nun ein und dieselbe Gasmenge in einem größeren Raume weniger dicht ist als in einem kleinen, so heißt das Gesetz auch:

Bei gleichbleibender Temperatur ist die Spannung eines Gases der Dichte proportional.

Da $p_1 v_1 = p_2 v_2 = p_x v_x$ ist, so folgt daraus, daß $p v$ für eine bestimmte Gasmenge (bei derselben Temperatur) eine konstante Größe vorstellt [cf. § 82]. Das BOYLE-MARIOTTE'sche Gesetz gilt indes nur innerhalb bestimmter Grenzen.

¹ α privativum, $\nu\eta\rho\acute{o}\varsigma$ feucht, flüssig.

§ 49. Auf diesen Gesetzen beruhen u. a. folgende Erscheinungen:

Das **Saugen** geschieht dadurch, daß im Munde ein luftverdünnter Raum hergestellt wird, in den durch den äußeren Luftdruck Flüssigkeit hineingetrieben wird. Man benutzt gewöhnlich eine Pipette dazu, d. i. eine graduierte Glasröhre mit Bauch in der Mitte. Nimmt man sie aus dem Munde und hält schnell das obere Ende mit dem Finger zu, so kann die Flüssigkeit nicht herausfließen, da sie vom äußeren Luftdruck getragen wird.

Das **Einatmen** beruht darauf, daß der Brustraum durch die Atemmuskeln erweitert wird. Dadurch wird der Luftdruck zwischen Lungen und Brustwand kleiner als der äußere; es strömt Luft in die Lungen. Beim Ausatmen ist es umgekehrt.

Der **Schenkelheber** (Fig. 32) besteht aus einer gekrümmten Röhre, deren eines Ende in die Flüssigkeit *c* taucht. Solange bei *a* gesaugt wird, fließt natürlich wieder wegen der Differenz des Luftdruckes die Flüssigkeit durch die Röhre nach unten. Dies dauert aber noch fort, auch nachdem das Saugen aufgehört hat. Denn sonst würde ja bei *b* ein luftleerer Raum entstehen. Es ist ohne weiteres klar, daß der aufsteigende Schenkel des Hebers, wenn die Flüssigkeit z. B. Quecksilber ist, nicht höher als 76 cm sein darf.

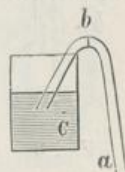


Fig. 32.

Wasserpumpen sind Apparate, um Wasser in die Höhe zu befördern.

Die Saugpumpen haben folgendes Prinzip: In dem Saugrohr *a* (Fig. 33) ist oberhalb des Wasserspiegels ein Ventil *b* (Bodenventil), das sich nur nach oben öffnet. Darüber kann der in der Mitte durchbohrte Kolben *c* durch das Hebelwerk *d* wasser- und luftdicht auf- und niederbewegt werden. Die Öffnung im Kolben ist durch ein Kolbenventil geschlossen, das sich auch nur nach oben öffnet. Wird nun der Kolben von unten nach oben gezogen, so entsteht unter ihm ein luftverdünnter Raum, in den Wasser einströmt. Da nun durch das Bodenventil nichts zurückfließen kann, sammelt sich nach einigen Zügen über demselben soviel Wasser an, daß es durch den Kolben hindurchdringt. Ist es einmal über dem Kolben, so kann es nicht mehr zurück und wird bis zur Ausflußöffnung *e* gehoben. Es ist leicht einzusehen, daß Saugpumpen Wasser nie über 10 m heben können.

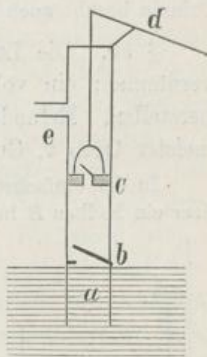


Fig. 33.

Die Druckpumpen haben ebenfalls ein Bodenventil *a* (Fig. 34). Der Kolben ist aber nicht durchbohrt; über dem Bodenventil ist seitlich eine Steigröhre mit einem Ventil, das sich in der Richtung des Pfeils öffnet. Wenn hier das Wasser über das Bodenventil gekommen ist, wird es durch den niedergehenden Kolben, der event. durch Dampfkraft getrieben wird, in die Steigröhre zu beliebiger Höhe gepreßt.

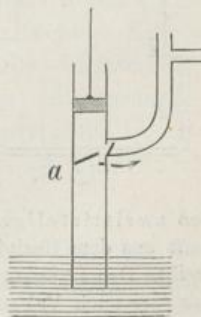


Fig. 34.

Manometer¹ sind Apparate, um die Spannung (Druck) von Gasen in einem Raum von außen anzuzeigen. Die offenen M. bestehen aus doppelt gebogenen Röhren (Fig. 35), die mit einer Flüssigkeit, z. B. Quecksilber, gefüllt sind und durch das eine Ende *b* mit der Luft, durch

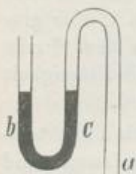


Fig. 35.

das andere *a* mit dem betreffenden Raum, z. B. einem Dampfkessel, kommunizieren. Ist der Druck in letzterem gleich dem Atmosphärendruck, so steht beiderseits die Flüssigkeit gleich hoch. Ist aber der Druck im Kessel höher, so steigt die Flüssigkeit im Schenkel *b*. Die Höhendifferenz plus dem Barometerstande entspricht dann dem Druck im Kessel. Für hohe Spannungen verwendet man geschlossene M., bei denen der Schenkel *b* oben geschlossen ist und über der Sperrflüssigkeit eine bestimmte Luftmenge enthält. Ist deren Volumen bei einem Atmosphärendruck bekannt, so entspricht nach dem MARIOTTE'schen Gesetze der halben Länge der Luftsäule ein Druck von 2 Atmosphären etc.

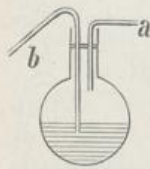


Fig. 36.

Der **Heronball** ist ein Gefäß, aus dem durch komprimierte Luft Flüssigkeit herausgespritzt wird. Hierher gehört z. B. die Spritzflasche der Chemiker (Fig. 36). Wird durch *a* Luft eingblasen, so wird die Luft in der Flasche komprimiert und drückt das Wasser durch die Röhre *b* heraus. Auf diesem Prinzip beruht auch der Windkessel der Feuerspritze.

Der **Heronball** ist ein Gefäß, aus dem durch komprimierte Luft Flüssigkeit herausgespritzt wird. Hierher gehört z. B. die Spritzflasche der Chemiker (Fig. 36). Wird durch *a* Luft eingblasen, so wird die Luft in der Flasche komprimiert und drückt das Wasser durch die Röhre *b* heraus. Auf diesem Prinzip beruht auch der Windkessel der Feuerspritze.

§ 50. Die **Luftpumpe** dient dazu, die Luft in einem Raum zu verdünnen; ein vollständig luftleerer Raum läßt sich natürlich nicht herstellen. Erfunden wurde sie 1650 von dem Magdeburger Bürgermeister OTTO v. GUERICKE.

In der einfachsten Form besteht sie aus einem Stiefel *AA* (Fig. 37), in dem ein Kolben *B* luftdicht auf und nieder bewegt wird. Vom Stiefel geht eine Röhre zur Glasglocke *D*, dem sogenannten Rezipienten, in dem die Luft verdünnt werden soll. Der Hahn *C* hat eine doppelte Bohrung: wenn der Kolben *B* in die Höhe gezogen wird, kann die Luft aus *D* durch *C* hindurchgehen. Damit beim Niedergehen des Kolbens die Luft aber nicht zurück nach *D* geht, wird der Hahn *C* so gedreht, daß er diesen Weg versperrt, durch eine zweite Öffnung aber mit der Außenluft kommuniziert. Die Luftverdünnung kann wegen des sogenannten schädlichen Raums, d. i. der Raum zwischen dem am unteren Ende seines Weges angelangten Kolben *B* und dem Hahn *C*, einen bestimmten Grad nicht übersteigen. Bei den zweistiefeligen Luftpumpen steigt immer der eine Kolben und saugt Luft aus dem Rezipienten, während der andere heruntergeht und Luft ausstreibt. Den Luftdruck im Rezipienten mißt man durch ein Manometer [§ 49], das hier auch Vakuummeter heißt.

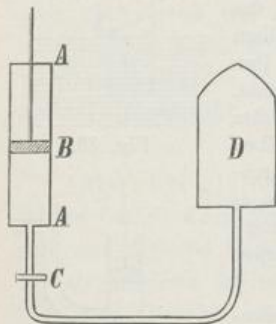


Fig. 37.

den zweistiefeligen Luftpumpen steigt immer der eine Kolben und saugt Luft aus dem Rezipienten, während der andere heruntergeht und Luft ausstreibt. Den Luftdruck im Rezipienten mißt man durch ein Manometer [§ 49], das hier auch Vakuummeter heißt.

¹ *μενός* dünn.

Die Wirkung der Luftpumpe demonstrierte GUERICKE durch den berühmten Versuch mit den Magdeburger Halbkugeln (1654). Er setzte zwei hohle Halbkugeln zusammen und pumpte aus ihnen die Luft so weit aus, daß jederseits acht Pferde sie nicht auseinanderbringen konnten; dies beruht natürlich auf dem Überwiegen des äußeren Luftdruckes.

Vollkommener sind die Quecksilberluftpumpen nach GEISSLER, die auf dem TORRICELLI'schen Vakuum basiert sind und Verdünnungen von $\frac{1}{100000}$ Atmosphäre zu erreichen gestatten.

Das Glasrohr *D* (Fig. 38) ist durch den Gummischlauch *E* mit dem oben offenen Gefäß *F* verbunden und kann durch den Hahn *B* mit dem auszupumpenden Gefäß *A*, durch den Hahn *C* mit der atmosph. Luft verbunden resp. davon abgesperrt werden. *D* und *E* sind mit Quecksilber gefüllt. Wird *C* geschlossen und *F* gesenkt, so fällt das Quecksilber in *D*, und es entsteht oben ein luftleerer Raum, in den nach Öffnung von *B* aus *A* Luft abströmt. Wird nun *B* geschlossen, *C* geöffnet, so wird durch Heben von *F* diese Luft durch *C* hinausgedrängt. Dies wird öfters wiederholt.

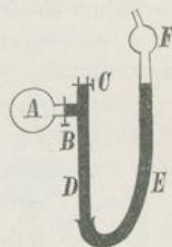


Fig. 38.

§ 51. Das Archimedische Prinzip gilt auch für Luftarten; und zwar beträgt der Auftrieb in gewöhnlicher Luft 1,2 mg pro ccm, also 1,2 kg pro cbm. Da also in der Luft sowohl die zu wiegenden Körper wie die Gewichtsstücke einen Gewichtsverlust erleiden gleich dem Gewicht der von ihnen verdrängten Luft, so ist von zwei scheinbar gleich schweren Körpern in Wirklichkeit derjenige schwerer, der das größere Volumen besitzt. Um ganz genaue Resultate zu erhalten, ist es daher nötig, die Wägungen auf den luftleeren Raum zu reduzieren. Ist p das Gewicht des Körpers, p' das der Gewichtsstücke, a und a' der Auftrieb in Luft, so ist beim Gleichgewicht $p - a = p' - a'$, also $p = p' + a - a'$. a und a' findet man als Produkt aus Volumen (= Gewicht dividiert durch spezif. Gewicht) und 1,2 mg. — Ferner müssen spezifisch leichtere Körper als die Luft in ihr aufsteigen. Darauf beruht der Luftballon. Die ersten von MONTGOLFIER konstruierten waren mit erwärmter Luft gefüllt. Später wendete man Wasserstoff und jetzt meist Leuchtgas an. Das Problem eines lenkbaren Luftballons ist bisher noch nicht vollkommen gelöst.

§ 52. Bewegung der Luftarten. Auch für die Gase gilt das Gesetz, daß die Ausflußgeschwindigkeit aus einem Gefäß $v = \sqrt{2gh}$ ist [cf. § 37]. Gase haben nun aber keine bestimmte Höhe, sondern diese hängt von der Dichtigkeit ab. Je dichter eine Gasmenge

ist, desto geringer ist natürlich ihre Höhe, oder mit anderen Worten: die Höhen sind umgekehrt proportional den Dichten. Daher heißt obiges Gesetz für die Gase: Die Ausflußgeschwindigkeiten sind umgekehrt proportional den Quadratwurzeln aus den Dichten resp. spezifischen Gewichten. Dasselbe Gesetz gilt übrigens auch für die Geschwindigkeit der Diffusion und Osmose von Gasen [§ 44].

Wenn ein Gas aus einem engen Rohr in ein weites überströmt, so dehnt es sich aus, seine Dichtigkeit nimmt also an dieser Stelle ab. Es entsteht daher ein negativer Druck,

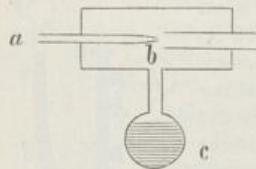


Fig. 39.

der Luft und Flüssigkeiten ansaugen kann. Sehr schön zeigt dies ein Versuch von FARADAY: Bläst man durch die Spalten der ausgestreckten, aneinandergelegten Finger gegen ein nicht zu großes Stück Papier auf der anderen Seite, so wird dieses angesaugt. Wird z. B. bei *a* (Fig. 39) stark geblasen, so steigt die Flüssigkeit in *c*. Darauf beruhen die Inhalatorien, Flüssigkeitszerstäuber etc., u. a. auch der

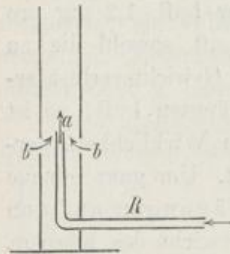


Fig. 40.

Bunsenbrenner. Durch *R* (Fig. 40) zugeleitetes Leuchtgas strömt bei *a* aus und saugt durch die Öffnungen *b* des Mantels Luft an, mit der es sich innig mengt. Zündet man das Gasgemenge an der oberen Öffnung des Brenners an, so resultiert infolge der reichlichen Sauerstoffzufuhr eine vollkommene Verbrennung des Kohlenstoffes, und man erhält eine sehr heiße, nicht rußende, aber wenig leuchtende Flamme. Durch Verschuß von *b* entsteht natürlich eine gewöhnliche Gasflamme.

§ 53. **Adsorption und Absorption.** Zwischen Gasen und der Oberfläche fester Körper findet eine starke Anziehung statt. Die Gase bilden dort eine dicke Schicht, sie werden verdichtet (Adsorption). So haben verschiedene Körper (z. B. Chlorkalzium) die Fähigkeit, den Wasserstoff der Luft zu Wasser zu verdichten; sie heißen daher hygroskopisch¹. Bei der Verdichtung muß Wärme entstehen, die mitunter sehr groß ist. Wenn z. B. Wasserstoff auf mit Sauerstoff gesättigten Platinschwamm (d. i. fein verteiltes Platin) strömt, wird diese Wärmeentwicklung so stark, daß das Platin, glühend wird und der Wasserstoff sich entzündet (DOEBEREINER'S Feuerzeug). Hierauf beruhen auch einige moderne Gasselbstzündler.

¹ ὑγρός feucht.

Absorption heißt die Erscheinung, daß Gase von festen und flüssigen Körpern „verschluckt“ werden. Von festen Körpern kommen besonders die porösen, z. B. Kohle, in Betracht. Die Fähigkeit gewisser Metalle, Gase aufzunehmen und so gewissermaßen Legierungen mit ihnen einzugehen, hat den besonderen Namen Occlusion. So kann z. B. Palladium das 900fache seines Volumens an Wasserstoff aufnehmen.

Bei der Absorption durch Flüssigkeiten ist zu unterscheiden die chemische und physikalische. Bei ersterer verbindet sich das Gas mit der Flüssigkeit zu einer festen Verbindung, aus der es nur auf chemischem Wege freigemacht werden kann, z. B. Absorption von Kohlensäure in Kalilauge.

Die physikalische Absorption hängt ab 1) vom Druck, 2) von der Temperatur, 3) von der Natur der Flüssigkeit. Es wird *ceteris paribus* umso mehr Gas absorbiert, je größer der Druck (HENRY) und je niedriger die Temperatur ist. Um also Gase aus Flüssigkeiten freizumachen, hat man zwei Wege: den Druck herabzusetzen oder die Temperatur zu erhöhen. Bezüglich des Drucks ist noch zu bemerken, daß bei Gasgemengen nur der Partiärdruck in Frage kommt, d. h. der Druck jedes einzelnen Gases, unabhängig von dem der anderen (DALTON). So hängt z. B. die Absorption von Sauerstoff im Wasser nicht vom ganzen Luftdruck, sondern nur vom Druck des Sauerstoffs der Luft ab. Wird also über eine Flüssigkeit, die ein Gas absorbiert enthält, ein anderes Gas geleitet, so wird, da der Partiärdruck des ersten Gases = 0 ist, das Gas aus der Flüssigkeit entweichen.

§ 54. **Reibung.** Wenn Gase und auch Flüssigkeiten in Gefäßen strömen, so erleiden sie an der Wand und auch in ihrem Inneren eine Reibung (äußere und innere R.). Man stellt sich nun vor, daß die äußerste Schicht infolge der Adhäsion zur Wand sich gar nicht bewegt, die mittelste Schicht am schnellsten, und daß zwischen beiden Extremen ein allmählicher Übergang der Geschwindigkeiten stattfindet.

Allgemeine Wellenlehre.

§ 55. **Definition.** Unsere Wahrnehmungen von der Außenwelt beruhen darauf, daß die spezifischen Sinnesapparate in einer jedem eigentümlichen Weise durch Impulse der Außenwelt in Schwingungen versetzt werden und diese Schwingungen zum Gehirn fortpflanzen, wo sie dann ins Bewußtsein übertragen werden. Die Bewegungsvorgänge der Außenwelt können nun direkt oder indirekt auf uns einwirken. Ersteres ist der Fall, wenn der ursprünglich bewegte Körper selbst die Endigungen unserer Sinnesorgane erregt, wenn also z. B. jemand von einer Kugel getroffen wird, wenn die (gasförmigen) Riechstoffe unmittelbar auf die Enden des Riechnerven einwirken etc. Bei der zweiten Kategorie dagegen, zu der besonders Schall, Wärme und Licht gehören, gelangen nicht die ursprünglich in Bewegung befindlichen Körper oder Teile von ihnen zu uns, sondern ihre Bewegung wird erst durch ein Medium auf uns übertragen. Diese Übertragung geschieht nun in einer eigentümlichen Form, nämlich durch Wellenbewegung. Wellenbewegung ist die Fortpflanzung einer Gleichgewichtsstörung (eines Impulses) durch pendelartige (oszillierende) Schwingungen kleinster Teilchen, wobei immer die Bewegung der folgenden durch die der vorhergehenden hervorgerufen (induziert) wird. Die Ortsbewegung der Teilchen selbst ist hierbei nur gering, dagegen wird der Impuls oft außerordentlich schnell fortgepflanzt.

§ 56. **Intensität.** Da die Wellenbewegung sich (in homogenen Medien) gleichmäßig nach allen Seiten ausbreitet, sind die Wellenflächen Kugelschalen, verhalten sich also wie die Quadrate der Radien. Letztere, also die Verbindungslinien eines Punktes der Wellenfläche mit dem Störungszentrum heißen auch Wellenstrahlen. Da die anfängliche Gleichgewichtsstörung sich auf immer größere Flächen verteilt, muß die Bewegung entsprechend schwächer werden. Die Intensität der Wellenbewegung ist also umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung vom Störungszentrum.

§ 57. **Wasserwellen.** Die Bezeichnung Wellenbewegung rührt von den Wasserwellen her, von denen auch wir zum besseren Verständnis ausgehen wollen. Fällt nämlich ein Stein ins Wasser, so entstehen bekanntlich um diesen Punkt konzentrische Kreise, die immer größer und zugleich schwächer werden. Hierbei wechseln stets Erhebungen über das allgemeine Niveau (Wellenberge) mit Senkungen (Wellentälern) ab. Durch den niederfallenden Stein wird nämlich ein Druck aufs Wasser ausgeübt; es entsteht daher an

dieser Stelle ein Wellental. Das hierdurch verdrängte Wasser muß ausweichen, und da dies am leichtesten nach oben möglich ist, so entsteht rings um den Störungsmittelpunkt ein Wellenberg. Durch den Einfluß der Schwere sinken aber die gehobenen Wasserteilchen wieder zurück, sogar unter das Niveau, ebenso wie ein Pendel nach einem Ausschlag über den Ruhepunkt nach der anderen Seite hinausgeht. Dort, wo eben ein Wellenberg war, entsteht somit jetzt ein Wellental. Die dadurch verdrängten Teilchen bilden wieder, wie zuerst, um das Wellental einen kreisförmigen Wellenberg, und so setzt sich das Spiel fort, bis endlich die Welle erlischt, resp. durch ein Hindernis vernichtet wird. Schon aus dieser Beschreibung geht hervor, daß bei der Wellenbewegung nicht die Wassermasse selbst horizontal verschoben wird, wie es zuerst scheinen könnte. Ein einfacher Versuch bestätigt das: Ein Stückchen Holz nämlich, das auf dem Wasser schwimmt, bleibt ruhig auf derselben Stelle, während die Wellen unter ihm fortschreiten. Genauere Aufschlüsse gaben die Untersuchungen der Gebrüder WEBER. Sie zeigten, daß die einzelnen Wasserteilchen kleine Kurven beschreiben, gewöhnlich Kreise oder Ellipsen. Fig. 41 zeigt, wie dadurch eine Wellenbewegung zustande kommt. Es stellen I—XIII benachbarte Wasserteilchen im Stadium der Ruhe vor. Wenn nun I eine Schwingung (Oszillation) ausführt, werden auch die anderen Teilchen, z. B. bis XII, dazu veranlaßt,

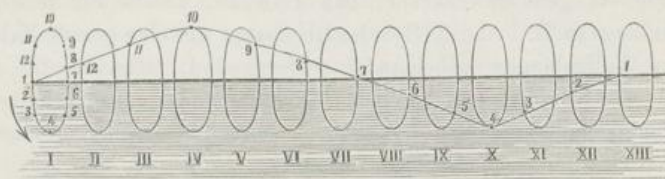


Fig. 41.

nur daß jedes folgende immer etwas später damit beginnt. In Fig. 41 ist nun der Fall dargestellt, daß I eben eine ganze Schwingung in der Richtung des Pfeils vollendet hat, also sich in Punkt 1 seiner Bahn befindet. Dann ist II noch nicht so weit, sondern erst in 12, III in 11 u. s. w. Verbindet man die Stellung der einzelnen Teilchen, so resultiert eine Wellenlinie, und zwar stellt der Teil derselben zwischen I und VII den Wellenberg, zwischen VII und XIII das Wellental vor. Selbstverständlich gilt diese graphische Darstellung der Welle nur für einen Augenblick; im nächsten Moment werden ja die Teilchen eine andere Stellung einnehmen, die Welle wird fortschreiten. Auch ist natürlich die hier gewählte Zahl der zu einer Welle ge-

hörenden Wasserteilchen ganz willkürlich. Die Strecke I—XIII heißt nun Wellenlänge; mit anderen Worten, es ist diejenige Strecke, um die sich die Wellenbewegung fortpflanzt, während Teilchen I eine ganze Oszillation ausführt. Denn wenn I nach Punkt 2 seiner Bahn kommt, fängt II an zu schwingen, kommt z. B. I nach Punkt 5, so fängt V an zu schwingen, und wenn schließlich I am Ende seiner Oszillation ist, so beginnt XIII seine Bewegung. Während einer ganzen Schwingung von I hat sich also die Wellenbewegung bis XIII fortbewegt, und diese Strecke heißt eben Wellenlänge. Man nennt nun (wie beim Pendel) die Entfernung eines Teilchens aus der Ruhelage während einer Oszillation seine Elongation oder Amplitude. Die Zeit, welche ein Teilchen zu einer ganzen Schwingung braucht, also nach obigem auch die Zeit, in der die Wellenbewegung um eine Wellenlänge vorschreitet, heißt Schwingungszeit. Unter Phase versteht man den Bewegungszustand eines Teilchens, der charakterisiert ist durch seine Elongation und seine Bewegungsrichtung. Letztere ist deshalb wichtig, weil ja bei gleicher Elongation das Teilchen einmal im Wellenberg, das andere Mal im Wellental liegen bzw. bei geradliniger Schwingung denselben Punkt einmal in der Richtung von unten nach oben, das andere Mal von oben nach unten passieren kann. Im ersten Falle hat das Teilchen positive, im letzten negative Phase; die Phasen sind also dann entgegengesetzt. Aus Fig. 41 geht nun hervor, daß Teilchen, welche um eine ganze Wellenlänge (z. B. I und XIII) oder überhaupt um eine gerade Zahl von halben Wellenlängen voneinander entfernt sind, stets dieselbe Phase haben müssen. Teilchen dagegen, die voneinander um eine halbe oder überhaupt um eine ungerade Zahl von halben Wellenlängen abstehen, besitzen stets entgegengesetzte Phase.

§ 58. **Wellen durch Elastizität.** Während die Wellen an der Oberfläche des Wassers auf die Schwerkraft zurückzuführen sind, beruhen andere auf den anziehenden Kräften und der Elastizität der kleinsten Teilchen. Im übrigen sind die Verhältnisse ähnlich den oben beschriebenen. Also auch hier kommt die Wellenbewegung durch Schwingungen (Oszillationen) kleinster Teilchen zustande.

§ 59. **Transversale Wellen,** zu denen z. B. die beschriebenen Oberflächenwellen des Wassers, ferner die Licht- und Seilwellen gehören, sind solche, bei denen die kleinsten Teilchen senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung der Welle oszillieren. Hierbei beschreiben sie entweder Kreise oder Ellipsen oder schwingen geradlinig auf und ab. Letztere Form der Bewegung ist offenbar nur ein Spezialfall der ersteren, indem der Querdurchmesser der Kurve 0 wird.

§ 60. **Longitudinalwellen**, zu denen z. B. die Schallwellen gehören, entstehen durch Schwingungen der Teilchen in der Fortpflanzungsrichtung der Wellenbewegung. Sie sind also keine Wellen im gewöhnlichen Sinne; denn bei ihnen gibt es keine Wellenberge und -täler, sondern es entstehen abwechselnd Verdichtungen und Verdünnungen des Mediums. Zur Veranschaulichung stelle man sich vor, daß in einer Reihe hintereinanderstehender Knaben, von denen jeder seine Hände auf die Schultern des Vordermanns gelegt hat, der Hinterste einen Stoß nach vorn bekommt. Dann macht er natürlich eine Bewegung nach vorn, die sich der Reihe nach auf die vor ihm Stehenden überträgt. Während aber alle infolge des Widerstandes der Vordermänner sich wieder aufrichten, kann dies der Vorderste in der Reihe nicht und fällt hin. So hat sich also der Impuls durch die ganze Reihe fortgepflanzt, und der Effekt ist der gleiche, wie wenn der Vorderste den Stoß direkt erhalten hätte. Insofern kann man auch hier von einer Wellenbewegung sprechen.

An Stelle der Armmuskeln in diesem Beispiel ist in der Natur die Elastizität des Mediums wirksam.

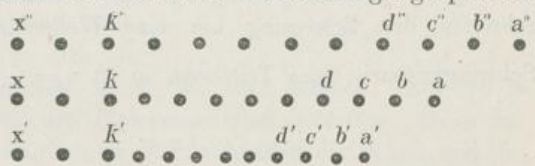


Fig. 42.

In Fig. 42 stelle z. B.

die mittelste Reihe eine Anzahl von Luftmolekülen im Ruhezustande dar. Durch einen Impuls werde a nach links verschoben, so daß es die Stellung a' (unterste Reihe) einnimmt. Durch seine Bewegung wirkt es aber auch auf b , das nach b' kommen wird, dieses wieder auf c etc. Kurz, in der Zeit, während a nach a' gelangt, wird sich die Bewegung nach links eine bestimmte Strecke fortpflanzen, z. B. bis k . Diese Strecke wird um so größer sein, je größer die Elastizität zwischen den Teilchen ist (in unserem obigen Beispiel, je straffer die Armmuskeln gespannt sind). Innerhalb der Strecke $a'k'$ muß also eine Verdichtung gegen vorher bestehen. Wird andererseits a nach rechts verschoben, etwa bis a'' (oberste Reihe), so muß auch b nach b'' gehen, da nun die elastische Kraft zwischen b und c größer als die zwischen b und a ist. Diese Bewegung nach rechts, die sich wieder entsprechend der Elastizität des Mediums eine gewisse Strecke in der Richtung $a''x''$ etwa bis k'' fortpflanzen wird, bedingt eine Verdünnung. Sowohl die Verdichtung wie die Verdünnung machen natürlich nicht Halt in k' resp. k'' , sondern schreiten weiter fort. Bei jeder longitudinalen Wellenbewegung wechseln nun solche Verdichtungen und Verdünnungen beständig miteinander ab; denn jede

Pendelbewegung — und das sind ja eben die Bewegungen der kleinsten Teilchen — geht nach 2 Richtungen. Die Strecke, um welche sich die (Verdichtungs- oder Verdünnungs-) Bewegung fortpflanzt, während ein Teilchen eine ganze Pendelschwingung ausführt, heißt wiederum Wellenlänge. Man kann auch sagen, daß eine Verdichtung und eine Verdünnung zusammen eine Wellenlänge ergeben. Trotz der verschiedenen Bewegung ist also das Wesen der Longitudinal- und Transversalwellen gleich; letztere werden daher aus Bequemlichkeit auch benutzt, um erstere graphisch darzustellen.

§ 61. **Fortpflanzungsgeschwindigkeit.** Für beide Arten der Wellenbewegung gelten folgende Sätze über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit (v): Bezeichnet λ die Wellenlänge, n die Schwingungszahl, d. h. die Zahl, welche angibt, wie oft ein Teilchen in 1 Sek. schwingt, so ist:

$$v = n\lambda.$$

Denn jeder ganzen Schwingung eines Teilchens entspricht das Fortschreiten der Bewegung um eine Wellenlänge. Bedeutet T die Schwingungszeit eines Teilchens, so ist $n = \frac{1}{T}$ und somit auch

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

Aus diesen Gleichungen folgt, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ganz unabhängig von der Amplitude ist.

Es ist nun zweckmäßig, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit auch durch die Elastizität des Mediums auszudrücken, die, wie erwähnt, eine große Rolle spielt. Bezeichnet man dieselbe (bezw. den Elastizitätsmodul) mit e , die Dichtigkeit des Mediums mit d , so ist nach NEWTON

$$v = \sqrt{\frac{e}{d}}.$$

Dichte und Elastizität dürfen nicht miteinander verwechselt werden. Je dichter ein Körper ist, desto schwerer können seine Teilchen gegeneinander verschoben werden, je größer seine Elastizität ist, um so schneller wird eine Gleichgewichtsstörung fortgepflanzt [§ 60]. Der hypothetische Äther besitzt sehr große Elastizität, außerordentlich geringe Dichte; daher pflanzt sich in ihm das Licht so schnell fort.

§ 62. **Huygens'sches Prinzip. Beugung.** Bisher wurde angenommen, daß die Wellenbewegung vom Störungszentrum aus in Form einfacher konzentrischer Kugelwellen vor sich geht. Da hierdurch manche Erscheinungen nicht erklärt werden, stellte HUYGENS

die Hypothese auf, daß jeder Punkt einer Welle ebenso als Zentrum einer neuen Wellenbewegung betrachtet werden muß, wie der ursprüngliche Störungsmittelpunkt. Anders ausgedrückt, von jedem Punkt einer Welle gehen ebenfalls (Elementar-) Kugelwellen aus. Für gewöhnlich, in homogenen Medien, heben sich allerdings diese Elementarwellen auf, so daß eine einzige große Kugelwelle resultiert (Fig. 43). Kann sich aber die Wellenbewegung nicht gleichmäßig nach allen Seiten fortpflanzen, geht sie z. B. durch einen engen Spalt, so kommt das HUYGENS'sche Prinzip zur Geltung. So wird verständlich, daß auch Punkt *a* erregt wird, zu dem die Welle nicht direkt kommen kann. Er wird nämlich, natürlich in schwächerem Maße, von den Elementarwellen getroffen. Diese Erscheinung heißt Beugung, da ja gewissermaßen der Schall und das Licht um die Ecke herum gebeugt wird.

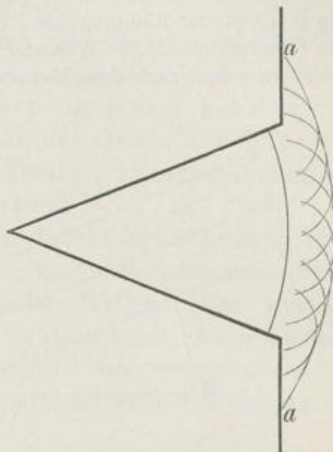


Fig. 43.

§ 63. **Reflexion und Refraktion.** Kommt eine Welle an ein Medium von anderer Dichte, so wird ein Teil von ihr ins alte Medium zurückgeworfen (reflektiert), der andere geht ins neue Medium und erfährt dabei eine Richtungsänderung (Brechung, Refraktion). Ist das neue Medium unendlich mal dichter, so ist die reflektierte Welle gegen die einfallende um eine halbe Wellenlänge verschoben, sie hat also entgegengesetzte Phase. Mit anderen Worten, wenn die Welle als Wellental ankommt, beginnt sie den Rückweg als Wellenberg (Fig. 44). Ist das neue Medium unendlich mal dünner, so findet keine Phasenveränderung statt. Zwischen diesen beiden Extremen existieren Übergänge, wo also die Phasendifferenz den Bruchteil einer halben Wellenlänge beträgt. Diese Verhältnisse sind ähnlich den Vorgängen beim Anprall einer elastischen Kugel gegen eine andere in Ruhe befindliche. Ist letztere größer (also dem dichteren Medium vergleichbar), so prallt die erste Kugel nach der entgegengesetzten Seite, ist jene aber kleiner, so behält die erste ihre Richtung bei.

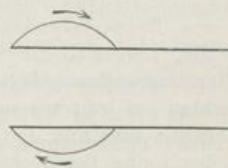


Fig. 44.

Es stelle nun (Fig. 45) df einen so kleinen Teil einer Kugelwelle dar, daß er als eben, die vom Störungszentrum dorthin gezogenen Verbindungslinien, die Wellenstrahlen, als parallel betrachtet werden können. Schreitet die Welle in der Richtung des Pfeiles vor, so stößt zuerst Strahl a in d auf die Grenzschicht MN . Während nun die Hauptwelle von f nach h vorschreitet, gehen nach dem HUYGENSSchen Prinzip von d aus Elementarwellen

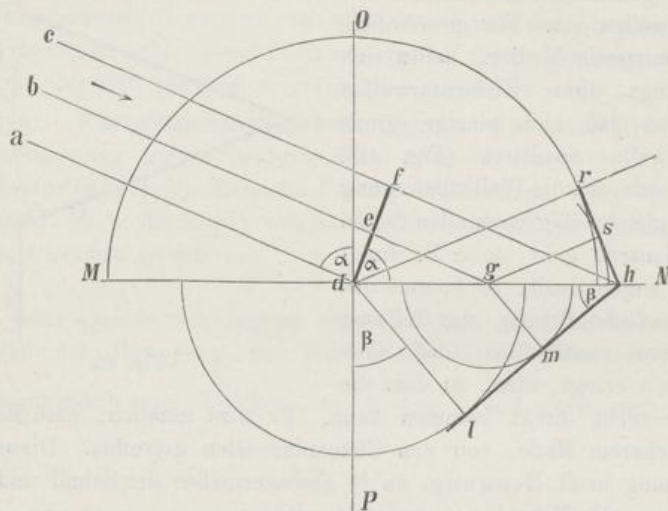


Fig. 45.

nach beiden Medien, deren Radien sich verhalten wie die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in diesen Medien. dr muß natürlich $= fh$ sein, da ja in demselben Medium die Fortpflanzungsgeschwindigkeit gleich ist. In derselben Zeit schreitet die Bewegung im mittleren Strahl b von e nach g und von hier in die beiden Medien bis nach s und m vor. Entsprechend verhält es sich mit den anderen unendlich vielen Strahlen zwischen a und e . Aus allen diesen Elementarwellen entsteht nun die reflektierte und die gebrochene Welle, dargestellt in der Figur durch die von h aus an die verschiedenen Elementarwellen gelegten gemeinsamen Tangenten hr und hl . Die Senkrechten auf letzteren sind dann die reflektierten bzw. gebrochenen Strahlen. Errichtet man nun dort, wo die „Einfallsstrahlen“ an das neue Medium stoßen, eine Senkrechte, das „Einfallslot“ OP , so ergibt sich direkt aus der Figur, daß $\angle adO$, der „Einfallswinkel“, $= \angle Odr$, dem „Reflexionswinkel“ ist. $\angle Pdl$ heißt Brechungswinkel (β). Es ist nun $\angle fdh = \alpha$, $\angle dhl = \beta$. Also $\sin \alpha = \frac{fh}{dh}$, $\sin \beta = \frac{dl}{dh}$. Folglich $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{fh}{dl}$. Da letzteres Verhältnis nur von der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellenbewegung, nicht aber von der Größe der Winkel abhängt, so ist es für zwei bestimmte Medien stets unveränderlich. Man schreibt daher auch $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$. [Vergl. § 115.]

Die so gewonnenen Gesetze heißen also:

1) Einfallsstrahl, Einfallslot, reflektierter und gebrochener Strahl liegen in einer Ebene.

2) Der Einfallswinkel ist gleich dem Reflexionswinkel.

3) Der Sinus des Einfallswinkels steht zum Sinus des Brechungswinkels für je 2 Medien in einem konstanten Verhältnis, das unabhängig ist von der Größe der Winkel, dagegen identisch ist mit dem Verhältnis der Fortpflanzungsgeschwindigkeit in den beiden Medien.

§ 64. **Interferenz. Superposition.** Interferenz¹ heißt die Erscheinung, daß 2 oder mehrere Wellenzüge miteinander zusammentreffen. Wir betrachten hier nur parallele Wellen. Diese können entweder gleiche oder entgegengesetzte Richtung haben, ferner können die Wellenlängen, Amplituden, Phasen gleich oder verschieden sein. Immer gilt das Gesetz von der Superposition² kleiner Bewegungen,

d. h. die definitive Oszillation eines Punktes ist gleich der algebraischen Summe der ursprünglich vorhandenen. Gleiche Phasen addieren sich also, entgegengesetzt gerichtete schwächen sich. Man erkennt dies leicht aus Fig. 46, wo die gestrichelten Linien die ursprünglichen Wellen, die ausgezogenen die resultierenden vorstellen. III zeigt die interessante Tatsache, daß 2 Wellenbewegungen einander nicht nur

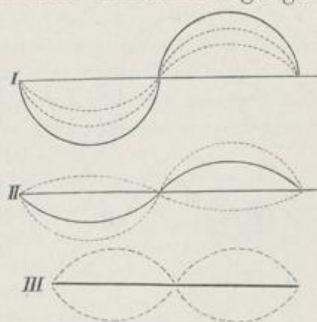


Fig. 46.

schwächen, sondern sogar ganz aufheben können. Dies ist stets der Fall, wenn 2 Wellen von gleicher Wellenlänge und Amplitude um eine halbe Wellenlänge differieren, d. h. also genau entgegengesetzte Phase haben. Ebenso wie sich einfache Schwingungen zusammensetzen, lassen sich auch komplizierte Wellen in einfache zerlegen.

§ 65. **Stehende Schwingungen.** Die Figuren 41—46 geben alle die betreffende Wellenform nur während eines Augenblicks wieder. Im nächsten schon muß sie sich verschieben, weil 2 benachbarte Teilchen stets verschiedene Phase haben. Mit einem Worte, bisher war nur die Rede von fortschreitenden Wellen. Wenn dagegen ein an einem Ende befestigter Stab schwingt, so vollführen seine Teilchen stets stehende Schwingungen, d. h. sie bewegen sich gleichmäßig und isochron nach derselben Richtung. Ferner können stehende

¹ *interfero* dazwischentragen.
superpono darüberstellen.

Schwingungen dadurch entstehen, daß 2 Wellenzüge gegeneinander laufen. Zum besseren Verständnis betrachten wir zunächst Seilwellen. Ist das Seil an einem Ende befestigt, und wird das freie Ende geschüttelt, so entstehen transversale Wellen, die bis zum befestigten Ende laufen; dort werden sie so reflektiert [cf. § 63], daß sie den Rückweg mit entgegengesetzter Phase beginnen. Wenn nun diese reflektierten Wellen mit den ankommenden interferieren, so finden an gewissen Stellen, den Knotenpunkten, gar keine Schwingungen

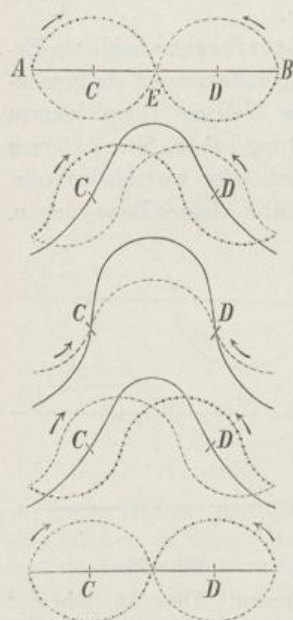


Fig. 47.

dagegen *E* eine erhebliche Exkursion gemacht hat. In II ist die ankommende Welle um $\frac{1}{8}$ Wellenlänge nach rechts vorgeschritten, die reflektierte um ebensoviel nach links. Es resultiert die ausgezogene Wellenform. Man sieht, daß die Knotenpunkte *C* und *D* in Ruhe geblieben sind, daß dagegen *E* eine erhebliche Exkursion gemacht hat. In III ist die Verschiebung nach rechts bzw. links wieder um $\frac{1}{8}$ Wellenlänge weitergegangen. Die Knotenpunkte sind wiederum unverändert; die Exkursion des Bauches hat ihr Maximum erreicht. In IV geht sie wieder zurück, und in V ist der Zustand von I erreicht, aber in entgegengesetzter Richtung. Denn nun würde, was nicht mehr gezeichnet ist, die Bewegung des Wellenbauches nach unten vor sich gehen. Immer also schwingen nur die Bäuche, die Knoten bleiben in Ruhe. Was für Seilwellen gilt, ist bei allen anderen Wellen auch der Fall. Diese Verhältnisse lassen auch eine Umkehrung zu: wenn irgend welche Stellen oszillierender Körper am Schwingen gehindert werden, so bilden sich daselbst Knotenpunkte.

statt, die dazwischen liegenden Strecken, die Schwingungsbäuche, bewegen sich dafür um so mehr. Die Schwingungsrichtung der Teilchen zwischen 2 Knoten ist immer gleich; es handelt sich hier also um stehende Schwingungen. Es stelle z. B. Fig. 47 ein Stück dieses Seiles vor, dessen Enden nicht gezeichnet sind. Die punktierten Linien bedeuten die ankommenden, die gestrichelten die reflektierten, die ausgezogenen die resultierenden Wellen. I zeigt den Fall, daß die Phasen genau entgegengesetzt sind. Die Folge ist, daß eine gerade Linie resultiert, d. h. die Wellenbewegungen heben sich auf. In II ist die ankommende Welle um $\frac{1}{8}$ Wellenlänge nach rechts vorgeschritten, die reflektierte um ebensoviel nach links. Es resultiert die ausgezogene Wellenform. Man sieht, daß die Knotenpunkte *C* und *D* in Ruhe geblieben sind, daß

Akustik.

§ 66. **Definition.** Akustik¹ ist die Lehre vom Schall. Unter Schall versteht man alle Schwingungen von Körpern, die durch Vermittelung der Luft oder eines anderen Mediums von dem Gehörorgan wahrgenommen werden. Sind die Schwingungen ungleich und unregelmäßig, so entsteht ein Geräusch (z. B. Knall, Krach etc.); sind sie gleich und regelmäßig, so entsteht ein Ton.

§ 67. **Töne** sind charakterisiert durch ihre Höhe, Intensität und Klangfarbe.

1) Die Höhe eines Tones hängt von der Anzahl der Schwingungen der Tonquelle ab. Je größer die Schwingungszahl ist, desto höher ist der Ton. Hält man z. B. ein Kartenblatt gegen ein rotierendes Zahnrad, so entsteht ein Ton, der um so höher ist, je schneller sich das Rad dreht, d. h. je mehr Stöße in der umgebenden Luft entstehen.

Die Schwingungszahl findet man z. B. mittels der Sirene von CAGNIARD DE LA TOUR. Durch Rohr *B* (Fig. 48) kommt aus einem Blasebalg Luft in die Trommel *T*, deren Deckel einen oder mehrere Kreise von schräg gebohrten Löchern enthält. Auf diese Löcher passen genau Löcher der beweglichen Scheibe *OP*, die aber in entgegengesetzter Richtung schief gebohrt sind. Diese Anordnung erhellt aus Fig. 48 *a* und ist der Grund, daß sich die Scheibe *OP* beim Anblasen der Sirene nach dem Prinzip des SEGNER'SCHEN Wasserrades drehen muß. Mit der Scheibe dreht sich aber zugleich die Achse *D*, die oben eine Schraube trägt. Durch diese wird die Bewegung auf Zahnräder übertragen und schließlich durch ein Uhrwerk registriert. Durch die Drehung wird bewirkt, daß die Luft stoßweise durchtritt, nämlich immer nur, wenn die Löcher der Scheibe über denen des Deckels sind. Es entstehen also Stöße in der umgebenden Luft, und zwar während einer Umdrehung soviel, wie Löcher vorhanden sind. Die Anzahl der Löcher multipliziert mit der Zahl der Umdrehungen in 1 Sekunde, ergibt daher die Schwingungszahl. Die Schwingungszahl einer beliebigen Tonquelle findet man, indem man die Sirene so anbläst, daß sie denselben Ton gibt.

Vibrograph nennt man eine Vorrichtung, bei der der tönende Körper, z. B. eine Stimmgabel, durch eine an ihm befestigte Feder seine Schwingungen selbsttätig auf einen beruhten Zylinder aufschreibt, der sich mit gleichmäßiger Geschwindigkeit senkrecht zur Schwingungsrichtung vorbeidreht. Aus der entstehenden Wellenlinie ergibt sich natürlich sofort die Schwingungszahl.

Vibrograph nennt man eine Vorrichtung, bei der der tönende Körper, z. B. eine Stimmgabel, durch eine an ihm befestigte Feder seine Schwingungen selbsttätig auf einen beruhten Zylinder aufschreibt, der sich mit gleichmäßiger Geschwindigkeit senkrecht zur Schwingungsrichtung vorbeidreht. Aus der entstehenden Wellenlinie ergibt sich natürlich sofort die Schwingungszahl.

¹ ἀκούω hören.

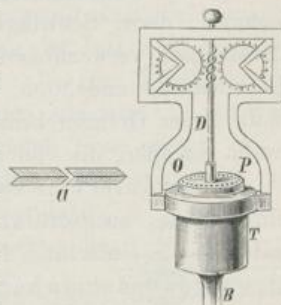


Fig. 48.

2) Die Intensität (Stärke) eines Tones hängt ab von der kinetischen Energie, mit der die Enden der Hörnerven getroffen werden. Sie ist also proportional dem Quadrate der Schwingungsgeschwindigkeit, oder anders ausgedrückt, dem Quadrate der Amplitude. Ferner ist die Intensität umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung von der Schallquelle [cf. § 56]. Dies gilt natürlich nur, wenn sich der Schall allseitig ausbreiten kann. In Röhren z. B. ist die Intensität viel größer. Darauf beruht ja das Sprach- und Hörrohr. Auch die Dichte des Mediums, in dem der Schall entsteht resp. sich fortpflanzt, beeinflußt seine Stärke. Im Vakuum wird überhaupt kein Ton gehört, und Schüsse auf hohen Bergen klingen nur schwach.

3) Die Klangfarbe verleiht dem Tone die Individualität. Durch sie wird erkannt, von welchem Instrumente ein gleichhoher Ton stammt. Nach HELMHOLTZ beruht sie darauf, daß ein Ton gewöhnlich nicht isoliert erklingt, sondern zusammen mit verschiedenen seiner Obertöne [§ 68], wodurch eben nach dem Gesetz der Superposition der eigentümliche Klang entsteht, graphisch dargestellt durch die Form der Wellenlinie.

§ 68. **Tonverhältnisse.** Das menschliche Ohr kann Töne wahrnehmen, deren Schwingungszahlen zwischen 14 und 40000 liegen. Musikalisch verwendbar sind aber nur solche mit Schwingungszahlen zwischen 40 und 5000. Indes werden nicht sämtliche Töne innerhalb dieser Grenzen benutzt, sondern es wird unter ihnen eine Auswahl getroffen, die von den Intervallen abhängt.

Unter Intervall zweier Töne versteht man den Unterschied in ihrer Höhe, ausgedrückt durch das Verhältnis ihrer Schwingungszahlen. Die einfachsten Intervalle sind die zwischen einem (beliebigen) Grundton und seinen harmonischen Obertönen, deren Schwingungszahlen nämlich 2, 3, 4 etc. mal so groß wie die des Grundtons sind. Harmonisch heißen diese Obertöne, da ihr Zusammenklingen mit dem Grundton angenehm wirkt [cf. § 75]. Verhalten sich die Schwingungszahlen wie 2:1, so heißt das Intervall Oktave. Die Oktave eines Tones von 3000 Schwingungen ist demnach ein Ton von 6000 Schwingungen. Teilt man nun eine Oktave in 8 Intervalle von möglichst einfachen Zahlenverhältnissen, so erhält man die diatonische Tonleiter:

Prime	Sekunde	Terz	Quarte	Quinte	Sexte	Septime	Oktave
1:1	9:8	5:4	4:3	3:2	5:3	15:8	2:1

Je einfacher nun das Verhältnis der Schwingungszahlen ist, desto angenehmer klingt ein Akkord. Am angenehmsten klingt also Grund-

ton mit Oktave (1:2). Der zweite Oberton steht zum Grundton im Verhältnis 3:1, anders geschrieben $\frac{3}{2} \cdot 2:1$; er ist also die Quinte der ersten Oktave; der dritte Oberton (4:1) ist die zweite Oktave; der vierte Oberton (5:1 resp. $\frac{5}{4} \cdot 4:1$) ist die Terz der zweiten Oktave usw. Dem entspricht, daß nächst der Oktave die Quinte und Terz mit dem Grundton zusammen am besten klingen. Wie leicht auszurechnen, sind die einzelnen Intervalle der diatonischen Tonleiter ungleich. Hauptsächlich kommt das Intervall $\frac{9}{8}$ und $\frac{16}{15}$ vor; ersteres heißt ein ganzer Ton, letzteres ein halber. Um nun jeden beliebigen Ton als Grundton verwerten zu können, schaltete man zwischen die ganzen Töne noch halbe ein. So entstand die chromatische Tonleiter, die vom Grundton bis zur Quinte 7, bis zur Oktave 12 halbe Töne enthält. Wie eine einfache Rechnung lehrt, kann sie aber nie ganz rein sein. Bei der chromatischen Tonleiter, z. B. auf dem Klavier, kommt man nämlich durch 12 Quinten auf die siebente Oktave. In Wahrheit beträgt nun das Intervall von 7 Oktaven $2^7 = 128$, das Intervall von 12 Quinten $\frac{3}{2}^{12} = 129,74$. Es ist also eine Differenz vorhanden. Wenn die Oktaven ganz rein sind, müssen die Quinten unrein sein, und umgekehrt. Derartige Widersprüche gibt es bei der chromatischen Tonleiter noch mehr. Zu ihrer Beseitigung müßte sie mehr als 12 Töne enthalten. Da dies für gewöhnlich nicht angeht, korrigiert man den Fehler durch Änderung der Intervalle innerhalb einer Oktave und nennt dies Temperatur¹. Die Temperatur ist gleichschwebend, wenn die Oktaven selbst alle rein sind, und der Fehler gleichmäßig auf alle zwischenliegenden Töne verteilt ist, so daß nun alle genau dasselbe Intervall haben. Dieses ist leicht aus der Gleichung $x^{12} = 2$ zu finden, da ja das Intervall x , 12mal mit sich selbst multipliziert, die

Oktave ergeben muß. Also $x = \sqrt[12]{2}$. Eine nähere Betrachtung zeigt, daß die temperierten Intervalle nur wenig von den reinen differieren. Als Grundton der Stimmung wird das eingestrichene a (Fig. 49), der sog. Kammerton, benutzt, dessen Schwingungszahl nach internationaler Abmachung 435 beträgt.

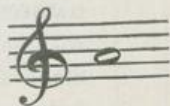


Fig. 49.

§ 69. **Entstehung der Töne.** Als Tonquellen dienen Körper, die leicht in Schwingungen versetzt werden können, also besonders feste und luftförmige. Die Schwingungen können sowohl transversale wie longitudinale sein, stets aber werden sie an den Grenzen des Körpers reflektiert. Töne entstehen also durch stehende

¹ *tempero* mischen, ordnen.

Schwingungen [§ 65]. Die Knotenpunkte sind immer an den Stellen, die am Schwingen verhindert sind, also z. B. immer an den Enden der Körper, wenn diese befestigt sind. Ein Körper kann nun in verschiedener Weise schwingen, so daß die Zahl der Knotenpunkte variabel ist; schwingt er so, daß die Zahl der stehenden Schwingungen möglichst gering, die Schwingungsdauer der einzelnen Teilchen also möglichst groß ist, so entsteht sein Grundton.

Auf Saiten werden Töne meist durch transversale Schwingungen erzeugt. Die meisten Streichinstrumente, Violine etc., beruhen darauf. Zum Studium der Tonverhältnisse hierbei dient das Monochord, eine über einem Kasten durch Gewichte ausgespannte Saite, bei der durch einen beweglichen Steg die Länge des schwingenden Teils beliebig verändert werden kann. So fand man, daß die Schwingungszahl einer Saite, mit anderen Worten die Tonhöhe, umgekehrt proportional ihrer Länge und Dicke, dagegen proportional der Quadratwurzel der Spannung ist. Eine Saite kann aber nicht nur als Ganzes schwingen, sondern auch in aliquoten Teilen. Stellt man z. B. in der Mitte einen Knotenpunkt durch Aufsetzen des Fingers her, so entstehen 2 Bäuche (Fig. 50), deren jeder nach obigem Gesetze doppelt soviel Schwingungen macht, wie die ganze Saite; es entsteht also die Oktave des Grundtons. Schwingt die Saite mit drei Bäuchen, so entsteht der dritte Oberton etc. Die Knotenpunkte weist man durch Papierreiterchen nach, die nämlich an allen anderen Stellen der Saite heruntergeschleudert werden.

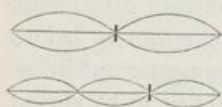


Fig. 50.

Elastische Stäbe werden durch longitudinale und transversale Schwingungen zum Tönen gebracht. Am wichtigsten ist die Stimmgabel, ein Uförmig gebogener Stahlstab mit 2 parallelen Schenkeln (Zinken). Am einfachsten schwingt sie mit 2 Knotenpunkten, die dicht aneinander liegen, und zwar so, daß beide Zinken zusammen entweder nach innen oder nach außen schwingen (Fig. 51).

Auch Platten, Glocken und gespannte Membranen können so schwingen, daß Töne entstehen. Hier sind die verschiedenen Knotenpunkte zu Knotenlinien verbunden. Bestreut man daher die Platten mit Sand, so bleibt er nur an diesen nicht schwingenden Stellen, den Knotenlinien, liegen, und es entstehen die CHLADNI'schen Klangfiguren.

Oft werden auch longitudinal schwingende Luftsäulen als Tonquellen benutzt, die in Röhren, Pfeifen, eingeschlossen sind.

a) Bei den Lippenpfeifen, zu denen die meisten Orgelpfeifen gehören, stößt die durch c (Fig. 52) eingeblasene Luft auf eine scharfe Kante, die „Lippe“, l ; ein Teil von ihr geht nach A und ruft dort Verdichtungs- und Verdünnungswellen hervor, wodurch Töne entstehen. Dasjenige Ende einer Pfeife, an dem sie angeblasen wird, ist natürlich immer offen. Je nachdem auch das andere Ende offen oder geschlossen ist, spricht man von offenen oder gedeckten (gedackten) Pfeifen. Die Tonhöhe ist der Länge der Pfeifen umgekehrt proportional. Da nun bei der einfachsten Schwingungsart eine offene Pfeife in der Mitte einen Knoten hat, so kann man sie sich aus 2 gedeckten Pfeifen von der halben Länge zusammengesetzt denken (Fig. 53). Der tiefste Ton einer offenen Pfeife ist daher die



Fig. 52.

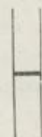


Fig. 53.

Oktave des Grundtons einer ebenso langen gedeckten Pfeife, die im einfachsten Falle nämlich so schwingt, daß am geschlossenen Ende ein Knoten, am offenen ein Bauch ist. Durch stärkeres Anblasen geben Pfeifen auch die Obertöne des Grundtons an, und zwar die offenen alle, die gedeckten nur die ungeraden Obertöne.

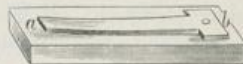


Fig. 54.

b) Bei den Zungenpfeifen stößt die eingeblasene Luft auf ein federndes Metallblättchen a (Fig. 54), das dadurch in periodische Schwingungen kommt und diese der Luftsäule in der Pfeife mitteilt. Die Zunge kann auch membranös sein.

Dies ist z. B. der Fall beim menschlichen Kehlkopf, dessen Stimmbänder membranöse Zungen vorstellen. Die aus den Lungen heraufgeblasene Luft versetzt die Stimmbänder in Schwingungen, die sich wieder der Luft in Mund und Nase mitteilen.

Wenn man eine Glasröhre über eine Flamme, am besten von Wasserstoff, hält, so tönt die eingeschlossene Luftsäule auch (sog. singende Flammen oder chemische Harmonika). Hierbei sei gleich bemerkt, daß Flammen ein feines Reagens auf Schallschwingungen sind. Besonders wenn sie unter hohem Druck stehen, hüpfen sie, wenn Töne in der Nähe erklingen (sensible Flammen).

§ 70. **Mittönen und Resonanz.** Bringt man in die Nähe einer tönenden Stimmgabel eine ruhende, die auf denselben Ton abgestimmt ist, so ertönt auch diese, selbst nachdem die erste aufgehört hat. Ebenso erklingt, wenn man gegen die Tasten eines Klaviers singt, der betreffende Ton spontan mit. Dieses Mittönen ist eine Eigen-

schaft aller tönenden Körper und beruht darauf, daß die Moleküle durch diejenige Art der Bewegung am leichtesten zur Mitbewegung veranlaßt werden, die bei ihnen gewissermaßen präformiert ist. Folgendes Beispiel erläutere dies: Selbst ein Knabe kann schwere Kirchenglocken in Gang bringen, wenn er an dem Stricke immer in der Richtung zieht, welche die Glocke schon von selbst einzuschlagen im Begriff ist. Auf diesem Prinzip des Mittönens beruhen auch die Pfeifen und singenden Flammen. An der Lippe und Zunge der Pfeifen nämlich, sowie durch das Flackern der Flamme entstehen eine große Zahl unregelmäßiger Schwingungen, also ein Gemisch von Tönen, von denen aber nur ganz bestimmte die Luftsäule in den Röhren zum Mittönen bringen. Daraus geht auch hervor, daß die Länge dieser Luftsäule bei Pfeifen und singenden Flammen einen großen Einfluß



Fig. 55.

auf die Tonhöhe hat. Auf dem Mittönen beruhen auch die Resonatoren¹, kugelförmige Hohlapparate (Fig. 55), die mit einem kurzen Rohr ins Ohr gesteckt werden. Sie sind auf einen gewissen Ton abgestimmt und dienen dazu, ihn aus einem Tongemenge herauszufinden, da sie ja nur diesen einen verstärken. Verwandt mit dem Mittönen, wenn auch nicht ganz identisch, ist die Resonanz. Man versteht darunter die Verstärkung jedes beliebigen Tones. Da z. B. Saiten, Stäbe etc. eine zu geringe Luftmenge in Bewegung setzen, geben sie nur sehr schwache Töne von sich. Um diese zu verstärken, setzt man sie auf sogenannte Resonanzböden, entweder Holzplatten oder Holzkästen etc., die durch ihr Mitschwingen mehr Luftteilchen in Schwingungen versetzen.

§. 71. **Fortpflanzung des Schalls.** Der Schall pflanzt sich durch longitudinale Wellen fort. Von der Schallquelle aus gehen also abwechselnd Verdichtungs- und Verdünnungswellen in das umgebende Medium hinein. Die Träger dieser Wellen sind beim Schall materielle Moleküle (im Gegensatz zum Lichte). Bringt man daher ein Läutwerk unter eine Luftpumpe, so hört man es immer leiser, je mehr die Luft verdünnt wird, bis es schließlich ganz verstummt. Der Schall pflanzt sich nicht nur durch luftförmige, sondern auch durch flüssige und feste Medien fort, ja sogar noch schneller als durch Luft. Diese Tatsache scheint gegen die NEWTON'sche Formel

$v = \sqrt{\frac{e}{d}}$ [§ 61] zu verstoßen. Der Widerspruch ist aber nur scheinbar; denn die größere Fortpflanzungsgeschwindigkeit in festen und

¹ *resono* widertönen.

flüssigen Körpern beruht nicht auf deren größerer Dichte, sondern auf ihrer erhöhten Elastizität. Aus der NEWTON'schen Formel ergibt sich durch Rechnung die Schallgeschwindigkeit in Luft zu ca. 280 m in der Sekunde, während experimentell stets höhere Werte gefunden wurden. Es wurde z. B. die Zeit gemessen, die zwischen dem Aufleuchten und der Wahrnehmung des Schalles eines in bekannter Entfernung abgefeuerten Geschützes verstrich. Daraus fand man eine Schallgeschwindigkeit von 330—335 m in der Sekunde. Erst LAPLACE erkannte den Fehler in der obigen Formel und zeigte, daß man sie mit einem bestimmten Faktor, nämlich $\sqrt{\frac{c_v}{c_p}}$, multiplizieren muß [cf. § 102].

§ 72. **Schallgeschwindigkeit und Wellenlänge.** Da die Schallfortpflanzung auf Wellenbewegung beruht, gilt auch hier die Formel $v = n \lambda$ [§ 61]. Da nun v für die meisten Medien experimentell festgestellt ist, n sich leicht durch die Sirene, den Vibrographen etc. finden läßt [§ 67], so kann man daraus die Wellenlänge λ berechnen. Diese kann aber auch direkt durch die KUNDT'schen Staubfiguren gefunden werden. Versetzt man nämlich eine Glasröhre durch Reiben in der Längsachse in longitudinale Schwingungen, so daß ein Ton entsteht, so schwingt auch die Luftsäule in ihrem Innern longitudinal. Dies kann man sichtbar machen, wenn man ein leichtes Pulver in die Röhre bringt, das sich dann an den Knotenpunkten ansammelt. Die Entfernung zwischen zwei Knotenpunkten, die ja leicht gemessen werden kann, entspricht einer halben Wellenlänge des Schalles in der Luft, die Länge der Röhre einer halben Schallwelle in Glas.

§ 73. **Reflexion des Schalls.** Treffen die Schallwellen auf ein Hindernis, z. B. eine feste Wand, so werden sie zurückgeworfen (Echo). Aus der Zeit, in der das Echo erfolgt, läßt sich leicht die Entfernung jenes Hindernisses annähernd berechnen, da ja der Schall in 1 Sekunde ca. 330 m zurücklegt. Für die Reflexion und Refraktion des Schalles gelten dieselben Gesetze wie beim Lichte.

§ 74. **Interferenz des Schalls.** Daß es sich bei der Schallfortpflanzung wirklich um Wellenbewegung handelt, geht daraus hervor, daß unter Umständen Schall plus Schall eine Abschwächung ergibt. Dies ist mit dem geistreichen Apparat von QUINCKE (Fig. 56) leicht nachzuweisen.

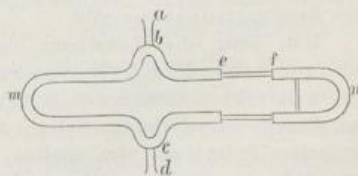


Fig. 56.

Die Röhre ab teilt sich bei b in 2 Schenkel, die über m und n nach c gehen und dort in einem gemeinsamen Rohr cd münden. Der Teil fn kann nun über ef beliebig verschoben werden, so daß, wenn an a eine Tonquelle gehalten wird, der Schall auf der rechten Seite nicht den gleichen Weg zurücklegt wie links. Entspricht diese Differenz einer geraden Zahl von halben Wellenlängen, so hört das Ohr in d die Töne laut; leise dagegen bei einer Differenz von einer ungeraden Zahl von halben Wellenlängen [cf. § 64].

§ 75. **Konsonanz und Dissonanz.** Wirkt das Zusammenklingen von 2 oder mehreren Tönen angenehm, so heißt dies Konsonanz, das Gegenteil Dissonanz. Schon früher wußte man, daß 2 Töne um so angenehmer zusammen klingen, je einfacher das Verhältnis ihrer Schwingungszahlen ist; die richtige Erklärung dafür gab aber erst HELMHOLTZ. 2 Stimmgabeln von genau derselben Schwingungszahl geben einen einzigen stets gleichlautenden Ton. Macht aber z. B. die eine in der Sekunde 300 Schwingungen, die andere 301, so ist klar, daß nach $\frac{1}{2}$ Sekunde die von der zweiten ausgehende Wellenbewegung um $\frac{1}{2}$ Wellenlänge mit der ersten differieren, d. h. entgegengesetzte Phase haben muß. Daher wird der Ton durch Interferenz schwächer werden, um allmählich wieder die frühere Stärke zu erlangen. Dieses Schwächer- und Stärkerwerden beim Zusammenklingen zweier Töne nennt man Schwebungen oder Stöße; ihre Zahl ist immer gleich der Differenz der Schwingungszahlen beider Töne. Mehr als zwölf Schwebungen in der Sekunde werden nicht mehr einzeln wahrgenommen, sie bedingen dann die Rauigkeit des Akkords. Am unangenehmsten werden 33 Schwebungen in der Sekunde empfunden; darüber hinaus werden sie allmählich nicht mehr wahrgenommen. Eine einfache Rechnung zeigt, daß in der Tat bei den harmonisch klingenden Intervallen die Schwebungen stets weit von dieser unangenehmen Grenze entfernt bleiben.

Auf diese Schwebungen wurden früher auch die Differenz- oder TARTINI'schen Töne zurückgeführt, deren Schwingungszahl ebenfalls gleich der Differenz der Schwingungszahlen der zwei ursprünglichen Töne ist. Nach HELMHOLTZ ist dies aber nicht richtig, schon deshalb nicht, weil es daneben auch Summationstöne gibt.

Man kann die Konsonanz und Dissonanz mittels der sogenannten LISSAJOU'schen Klangfiguren auch sichtbar machen. Stellt man nämlich zwei senkrecht zueinander schwingende Stimmgabeln, die beide an einer ihrer Zinken einen kleinen Spiegel tragen, so auf, daß ein Lichtstrahl von dem ersten Spiegel auf den zweiten, und von dort auf einen Schirm reflektiert wird, so entstehen bestimmte Lichtfiguren. Schwingt nämlich nur eine Stimmgabel, so entsteht eine leuchtende gerade Linie; schwingen beide, so entsteht bei Gleichheit des Tons je nach der Phasendifferenz entweder eine gerade Linie oder ein Kreis oder eine Ellipse [cf. § 143]. Sind dagegen die

Stimmgabeln etwas verstimmt, so gehen diese Figuren wegen der nun wechselnden Phasendifferenz ineinander über. In gleicher Weise haben auch die anderen Konsonanzen charakteristische einfache Lichtfiguren, die bei Verstimmung der Stimmgabeln einen Wechsel zeigen.

§ 76. **Dopplers Prinzip.** Wenn die Entfernung zwischen einer Tonquelle und einem Beobachter rasch kleiner wird, so wird der Ton der ersteren höher. Dies ist leicht zu konstatieren bei dem Pfeifen einer sich nähernden Lokomotive. Von einer ruhenden Tonquelle aus gelangen nämlich in einer Sekunde eine bestimmte Zahl von Schallwellen ins Ohr des Beobachters; nähert sich aber die Tonquelle in einer Sekunde um x Meter, so kommen mehr Schallwellen zur Perception, nämlich auch die, welche sonst vom Beobachter noch x Meter entfernt wären. Entfernt sich die Tonquelle oder der Beobachter, so muß natürlich der Ton tiefer werden.

Wärmelehre.

A. Mechanische Wärmetheorie.

§ 77. **Wesen der Wärme.** Unter Wärme versteht man dasjenige Agens, welches bestimmte Nervenendigungen so reizt, daß wir eine Temperaturempfindung haben. Früher nahm man einen Wärmestoff zwischen den Körpermolekülen an, der unter Umständen austreten, „frei werden“ könne. Dagegen sprechen aber viele Tatsachen. Graf RUMFORD zeigte zuerst, daß durch Rotation eines Kolbens in einem dicht anschließenden metallischen Hohlzylinder, also durch mechanische Arbeit, eine unbegrenzte Wärmemenge erzeugt werden kann; auch hat das Metall vor und nach der Reibung dieselbe Wärmekapazität, d. h. Fähigkeit, Wärme aufzunehmen. Nach der stofflichen Theorie könnte aber in den durch Druck verkleinerten Intermolekularräumen nicht mehr so viel Wärme aufgenommen werden wie vorher. Noch entscheidender war der Versuch von DAVY: Er brachte in einem Raume von 0° zwei Eisstücke allein dadurch zum Schmelzen, daß er sie aneinanderrieb. Hier ist sogar die Wärmekapazität des entstandenen Wassers größer als die des Eises. Durch diese und andere Versuche wurde festgestellt, daß Wärme kein Stoff ist, sondern ebenso wie Schall und Licht auf Molekularbewegung beruht.

Während aber beim Schall die Moleküle gleichmäßig schwingen, ist die Bewegung bei Wärme und Licht eine ungeordnete. 20—400 Billionen Schwingungen in einer Sekunde werden als Wärme empfunden, bis 800 Billionen Schwingungen als Licht. Zwischen Wärme und Licht besteht also nur ein quantitativer Unterschied, wie schon die bekannte Erscheinung zeigt, daß z. B. Eisen beim fortgesetzten Erwärmen schließlich rot-, dann weißglühend wird. Es geht also hier dunkle Wärme kontinuierlich in leuchtende über. Auch die Fortpflanzung der Wärme durch Strahlung ist völlig der des Lichtes analog.

§ 78. **Wärme und mechanische Arbeit.** Da Wärme eine, wenn auch unsichtbare Form der Bewegung ist, so müssen zwischen ihr und anderen Arten der Bewegung Beziehungen existieren. So war schon lange bekannt, daß durch mechanische Arbeit, z. B. Reibung, Wärme entsteht. Aber erst ROBERT MAYER fand, daß die Umwandlung sichtbarer Bewegung in unsichtbare (d. h. eben Wärme) stets nach unwandelbaren Gesetzen erfolgt. Gleichzeitig und unabhängig von ihm war JOULE durch viele mühsame Versuche zu demselben Resultate gekommen. Bezeichnet 1 Meterkilogramm die Arbeit, die nötig ist, um 1 kg 1 m zu heben, und 1 Kalorie die Wärmemenge, die nötig ist, 1 kg Wasser von 0° auf 1° zu erwärmen [§ 98], so ist nach diesen beiden Forschern 1 Kalorie äquivalent 427 Meterkilogrammen (1. Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie). Will man also Wärme in Arbeitsmaß, durch das mechanische Äquivalent, ausdrücken, so multipliziert man mit 427; will man Arbeit durch ihr thermisches Äquivalent ausdrücken, so dividiert man durch 427. Diese Beziehung zwischen Wärme und Arbeit ist offenbar ein Spezialfall des großen Gesetzes von der Erhaltung der Energie; von hier war übrigens MAYER dabei auch ausgegangen. Während nun Arbeit beliebig in Wärme verwandelt werden kann, gilt für die Umkehrung dieses Satzes die Einschränkung, daß Wärme nur dann in Arbeit übergeführt werden kann, wenn sie dabei von einem wärmeren auf einen kälteren Körper übergeht (2. Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie.) Da nun alle Körper beständig durch Strahlung und Leitung Wärme verlieren, so bleibt immer weniger Wärme zur Zurückverwandlung in Arbeit übrig, und schließlich muß ein Zeitpunkt kommen, wo alle Arbeit erloschen ist, der absolute Tod. CLAUSIUS drückte diesen Gedanken so aus: Die Entropie der Welt strebt einem Maximum zu, indem er mit Entropie¹ den in

¹ ἐντροπία unwenden, verwandeln.

Wärme übergeführten Teil des gesamten Energievorrates bezeichnete, der eben nicht mehr in Arbeit zurückverwandelt werden kann.

§ 79. **Wärme durch chemische Vorgänge.** Mehr noch als durch mechanische Arbeit entsteht auf der Erde Wärme durch chemische Prozesse. Besonders kommen hier die Verbindungen von Körpern mit Sauerstoff, d. h. also Verbrennungen, in Betracht. So entsteht z. B. bei der Verbrennung von 1 kg Wasserstoff eine Wärme von 34 000 Kalorien. Diese ist der Ausdruck dafür, daß vorher getrennte Moleküle, die eine große Affinität zu einander besitzen, mit großer Heftigkeit aneinanderprallen und in stürmische Schwingungen geraten. Auf der Verbrennung der eingeführten Nahrungsmittel resp. der Körperbestandteile beruht die Eigentemperatur der Organismen, die auch den sogenannten Kaltblütern zukommt.

§ 80. **Sonnenwärme.** In letzter Linie stammt alle Erdwärme von der Sonne ab. Um nur zwei Beispiele anzuführen, werden durch die Sonnenstrahlen mit Hilfe des Chlorophylls in den Pflanzen die komplizierten Verbindungen aufgebaut, durch deren Verbrennung der tierische Organismus seine Wärme erhält, und auf dieselbe Quelle sind die unermesslichen Wärmevorräte zurückzuführen, die in den Steinkohlenlagern aufgespeichert sind. Über die Entstehung der Sonnenwärme gibt es natürlich nur Hypothesen. Viele nehmen mit KANT-LAPLACE an, daß durch Rotation von Nebelmassen glühende Weltkörper entstanden seien, die sich allmählich von der Rinde zum Zentrum abkühlen. Während die Sonne noch im ersten Stadium ist, hat sich die Erde bis auf einen feurigen Kern schon abgekühlt, und im Monde ist dieser Prozeß bereits ganz beendet. Jedenfalls kann die Verdichtung, welche diese Abkühlung begleiten muß, mit Recht als ungeheuer große Wärmequelle angesehen werden. Die Sonnenwärme wird aber wahrscheinlich auch dadurch, trotz der großen Ausstrahlung, erhalten, daß fortwährend ungezählte kleine Weltkörper, Asteroiden, in sie hineinstürzen, wobei natürlich mechanische Arbeit in Wärme übergeht.

B. Ausdehnung durch Wärme.

§ 81. **Ausdehnungskoeffizient.** Mit wenigen Ausnahmen werden alle Körper durch Wärme ausgedehnt und umgekehrt durch Kälte zusammengezogen. Am meisten dehnen sich die Gase aus, weniger die flüssigen, und am wenigsten die festen Körper. Die Zahl, welche

angibt, welchen Bruchteil der ursprünglichen Größe die Ausdehnung pro Grad der Temperaturerhöhung beträgt, heißt Ausdehnungskoeffizient (α). Man unterscheidet einen linearen, wenn die Ausdehnung nur in einer Richtung erfolgt (nur bei festen Körpern möglich) von dem kubischen; letzterer beträgt das Dreifache des ersteren.

Dehnt sich nämlich jede Seite eines Würfels um α aus, so wird sie $1 + \alpha$. Das Volumen des ganzen Würfels wird also $(1 + \alpha)^3 = 1 + 3\alpha + 3\alpha^2 + \alpha^3$. Da aber α für feste Körper schon sehr klein ist ($< 0,0001$), so können die höheren Potenzen unberücksichtigt bleiben. Auch der kubische Ausdehnungskoeffizient wird kurzweg mit α bezeichnet.

Bei Flüssigkeiten, die in Gefäßen eingeschlossen sind, wird nur die scheinbare Ausdehnung beobachtet, d. h. die Differenz der Ausdehnung des Gefäßes und derjenigen der Flüssigkeit. Die wahre Ausdehnung von Flüssigkeiten kann man u. a. mittels kommunizierender Röhren bestimmen.

Wird der eine Schenkel kommunizierender Röhren auf der Temperatur 0 erhalten (indem man ihn z. B. mit schmelzendem Eis umgibt), der andere auf t^0 erwärmt, so wird eine Flüssigkeit, z. B. Quecksilber, in beiden Schenkeln verschieden hoch stehen. Dann verhalten sich die Volumina der Flüssigkeit in beiden Schenkeln wie die Höhen, $\frac{v}{v_0} = \frac{h}{h_0}$, wobei v_0 und h_0 Volumen bzw. Höhe bei 0_0 , v und h bei t^0 bedeuten. Nun ist nach § 82 $v = v_0 (1 + \alpha t)$. Daraus folgt $\alpha = \frac{1}{t} \cdot \frac{v - v_0}{v_0} = \frac{1}{t} \cdot \frac{h - h_0}{h_0}$.

§ 82. **Ausdehnung der Gase.** Während feste und flüssige Körper sich nicht ganz regelmäßig ausdehnen, dehnen sich alle Luftarten fast ganz gleichmäßig aus, nämlich für jeden Grad Celsius um $\frac{1}{273}$ ihres Volumens (Gesetz von Gay-Lussac). Hat also ein Gas bei 0^0 das Volumen v_0 , dann hat es bei 1^0 das Volumen $v_0 + \alpha v_0$, bei t^0 das Volumen $v_0 + t\alpha v_0$. Es ist also

$$v_1 = v_0 (1 + \alpha t).$$

In Worten: bei gleichbleibendem Drucke sind die Gasvolumina der Temperaturzunahme proportional. Bleibt dagegen das Volumen unverändert, so wächst der Druck des Gases für jeden Grad der Temperaturzunahme um $\frac{1}{273}$ des Druckes bei 0^0 . Es ist also

$$p_1 = p_0 (1 + \alpha t).$$

In Worten: bei gleichbleibendem Volumen sind die Gasdrucke der Temperaturzunahme proportional. Diese beiden Gesetze kann man durch eine einzige Formel ausdrücken, die zu-

gleich auch das BOYLE-MARIOTTE'sche Gesetz [§ 48] umfaßt (wenn nämlich $t = 0$ wird):

$$p_1 v_1 = p_0 v_0 (1 + \alpha t).$$

§ 83. **Absoluter Nullpunkt.** Die gewöhnliche Unterscheidung zwischen Wärme und Kälte ist offenbar ganz willkürlich. Beide sind nur quantitativ, nicht qualitativ voneinander verschieden. Da Wärme auf Molekularbewegung beruht, so kann von einem Nullpunkt der Wärme nur die Rede sein, wenn keine derartige Bewegung mehr stattfindet. Nach der kinetischen Gastheorie [§ 45] kann dann das Gas aber auch keine Spannung mehr haben, da ja der ausgeübte Druck nur eine Folge der Molekularbewegung ist. Es wird also $p_0(1 + \alpha t) = 0$. Da nun p_0 , der Druck bei 0° , eine bestimmte Größe ist, so ist der andere Faktor dieses Produktes $1 + \alpha t = 0$, woraus $t = -273$ folgt. Der absolute Nullpunkt liegt also bei -273° . Bis jetzt ist es noch nicht gelungen, tiefere Temperaturen als -259° herzustellen. Zur Umwandlung gewöhnlicher Temperaturangaben in absolute Temperaturen hat man nur 273 zu addieren. Bezeichnet man $273 + t$ mit T , so lauten obige Formeln

$$v = v_0 (1 + \alpha t) = \frac{v_0 T}{273}$$

$$p = p_0 (1 + \alpha t) = \frac{p_0 T}{273}.$$

Bei gleichem Druck sind also die Volumina, bei gleichem Volumen die Spannungen der Gase direkt proportional der absoluten Temperatur.

§ 84. **Ausdehnung des Wassers.** Das Wasser bildet eine bemerkenswerte Ausnahme von obigem Gesetze. Wenn es bei 0° erwärmt wird, so dehnt es sich nicht aus, sondern zieht sich zusammen, bis es bei 4° Celsius seine größte Dichtigkeit erreicht hat. Von da an dehnt es sich wieder aus. Diese Eigenschaft ist sehr wichtig für die im Wasser lebenden Organismen, da sonst stillstehende oder langsam fließende Gewässer bis auf den Grund gefrieren würden. So aber kühlt sich die oberste Schicht bis auf 4° ab und sinkt infolge ihrer größeren Dichte und Schwere nach unten. Die wärmeren Schichten steigen herauf und werden auch allmählich abgekühlt. Schließlich bleiben die kälteren Schichten oben, ebenso wie das Eis, welches spezifisch noch leichter als Wasser von 0° ist und somit eine schützende Decke bildet. Manche Körper verhalten sich ähnlich wie Wasser, z. B. einige Jodsalze.

§ 85. **Thermometer.** Da die Ausdehnung der Körper durch die Wärme Hand in Hand mit der Erwärmung geht, dient sie zur

Temperaturmessung. Gewöhnlich benutzt man Quecksilberthermometer, da Quecksilber sich ziemlich regelmäßig ausdehnt [cf. § 81 scheinbare Ausdehnung]. Ein gewöhnliches Thermometer besteht aus einem Gefäße mit Quecksilber und einer damit verbundenen luftleeren, kapillaren Röhre, neben der eine Skala angebracht ist. Die Röhre wird bei der Herstellung zugeschmolzen, nachdem durch Kochen des eingefüllten Quecksilbers alle Luft vertrieben ist. Da Quecksilber bei -39° gefriert, wendet man in kalten Gegenden das Weingeistthermometer an. Als Fundamental- oder Fixpunkte wählt man gewöhnlich den Gefrierpunkt und Siedepunkt des Wassers. Oberhalb des Gefrier- oder Eispunktes, der mit 0 bezeichnet wird, gibt das Thermometer Wärmegrade an, unter demselben sog. Kältegrade [cf. § 83]. Als Empfindlichkeit des Quecksilberthermometers bezeichnet man die Längsverschiebung des Quecksilberfadens für 1° Temperaturerhöhung. Den Abstand zwischen beiden Fundamentalpunkten teilt REAUMUR in 80 Grade, CELSIUS in 100; letztere Einteilung ist jetzt allgemein üblich. Nur in England und seinen Kolonien gebraucht man die Einteilung nach FAHRENHEIT. Hier wird als Nullpunkt die Temperatur einer Mischung von Kochsalz, Schnee und Salmiak angenommen; von hier bis zum Gefrierpunkt des Wassers sind 32 Grad, von diesem bis zum Siedepunkt des Wassers 180, im ganzen also 212.

Folgende Tabelle dient zur Umrechnung:

$$n^{\circ}(C) = \frac{4}{5} n^{\circ}(R) = \frac{9}{5} n^{\circ} + 32^{\circ}(F)$$

$$n^{\circ}(R) = \frac{5}{4} n^{\circ}(C) = \frac{9}{4} n^{\circ} + 32^{\circ}(F)$$

$$n^{\circ}(F) = \frac{5}{9} (n^{\circ} - 32^{\circ})(C) = \frac{4}{9} (n^{\circ} - 32^{\circ})(R).$$

Zweckmäßiger sind die Luftthermometer, da sie sehr genau sind und bei allen Temperaturen benutzt werden können. Fig. 57 stellt schematisch einen solchen dar. Wird die in a befindliche Luft erwärmt, so verdrängt sie das Quecksilber in b , aus dessen Stellung dann der Druck und somit nach § 82 auch die Temperatur der Luft gefunden wird. Am allerfeinsten sind aber die thermoelektrischen Apparate, die erst später besprochen werden sollen. Um die höchsten und niedrigsten Temperaturen während einer bestimmten Zeit anzuzeigen, dienen die, meist horizontal aufgestellten Maximum- und Minimumthermometer. Bei ersteren schiebt eine Quecksilbersäule ein Stahlstäbchen vor, das beim Zurückgehen derselben liegen bleibt; bei letzteren nimmt eine Weingeistsäule ein Glasstäbchen mit zurück, kann es aber nicht vorwärts schieben.

§ 86. **Luftströmungen.** Bei der Ausdehnung durch Wärme muß das spezifische Gewicht eines Körpers abnehmen, da ja dieselbe Masse auf einen größeren Raum verteilt wird. Daraus folgt, daß z. B. in einer Stube die wärmere Luft stets nach oben strömen wird. Darauf beruht auch eine Art der Ventilation, indem in eine Öffnung an der Decke eine Flamme gestellt wird. Auf die ungleiche Erwärmung der Luft sind auch die Winde zurückzuführen, besonders die Passate. Am Äquator steigt die erwärmte Luft in die Höhe, und zu ihrem Ersatze strömt von den Polen her Luft dahin. Ebenso lassen sich die Winde erklären, die von der Küste nach der See und umgekehrt wehen.

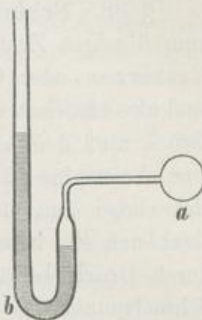


Fig. 57.

C. Anderung des Aggregatzustandes.

§ 87. **Druck und Wärme.** Bei genügender Wärmezufuhr wird die Vergrößerung der Intermolekularräume, die sich zunächst durch Ausdehnung der Körper kundgibt, so beträchtlich, daß ein höherer Aggregatzustand [§ 3] resultiert. Die Wärme repräsentiert also gewissermaßen eine zentrifugale Kraft: sie entfernt die Moleküle voneinander. Im Gegensatz dazu ist der Druck eine zentripetale Kraft: durch Kompression werden die Moleküle genähert. Er wirkt also in demselben Sinne wie die Kälte. Bei gleichem Druck erfolgt der Übergang in einen neuen Aggregatzustand stets bei derselben Temperatur. Wasser geht z. B. bei 100° (C) und 760 mm Barometerstand in Wasserdampf über. Man mag noch soviel Wärme zuführen, die Temperatur steigt nicht eher, als bis sämtliches Wasser in Dampf übergeführt ist. Früher sagte man, die zugeführte Wärme sei „latent“ geworden, da sie ja scheinbar verschwindet. Sie leistet aber eine bestimmte Arbeit, indem sie die Moleküle soweit voneinander entfernt, wie es eben für den luftförmigen Zustand charakteristisch ist. Man nennt sie heute Verdampfungswärme, und analog spricht man von Schmelzwärme. Umgekehrt wird beim Übergang von einem höheren zu einem niedrigeren Aggregatzustand Wärme frei, da für die verminderte potentielle Energie der Moleküle die kinetische größer wird. Druck muß nun den Übergang in einen höheren Aggregatzustand erschweren, weil er ja der Ausdehnung der Moleküle entgegenwirkt; d. h. es wird mehr Wärme dazu nötig sein, der Übergang erfolgt bei höherer Temperatur. Andererseits

5*

begünstigt er natürlich den Übergang in einen niedrigeren Aggregatzustand.

§ 88. **Schmelzen und Erstarren.** Der Übergang vom festen zum flüssigen Zustande heißt Schmelzen, der umgekehrte Vorgang Erstarren oder Gefrieren. Schmelzpunkt und Erstarrungspunkt sind also identisch und nur bezüglich des Ausgangspunktes verschieden. Druck muß den Schmelzpunkt erhöhen [§ 87], nur das Wasser bildet eine Ausnahme [§ 84]. Wenn es sich in Eis verwandelt, dehnt es sich dabei aus, und zwar mit einer enormen Gewalt. Umgekehrt zieht sich Eis beim Schmelzen zusammen, ein Prozeß, der offenbar durch Druck begünstigt werden muß, daher erniedrigt Druck den Schmelzpunkt des Eises. So kann man Eis unter hohem Druck beliebig formen (sog. Plastizität des Eises). Ferner beruht das Fließen der Gletscher darauf. Die Eismassen der Gletscher erfahren in engen Schluchten einen solchen Druck, daß trotz der großen Kälte eine Schmelzung stattfindet und der Gletscher fließt. Kommt er in breitere Bahnen, so gefrieren die Eismassen wieder (Regelation). Wichtig ist auch, daß der Schmelzpunkt von Legierungen meist tiefer ist als der der einzelnen Bestandteile.

§ 89. **Lösungen.** Zur Überführung eines festen Körpers in den flüssigen Zustand ist, wie gezeigt wurde, Arbeit nötig. Diese kann von außen durch Zufuhr von Wärme geleistet werden. Ein fester Körper kann sich aber auch spontan in einer Flüssigkeit auflösen, dann entzieht er die dazu nötige Wärme seiner Umgebung; es entsteht somit Abkühlung. Darauf beruhen u. a. die Kältemischungen. Bringt man z. B. gestoßenes Eis und Kochsalz zusammen, so verändern beide ihren Aggregatzustand, es entsteht eine Flüssigkeit von geringerer Temperatur. Bei manchen Lösungen findet allerdings eine Temperaturerhöhung statt; dann handelt es sich aber um chemische Verbindungen, z. B. beim Auflösen von Natrium in Wasser.

Ebenso wie Legierungen einen niedrigeren Schmelzpunkt haben, ist auch der Gefrierpunkt einer Lösung erniedrigt. Meerwasser gefriert z. B. bei -2° . Die Gefrierpunkts- (bezw. Schmelzpunkts-) Erniedrigung (gewöhnlich mit Δ bezeichnet) ist nun erfahrungsgemäß proportional der Menge der gelösten Substanz, umgekehrt proportional der Menge des Lösungsmittels. Diejenige Gefrierpunktserniedrigung nun, die 1 Gramm Substanz in 100 Gramm Lösungsmittel bewirkt, heißt nach **RAOULT** reduzierte Gefrierpunktserniedrigung.

Die reduzierten Gefrierpunktserniedrigungen, die zwei Substanzen in einem und demselben Lösungsmittel unter sonst gleichen Verhältnissen be-

dingen, sind umgekehrt proportional den Molekulargewichten beider Substanzen. $t:t' = m':m$. (RAOULT'sches Gesetz.) Anders ausgedrückt: Das Produkt aus Molekulargewicht (m) eines gelösten Stoffes und der reduzierten Gefrierpunktserniedrigung (t) ist eine nur von der Natur des Lösungsmittels, nicht der gelösten Substanz, abhängige Konstante (k) und dient daher zur Bestimmung des Molekulargewichts. Letzteres ergibt sich ja ohne weiteres aus der Formel $mt = k$, wenn eben t und k bekannt sind. Für Wasser ist z. B. $k = 18,7$, für Benzol 49. Bedingen c Gramm Substanz in 100 Gramm Lösungsmittel gelöst eine Gefrierpunktserniedrigung A , so ist $\frac{m A}{c} = k$, da $t = \frac{A}{c}$ ist.

Durch die Gefrierpunktserniedrigung A kann man aber auch die Anzahl der gelösten Moleküle, d. h. die molekulare Konzentration einer Lösung bestimmen. Denn es ist $\frac{c}{m} = \frac{A}{k}$. Da nämlich das Gewicht einer Substanz gleich dem Produkt aus der Anzahl ihrer Moleküle und dem Molekulargewicht ist, folgt daraus, daß die Zahl ihrer Moleküle dem Quotienten aus dem Gewicht der Masse und dem Molekulargewicht $\frac{c}{m}$ entspricht. $\frac{c}{m}$ ist also hier die Zahl der gelösten Moleküle in 100 Gramm Lösungsmittel. Aus der molekularen Konzentration kann man aber wieder den osmotischen Druck der Lösung berechnen [§ 44]. — Die Lehre von den Gesetzen der Gefrierpunktserniedrigung wird auch Kryoskopie¹ genannt und findet gegenwärtig u. a. in der Medizin ausgedehnte Anwendung.

§ 90. **Sieden.** Wird durch Erwärmung eine Flüssigkeit in Dampf verwandelt, so heißt das Sieden. Die Temperatur, bei der dies geschieht, wird Siedepunkt genannt. Derselbe ist bei gleichbleibendem Druck für dieselbe Substanz konstant; gewöhnlich wird er für 760 mm Barometerstand angegeben. Vermehrter Druck muß den Siedepunkt erhöhen, verminderter Druck ihn erniedrigen [§ 87]. In der Tat siedet z. B. Wasser auf dem Montblanc schon bei 84° und unter der Luftpumpe bei noch viel niedrigerer Temperatur. Diese Abhängigkeit vom Druck geht noch deutlicher hervor, wenn man als Siedepunkt die Temperatur definiert, bei der die Spannung des gebildeten Dampfes den auf der Flüssigkeit lastenden (Atmosphären-) Druck überwindet. Man kann also den Siedepunkt erhöhen, wenn man eine Flüssigkeit in einem fest verschlossenen Gefäße erhitzt; denn dann kann der Dampf nicht entweichen und vermehrt so den Druck. Darauf beruht der Papin'sche Topf. Das Sieden des Wassers wird dadurch begünstigt, daß beim Erwärmen eingeschlossene Luft und Kohlensäurebläschen ausgetrieben werden, und so gewissermaßen den molekularen Zusammenhang lockern. Durch wiederholtes Auskochen kann ganz luftfreies Wasser über den Siedepunkt erhitzt werden, ohne zu verdampfen. Man spricht dann von Siedeverzug

¹ κρύος Kälte, σκοπέω beobachten.

oder Überhitzung; die Verdampfung erfolgt hier plötzlich, explosionsartig. Andererseits können Flüssigkeiten in geschlossenen Gefäßen, die vor Berührung geschützt sind, auch unterkühlt, d. h. bis unter den Gefrierpunkt abgekühlt werden. Sind Salze im Wasser gelöst, so wird im allgemeinen der Siedepunkt erhöht; dies und die Erniedrigung des Gefrierpunktes kann man so deuten, daß die Salzmoleküle bei Lösungen die freie Beweglichkeit der Moleküle des Lösungsmittels behindern. Jedenfalls ist die Gefrierpunktserniedrigung und Siedepunktserhöhung ebenso wie der osmotische Druck nicht von der Art, sondern von der Zahl der Moleküle abhängig [cf. § 44 u. 89].

§ 91. **Leidenfrost's Phänomen.** Kommt Flüssigkeit mit sehr heißen Metallen in Berührung, so bildet sich um sie eine Dampfhülle, die ein eigentliches Sieden verhindert. Ebenso ist die Erscheinung zu erklären, daß man die Hand in geschmolzenes Eisen stecken kann, ohne sich zu verbrennen; auch manche Gottesgerichte des Mittelalters gehören hierher. Sehr schön zeigt sich das Phänomen, wenn man eine kleine Flüssigkeitsmenge auf eine sehr heiße Unterlage von Metall bringt. Es bildet sich dann ein flachgedrückter Tropfen, der hin und her springt; er ruht gewissermaßen auf einem elastischen Polster, nämlich der Dampfhülle. Erst bei genügender Abkühlung, wenn die Spannung des Dampfes so klein geworden ist, daß er das Gewicht des Tropfens nicht mehr aushält, verpufft derselbe.

§ 92. **Verdunsten.** Das Verdunsten verhält sich zum Sieden wie die Auflösung eines Körpers zum Schmelzen. Beim Verdunsten wird also nicht durch Zufuhr von Wärme der Übergang in den luftförmigen Zustand bewirkt, sondern dieser erfolgt spontan. Und zwar kann man sich vorstellen, daß an den Grenzschichten von Flüssigkeiten die Moleküle bei ihren Schwingungen in die benachbarten Luftschichten gelangen und nicht mehr zurückkehren. Bei jeder Verdunstung wird eine bestimmte Arbeit geleistet, um den äußeren Luftdruck sowie die Kohäsion zwischen den einzelnen Flüssigkeitsteilchen zu überwinden. Da die hierzu nötige Energie nicht von außen (durch Erhitzen) zugeführt wird, so wird sie dem Körper selbst entzogen, dessen Temperatur infolgedessen sinkt. Hierauf beruhen die sogenannten Eismaschinen. Bei der von CARRÉ wird z. B. in einem Metallgefäße *A* eine Auflösung von Ammoniak in Wasser solange erhitzt, bis die Ammoniakdämpfe aus *A* nach einem damit verbundenen kleineren Zylinder *B* getrieben sind, wo sie wegen des größeren Druckes verflüssigt werden [§ 87]. Nun wird *A* energisch abgekühlt, und da kaltes Wasser Ammoniakdämpfe begierig absorbiert, findet in *B* eine rasche Verdunstung und somit Kälteerzeugung statt,

wodurch man Wasser zum Gefrieren bringen kann. Auf der Verdunstungskälte beruht z. B. auch die wohltätige Wirkung des Schweißes.

§ 93. **Gesättigter und ungesättigter Dampf.** Läßt man in einer genügend langen, mit Quecksilber gefüllten Röhre, die unten in ein weites Gefäß mit Quecksilber eintaucht, z. B. eine bestimmte Menge Äther aufsteigen, so wird dieser in dem TORRICELLI'schen Vakuum verdampfen. Durch die Spannung (Druck) des gebildeten Ätherdampfes wird die ursprünglich 760 mm hohe Quecksilbersäule nach abwärts gedrängt; ihre Höhe ist somit ein Maß für die Spannkraft des Dampfes. Die Verdampfung des Äthers hört aber bald auf, wenn nämlich die entstandenen Ätherdämpfe einen genügend großen Gegendruck auf den noch flüssigen Äther ausüben. Man sagt dann, der Raum über der Quecksilbersäule ist mit Ätherdampf gesättigt, oder auch kurz, der Ätherdampf ist gesättigt. Ein gesättigter Dampf ist demnach ein solcher, der aus der Flüssigkeit, aus der er entstanden ist, nichts mehr aufnehmen kann. Sobald dieser Zustand erreicht ist, nimmt die Quecksilbersäule eine konstante Höhe an. Wird nämlich der Raum, in dem der flüssige und dampfförmige Äther ist, vergrößert, so verdampft noch ein Teil der Flüssigkeit, bis der vergrößerte Raum wieder gesättigt ist; wird er verkleinert, so wird ein Teil des Dampfes kondensiert. Stets aber bleibt die Spannung die gleiche, was eben aus der gleichbleibenden Höhe der Quecksilbersäule hervorgeht. Die Spannung eines gesättigten Dampfes ist also vom Volumen unabhängig und zugleich ein Maximum (für die betreffende Temperatur). Einen größeren Druck durch Verkleinerung des Volumens zu erzielen, ist eben unmöglich, weil dann sofort ein Teil des Dampfes verflüssigt wird. Dagegen wird eine Erhöhung des Druckes herbeigeführt durch Erhitzen, indem dann neue Flüssigkeit verdampft, und zwar steigt der Druck gesättigter Dämpfe bei Temperaturerhöhung mehr an, als das GAY-LUSSAC'sche Gesetz besagt. Auch die Sättigungsmenge steigt mit der Temperatur. — Wird nun der Raum über der Quecksilbersäule so sehr vergrößert, daß schließlich aller Äther verdampft, so wird der Raum ungesättigt, oder, wie man gewöhnlich sagt, der Ätherdampf in jenem Raum ist ungesättigt. Charakteristisch für den ungesättigten Dampf ist also, daß er nicht mehr mit seiner Mutterflüssigkeit in Verbindung ist, die gewissermaßen das Magazin darstellt, aus dem das Sättigungsbedürfnis bei Volumschwankungen befriedigt werden kann. Man kann nun auch ungesättigten Dampf dadurch erhalten, daß man gesättigten so lange erhitzt, bis alle Flüssigkeit verdampft ist. Aus diesem Entstehungsmodus ist der Name

überhitzter Dampf, der identisch mit ungesättigtem Dampfe ist, verständlich. Umgekehrt kann man aus ungesättigtem Dampfe auch auf zwei Wegen gesättigten herstellen, nämlich durch Druck und durch Abkühlung. Ein ungesättigter Dampf verhält sich wie ein vollkommenes Gas, gehorcht also den Gesetzen von BOYLE-MARIOTTE und GAY-LUSSAC [§ 82].

§ 94. **Dampfdichte.** Unter Dampfdichte (oder spezifischem Gewicht der Dämpfe) versteht man gewöhnlich das Gewicht einer Dampfmenge, bezogen auf ein gleich großes Volumen atmosphärischer Luft bei demselben Drucke und derselben Temperatur. Diese Größe ist deshalb wichtig, weil man daraus die Molekulargewichte chemischer Verbindungen berechnen kann.

Nach dem Gesetz von AVOGARDO sind in gleichen Volumina aller Gase gleichviele Moleküle enthalten. Die spezifischen Gewichte gleicher Gasvolumina sind daher (wenn Temperatur und Druck gleich sind) proportional den Molekulargewichten. Bezeichnet M_x das Molekulargewicht der untersuchten Substanz, M_h das des Wasserstoffs, und ist das spezifische Gewicht der ersteren bezogen auf Luft = s , das des Wasserstoffs = 0,069, so ist

$$M_x : M_h = s : 0,069.$$

Da nun $M_h = 2$ ist, so ergibt sich

$$M_x = \frac{2s}{0,069} = s \cdot 28,8.$$

Sehr gebräuchlich ist z. B. die Methode von HOFMANN, bei der die zu untersuchende Substanz in das Vakuum einer Barometerröhre gebracht und dort verdampft wird, indem man zwischen Barometerröhre und einen Mantel Dämpfe einer siedenden Flüssigkeit leitet. So erhält man das Volumen, dessen Gewicht für Luft unter Berücksichtigung von Temperatur und Barometerstand einen bestimmten Wert hat. Das Gewicht des Dampfes ist identisch mit dem der verdampften Substanz.

§ 95. **Hygrometrie.** Für viele Zwecke ist es nötig, den Feuchtigkeitsgehalt der Luft zu kennen, d. h. ihre Sättigung mit Wasserdampf. Man unterscheidet hierbei absolute Feuchtigkeit, d. h. die wirklich vorhandene Menge Wasserdampf in einem bestimmten Volumen, und relative, d. h. das Verhältnis der vorhandenen Wasserdampfmenge zu der, welche bei vollkommener Sättigung vorhanden wäre. Wärmere Luft braucht mehr Feuchtigkeit zur Sättigung als kalte; daher entstehen bei Abkühlung der Luft schließlich Niederschläge.

Der einfachste Feuchtigkeitsmesser, das Haarhygrometer¹ von SAUSSURE, beruht darauf, daß entfettetes Frauenhaar die Eigenschaft

¹ ἕψος feucht.

hat, sich durch Feuchtigkeit auszudehnen. Diese Bewegung wird hier auf einen Zeiger übertragen, der vor einer Skala spielt.

Das DANIELL'sche Hygrometer benutzt den Taupunkt, d. i. diejenige Temperatur, bei der die Luft gerade mit Wasserdampf gesättigt ist; kühlt sich die Luft weiter ab, so schlägt sich der Dampf als Tau nieder.

Die Kugel *a* (Fig. 58) ist an der Außenseite vergoldet und halb mit Äther gefüllt; auch enthält sie ein kleines Thermometer. Sie geht über in die Röhre *b c*, die auf der anderen Seite ebenfalls mit einer Kugel *d* endigt, welche mit einem Musselinlappchen *e* umhüllt ist. Der ganze Apparat ist luftleer. Tropft man auf *e* Äther, so entsteht durch dessen Verdunstung Kälte, wodurch die Ätherdämpfe in *d* verflüssigt werden. Dies hat wieder zur Folge, daß der Äther in *a* verdampft und dadurch die Kugel *a* abkühlt. Wird die Abkühlung so stark, daß die Außenluft ihren Wasserdampf nicht mehr binden kann, so beschlägt sich *a* mit einem feinen Tau. Die Temperatur, bei der dies geschieht, wird am Thermometer in *a* abgelesen, und in einer Tabelle nachgesehen, welche maximale Sättigungsmenge ihr entspricht. So findet man die absolute Feuchtigkeit, aus der wieder leicht die relative zu berechnen ist.

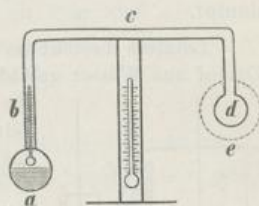


Fig. 58.

Sehr einfach findet man den absoluten Feuchtigkeitsgehalt auch, wenn man ein bestimmtes Volumen Luft durch eine Röhre mit Chlorcalcium leitet, dessen Gewichtszunahme dann direkt den Wassergehalt der Luft angibt.

§ 96. **Kondensation; kritischer Punkt.** Wie Flüssigkeiten in Dämpfe übergehen können, so ist auch der umgekehrte Vorgang möglich. Man spricht dann von Kondensation¹ oder Verflüssigung. Nach den angeführten Prinzipien ist klar, daß hierzu entweder Druck oder Kälte oder, noch besser, beides erforderlich ist. Früher unterschied man die sogenannten permanenten oder inkoerziblen Gase, z. B. Wasserstoff, Sauerstoff, Kohlensäure, Luft, bei denen die Kondensation nicht gelang, von den coerziblen. Heute können dieselben aber auch verflüssigt werden, seitdem man weiß, daß dazu der Druck selbst von Hunderten von Atmosphären nicht allein imstande ist, sondern daß diese Verwandlung stets unterhalb einer bestimmten Temperatur, der sogenannten kritischen Temperatur, geschehen muß. Dieselbe ist z. B. für Kohlensäure 31°. Man kann nun Dämpfe von Gasen scharf trennen, indem man sie als luftförmige Körper definiert, die sich unterhalb ihres kritischen Punktes befinden, also durch Druck allein kondensierbar sind.

¹ *condenso* verdichten.

sich um die Erwärmung von 1 g oder 1 kg handelt. Das Verhältnis der Wärmekapazität eines Körpers zu der des Wassers heißt seine spezifische Wärme. Diese ist also ebenso wie das spezifische Gewicht nur eine Verhältniszahl und muß stets ein echter Bruch sein. Von den Methoden zur Bestimmung der spezifischen Wärme (Kalorimetrie) seien nur folgende genannt:

§ 99. **Mischungsmethode.** Haben zwei Mengen einer Flüssigkeit, m und m' , die Temperatur t und t' ($t > t'$), und resultiert nach ihrer Mischung die mittlere Temperatur T , so ist klar, daß die erste Substanz für die Masseneinheit die Wärmemenge $t - T$ abgibt, die zweite $T - t'$ aufgenommen hat. Es ist also

$$m(t - T) = m'(T - t').$$

Denn angenommen, daß keine Wärme durch Strahlung verloren geht, muß die Summe der Wärme vor und nach der Mischung gleich sein. Daraus ergibt sich die Endtemperatur

$$T = \frac{m t + m' t'}{m + m'}.$$

Diese Gleichung heißt auch Richmann'sche Regel. Bei der Mischung zweier Flüssigkeiten von verschiedenen spezifischen Wärmen (c und c') wird die Verteilung der Wärme auch von letzteren abhängen. Es ist also

$$c m (t - T) = c' m' (T - t').$$

Ist nun Wasser eine von den beiden Flüssigkeiten, so wird $c = 1$, und da alle anderen Größen direkt meßbar sind, erhält man daraus c' , also die spezifische Wärme der zweiten Flüssigkeit. Man kann so auch die spezifische Wärme fester und gasförmiger Körper bestimmen; letztere leitet man hierbei in Röhren durch die Flüssigkeit. Die Apparate, in denen diese Untersuchungen gemacht werden, heißen Wasserkalorimeter.

§ 100. **Eisschmelzungsmethode.** Da festgestellt ist, daß ca. 80 Kalorien nötig sind, um 1 kg Eis zu schmelzen, so läßt sich die spezifische Wärme eines Körpers, dessen Temperatur und Gewicht bekannt sind, leicht aus der Menge des Schmelzwassers berechnen. Hat der Körper die Masse m , Temperatur t , spezifische Wärme c , so gibt er bei der Abkühlung auf 0° die Wärmemenge $m c t$ ab, da natürlich bei der Abkühlung die spezifische Wärme dieselbe Rolle spielt wie bei der Erwärmung. Entsteht die Menge m' von Schmelzwasser, so wurden dazu $80 m'$ Kalorien verbraucht. Es ist also

$$\begin{aligned} c m t &= 80 m' \\ c &= \frac{80 m'}{m t}. \end{aligned}$$

Das beste Eiskalorimeter ist das von BUNSEN (Fig. 60), bei dem die Menge des Schmelzwassers nicht direkt, sondern durch die eintretende Volumsdifferenz gemessen wird.

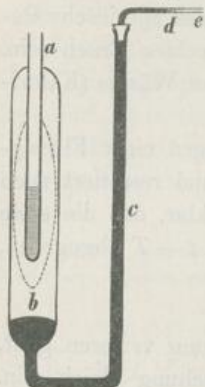


Fig. 60.

Im Raume *b* ist Wasser, das infolge einer Kältemischung in der Röhre *a* um dieselbe einen Eismantel bildet, dargestellt durch die punktierte Linie. Im unteren Teile von *b*, in der Röhre *c* und der damit verbundenen Kapillaren *e* ist Quecksilber, das durch die Ausdehnung des gefrierenden Wassers bei *e* ausfließt. Nun wird nach Entfernung der Kältemischung in *a* die zu untersuchende erwärmte Substanz, deren Gewicht und Temperatur bekannt sind, gebracht. Der Eismantel schmilzt, und infolge der dabei eintretenden Volumsabnahme wird das Quecksilber in der Kapillare von *e* etwa bis *d* rücken. Es entspricht nun immer die Differenz von 0,09 cbcm 1 g geschmolzenen Eises.

§ 101. **Atomwärme.** DULONG und PETIT fanden die merkwürdige Tatsache, daß die spezifische Wärme der Atome fester Elemente umgekehrt proportional den Atomgewichten ist. Das Produkt aus Atomgewicht und spezifischer Wärme, die sogenannte Atomwärme, ist demnach eine konstante Größe (ca. 6,2) und bietet ein wichtiges Hilfsmittel zur Bestimmung der Atomgewichte. Man kann das Gesetz so erklären, daß bei den leichteren Atomen durch schnellere Bewegung infolge vermehrter Wärmezufuhr die geringere Masse kompensiert wird, so daß also die kinetische Energie ($\frac{1}{2} m v^2$) konstant ist.

§ 102. **Spezifische Wärme der Gase.** Bei den Luftarten hat man zu unterscheiden zwischen der spezifischen Wärme bei gleichbleibendem Volumen, c_v , und derjenigen bei gleichbleibendem Druck, c_p . Wird z. B. in dem Gefäße *ABCD* (Fig. 61) 1 kg Luft erwärmt, wenn der Deckel *E* unbeweglich ist, so entspricht die Wärmemenge, die nötig ist, die Temperatur um 1° zu erhöhen, nach Reduktion auf die Volumeneinheit der spezifischen Wärme bei konstantem Volumen *c*. Ist der Deckel *E* aber beweglich, so wird sich die Luft bei der Erwärmung etwa bis *E'* ausdehnen; jetzt bleibt also der Druck gleich. Da im letzteren Falle die Luft eine Arbeit leistet, indem sie

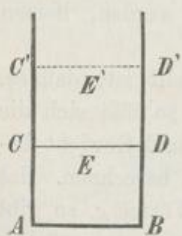


Fig. 61.

den Deckel entgegen der auf ihm lastenden Atmosphäre um das Stück *CC'* hebt, muß sie eine niedrigere Temperatur als im ersten Falle haben. Anders ausgedrückt, um Luft bei gleichbleibendem Druck ebenso zu erwärmen wie dieselbe Menge bei gleichbleibendem Volumen, ist mehr Wärme nötig. Es ist also $c_p > c_v$, und $c_p - c_v$

entspricht genau der von der Luft geleisteten Arbeit; auf diesem Wege wurde auch von MAYER zuerst die Äquivalenzahl zwischen Wärme und Arbeit berechnet. c_p kann man direkt finden, indem man Luft zuerst auf eine bestimmte Temperatur bringt und dann in Röhren durch ein Wasserkalorimeter leitet; in diesem wird die Wärme abgegeben und kann in der schon besprochenen Weise berechnet werden. c_v kann man deshalb nicht direkt bestimmen, weil sich ja bei der Abkühlung im Kalorimeter das Volumen ändern muß.

Dagegen ist das Verhältnis $\frac{c_p}{c_v} = k$ bekannt; es beträgt für alle Gase bei einem Atmosphärendruck 1,41. Der Ausdruck \sqrt{k} ist bereits bei der Akustik [§ 71] als sogenannter LAPLACE'Scher Faktor erwähnt worden, mit dem die Formel für die Schallgeschwindigkeit $v = \sqrt{\frac{e}{d}}$ multipliziert werden muß.

Diese Formel wäre nur richtig, wenn die an den Verdichtungsstellen der Schallwellen immer entstehende Wärme abströmen, also vernachlässigt werden könnte. Da aber Luft ein schlechter Wärmeleiter ist, da ferner die Temperaturschwankungen in den Schallwellen sehr rasch verlaufen, so ist dies hierbei nicht der Fall. (Man nennt übrigens derartige Prozesse, bei denen ein Wärmeaustausch mit der Umgebung nicht stattfindet, *adiabatisch*¹.) In den Verdichtungen wird daher die elastische Spannung durch die Erwärmung noch vermehrt, in den Verdünnungen durch die Abkühlung noch mehr verringert. Dadurch findet eine Erhöhung der Schallgeschwindigkeit statt, die, wie LAPLACE zeigte, dem Faktor k entspricht. Umgekehrt kann natürlich aus einer bekannten Schallgeschwindigkeit $\frac{c_p}{c_v}$ gefunden werden.

Aus $\frac{c_p}{c_v}$ und c_p ergibt sich dann c_v .

E. Fortpflanzung der Wärme.

§ 103. **Wärmeleitung.** Die Fortpflanzung der Wärme erfolgt zum Teil derartig, daß sich die Bewegung der Moleküle direkt auf benachbarte überträgt. Dieser Modus heißt Wärmeleitung, und zwar innere, wenn es sich um die Moleküle desselben Körpers handelt, äußere, wenn dabei die Bewegung auf einen anderen Körper übergeht. Gute Wärmeleiter sind besonders die Metalle, unter denen wieder Silber die erste Stelle einnimmt. Es ist bemerkenswert, daß der Leitungsfähigkeit für Wärme die für Elektrizität proportional ist. Auf der guten Leitungsfähigkeit der Metalle beruht z. B. die

¹ *à* privatim, *diapylw* hindurchgehen.

Davy'sche Sicherheitslampe, eine einfache Ollampe, die von einem Drahtnetz umgeben ist. Dieses entzieht den Flammgasen soviel Wärme, daß sie unter ihre Entzündungstemperatur abgekühlt werden; dadurch werden Explosionen vermieden, selbst wenn in der Umgebung Grubengas ist. Interessant sind die Verhältnisse bei den Kristallen, deren Leitungsfähigkeit in den verschiedenen Achsen verschieden ist. Im Gegensatz zu den festen Körpern leiten flüssige und gasförmige die Wärme schlecht. Eine merkwürdige Ausnahme bildet nur der Wasserstoff, der aber auch sonst den Metallen nahesteht. In Flüssigkeiten und Luftarten erfolgt die Wärmeleitung meist durch Strömung (Konvektion), was eine Folge der Veränderung des spezifischen Gewichts durch die Wärme ist. Auf dem schlechten Leitungsvermögen der zwischengelagerten Luft beruht z. B. die kälteschützende Wirkung der Kleider, Doppelfenster etc.

§ 104. **Wärmestrahlung.** Die schon betonte Verwandtschaft zwischen Wärme und Licht zeigt sich besonders bei der Art der Wärmefortpflanzung, die durch Strahlung geschieht. Man hat sich vorzustellen, daß durch die Bewegung der Körpermoleküle auch die zwischen ihnen befindlichen Äthermoleküle in Schwingungen geraten und diese dem angrenzenden Äther mitteilen, der sie in Form von transversalen Wellen zu anderen Körpern fortleitet, wo sie wieder in materielle Bewegung umgewandelt werden. Daraus folgt, daß die strahlende Wärme auch durch den sog. leeren Raum geht, und daß die Schicht zwischen Wärmequelle und erwärmtem Körper ganz kalt sein kann. So ist z. B. auf hohen Bergen die Temperatur des Bodens bedeutend höher als die der Luft.

Die Fähigkeit Wärme auszustrahlen (Emissionsvermögen) ist im allgemeinen um so größer, je größer die Temperaturdifferenz zwischen Körper und Umgebung und je weniger dicht ihre Oberfläche ist; auch die Natur der Körper ist von Einfluß. Wenn Wärmestrahlen auf einen Körper fallen, so werden sie entweder zurückgeworfen (reflektiert) oder sie dringen in ihn ein. In letzterem Falle werden sie entweder verschluckt (absorbiert), oder sie gehen unverändert durch. Gewöhnlich findet alles dieses zusammen statt, jedoch eins vornehmlich. Körper, welche Wärmestrahlen unverändert durchlassen, heißen „wärmedurchsichtig“, diatherman¹. Trotz der nahen Verwandtschaft zwischen Licht und Wärme sind nun keineswegs alle durchsichtigen Körper auch in hohem Grade diatherman und umgekehrt. Am meisten diatherman ist Steinsalz, sehr wenig z. B.

¹ *διὰ* durch, *θέρουσι* Wärme.

Alaun, und fast gar nicht Eis. Ferner ist z. B. die Diathermanität des durchsichtigen Bergkristalls gleich der des wenig durchsichtigen Rauchtropases. Wie man nun Licht in verschiedene Farben zerlegen kann, die durch Körper in verschiedenem Maße gehen, so kann auch Wärme durch ein Steinsalzprisma in Strahlen von verschiedener Wellenlänge zerlegt werden. Man spricht daher analog von „Wärmefarben“ und nennt diese Eigenschaft der Wärme *Thermochrose*¹. Mit anderen Worten, die Wärmedurchlässigkeit hängt auch von der Qualität der Wärme ab. Über das Verhältnis der Emission zur Absorption gilt das KIRCHHOFF'sche Gesetz, daß ein Körper genau die Strahlen absorbiert, die er selbst aussenden kann. Darauf soll bei der Optik näher eingegangen werden, ebenso wie auf die Erscheinungen der Brechung, Polarisierung und Interferenz der Wärmestrahlen, welche genau den Verhältnissen beim Lichte entsprechen.

Optik.

A. Ursprung und Ausbreitung des Lichtes.

§ 105. **Natur des Lichtes.** Unter Licht versteht man einmal die subjektive Empfindung der Helligkeit, welche durch verschiedene Reize des Sehnerven und der Sehzentra, z. B. durch Elektrizität, Blutdruckschwankungen etc. hervorgebracht wird, dann aber besonders — im physikalischen Sinne ausschließlich — das Agens selbst, welches diese Empfindung vorzugsweise auslöst. Über die Natur dieses letzteren bestehen verschiedene Ansichten. Nach der Emanations- oder Emissionstheorie² NEWTON's ist das Licht ein äußerst feiner Stoff, der von den leuchtenden Körpern ausgesandt wird. Nach der jetzt fast allgemein akzeptierten Undulationstheorie von HUYGENS entsteht es ebenso wie Wärme durch außerordentlich schnelle Schwingungen der Körpermoleküle, die durch transversale Ätherschwingungen fortgepflanzt werden. Nach der Auffassung von MAXWELL, die immer mehr an Einfluß gewinnt, ist diese wellenförmige Fortpflanzung ihrerseits durch elektromagnetische Vorgänge bedingt [cf. § 190].

¹ *χρῶμα* Farbe.

² *emano* ausfließen, *emitto* aussenden.

§ 106. **Lichtquellen.** Die Verwandtschaft zwischen Wärme und Licht zeigt sich z. B. darin, daß durch genügende Wärmezufuhr Körper leuchtend werden. So wird ein Platindraht durch Erhitzen rot- und schließlich weißglühend. Auch das elektrische Glühlicht ist durch vermehrte Wärmeentwicklung des elektrischen Stromes zu erklären. So ist auch verständlich, daß die größte Wärmequelle, die Sonne, zugleich die stärkste Lichtquelle vorstellt. Alle derartigen Körper, deren Moleküle also so schnell schwingen, daß die von ihnen ausgehenden Ätherwellen (400—800 Billionen in 1 Sekunde, bei der dunklen Wärme 20—400 Billionen) als Licht empfunden werden, heißen selbstleuchtend. Von Himmelskörpern gehören außer der Sonne nur noch die Fixsterne dazu, während z. B. die Planeten nur dadurch sichtbar sind, weil sie das Sonnenlicht reflektieren. Besonders stark wird die Lichtentwicklung, wenn mit der Erwärmung auch eine lebhafte Oxydation (Verbrennung) Hand in Hand geht. Brennende Gase haben übrigens nur ein geringes Leuchtvermögen, das aber durch suspendierte feste Partikelchen bedeutend erhöht wird. So beruht die Helligkeit einer Gasflamme auf den weißglühenden Kohlenstoffteilchen [cf. Bunsenbrenner § 52]. Manche Körper senden aber schon bei gewöhnlicher oder nicht sehr erhöhter Temperatur Licht aus (Lumineszenz¹). Hierher gehört das Leuchten gewisser niederer Tiere und Pflanzen (z. B. Meerleuchten, Glühwürmchen, faulendes Holz) sowie des Phosphors. Man faßt speziell die erwähnten Erscheinungen unter dem Namen Phosphoreszenz² zusammen, bezeichnet aber mit diesem Namen auch das Nachleuchten gewisser Körper, nachdem sie einer starken Belichtung ausgesetzt waren [cf. § 134].

§ 107. **Ausbreitung des Lichtes. Schatten.** Das Licht breitet sich im allgemeinen von einem leuchtenden Punkte nach allen Seiten hin geradlinig und mit gleichmäßiger Geschwindigkeit aus. Treffen dabei die Lichtstrahlen auf einen Körper, so werden sie entweder zurückgeworfen (reflektiert), oder verschluckt (absorbiert), oder gehen endlich durch ihn hindurch, indem sie dabei eine Ablenkung (Brechung) erfahren. Auf der Reflexion beruht der Glanz der Körper und die Spiegelung, auf der Absorption die Farbe, Erwärmung und chemische Veränderung, auf dem Durchgang des Lichtes die Durchsichtigkeit der Körper. In dünnen Schichten sind alle Körper durchsichtig oder wenigstens durchscheinend, umgekehrt vermindert zunehmende Dicke die Durchsichtigkeit.

¹ *luminesco* leuchten.

² *φωσφόρος* Lichtträger.

Da ein undurchsichtiger Körper die Ausbreitung des Lichtes stört, muß hinter ihm eine Schattenzone entstehen. Bei einer gewissen

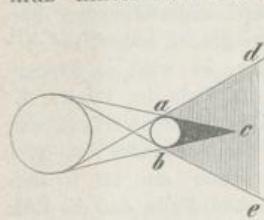


Fig. 62.

Größe der Lichtquelle unterscheidet man den Kernschatten abc (Fig. 62), der gar kein Licht erhält, vom Halbschatten $dacbe$, der teilweise beleuchtet wird. Die Form beider ist durch

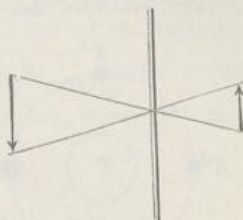


Fig. 63.

die geradlinige Ausbreitung des Lichtes bedingt. Ebenso beruht darauf die Erscheinung der optischen Kammer. Dringt nämlich Licht von einem Gegenstande aus durch einen schmalen Spalt in einen dunklen Raum, so entsteht auf einer gegenüberstehenden Wand ein umgekehrtes Bild desselben (Fig. 63).

§ 108. **Intensität des Lichtes.** Wie für jede Wellenbewegung gilt auch für das Licht der Satz, daß die Intensität umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung ist [§ 56]. Darauf beruhen die Photometer, Apparate zur Messung der Lichtstärke. Denn aus der leicht zu messenden Entfernung, die 2 Lichtquellen haben müssen, um dieselbe Wirkung zu erzielen, ist nach diesem Gesetze das Verhältnis ihrer Intensität ohne weiteres zu berechnen. Bei dem RUMFORD'schen Photometer werden die beiden zu vergleichenden Lichtquellen so aufgestellt, daß die von ihnen auf einen Schirm geworfenen 2 Schatten eines Stabes gleich dunkel sind. Das sehr zweckmäßige Fettfleckphotometer von BUNSEN beruht darauf, daß ein Fettfleck auf Papier im durchfallenden Lichte hell, im auffallenden dunkel erscheint und ganz verschwindet, wenn die auf entgegengesetzten Seiten stehenden Lichtquellen gleiche Wirkung ausüben. Als (willkürliche) Lichteinheit, gew. als Normkerze (NK) bezeichnet, benutzt man das Licht der v. HEFNER-ALTENECK'schen Amylazetatlampe bei 40 mm Flammhöhe.

Die ganze Photometrie hat den Mangel, daß es eine absolute Einheit der Lichtintensität noch nicht gibt, und daß sie ferner auf die subjektive Empfindung des Beobachters angewiesen ist. Nun hat aber selbst bei ein und demselben Beobachter die Pupille bei verschiedener Lichtstärke nie dieselbe Weite, es werden also nie gleichgroße Netzhautflächen getroffen.

§ 109. **Lichtgeschwindigkeit.** Das Licht pflanzt sich mit großer Schnelligkeit fort. Es durchläuft in 1 Sekunde 300 000 km oder 40 000 Meilen. Die erste Bestimmung rührt von OLAF RÖMER her.

Befindet sich die Erde zwischen Sonne und Jupiter, etwa in E (Fig. 64),
Guttmann, Grundriß der Physik. 3. Aufl.

so verstreichen ungefähr $42\frac{1}{2}$ Stunden zwischen zwei aufeinanderfolgenden Verfinsterungen eines der vier Jupitermonde. Entfernt sich die Erde vom Jupiter, so wird das Intervall zwischen zwei aufeinanderfolgenden Ver-

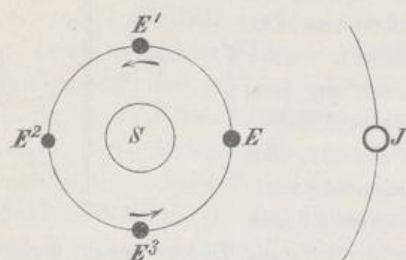


Fig. 64.

finsterungen größer, nähert sie sich dem Jupiter, so wird es kleiner. Ist z. B. die Erde im Punkte E^2 ihrer Bahn, so tritt die Verfinsterung desselben Jupitermondes ca. 1000 Sekunden später ein als in dem (hypothetischen) Falle, daß die Erde in E stehen geblieben wäre. Dies kann nur darauf beruhen, daß das Licht jetzt 1000 Sekunden mehr braucht, um zur Erde zu gelangen, die jetzt um den Durchmesser der

Erdbahn, 296 300 000 km, weiter vom Jupiter entfernt ist als im ersten Falle.

Die Lichtgeschwindigkeit ergibt sich dann nach der Formel $v = \frac{s}{t}$ zu 296 300 km in 1 Sekunde.

Ein gleiches Resultat erhält man nach der Methode von BRADLEY, die auf der Aberration¹ des Lichtes der Fixsterne beruht.

Stände nämlich die Erde still, so würde das Licht des Fixsterns a (Fig. 65) in gerader Linie die Netzhaut des Beobachters, etwa in b , treffen.

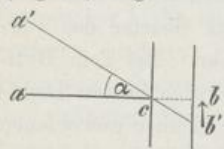


Fig. 65.

Da sich aber die Erde (in der Richtung des Pfeils) fortbewegt, während das Licht von der vorderen bis zur hinteren Fläche des Auges geht, so fällt der Strahl nach b' . Der Stern wird also in der Verlängerung von $b'c$, etwa in a' gesehen, macht daher die scheinbare Bewegung (Aberration) von a nach a' .

Mithin legt das Licht den Weg $b'c$ in derselben Zeit zurück, wie die Erde den Weg $b'b$. Es ist also v' (Geschwindigkeit des Lichtes): v (Geschwindigkeit der Erde) $= b'c : b'b = \frac{1}{\sin \alpha}$. v beträgt ca. 30 km, α , der sogenannte Aberrationswinkel, $20,45''$; daraus läßt sich v' berechnen.

FIZEAU gelang es dann auch, die Lichtgeschwindigkeit auf der Erde selbst zu bestimmen.

Er ließ durch eine in einem Fernrohr 45° zu dessen Achse geneigte unbelegte Glasplatte ein seitlich hereinkommendes Lichtbündel so reflektieren, daß es in die Achse des Fernrohrs fiel und durch die Lücken eines daselbst befindlichen exzentrisch angebrachten Zahnrades hindurch zu einem ca. $8\frac{1}{3}$ km entfernten Fernrohr sich fortpflanzte, in diesem an einem Spiegel reflektiert wurde, wieder durch die Zahnücken hindurchging und schließlich ins Auge des Beobachters am hinteren Ende des ersten Fernrohrs gelangte. Letzterer sah den Lichtpunkt, von dem das Strahlenbündel ausging, wenn das Rad stillstand oder nur langsam gedreht wurde, weil eben der zurückkehrende Lichtstrahl das Rad passierte, bevor ein Zahn an die Stelle der vorangehenden

¹ *aberro* abirren, abweichen.

Lücke getreten war. Drehte man aber das Rad so rasch, daß die Zeit eines Hin- und Herganges der Lichtstrahlen genau der Zeit entsprach, in der ein Zahn an Stelle der vorangehenden Lücke trat, so verschwand der Lichtpunkt. Bei einem Rad mit 720 Zähnen und 720 Lücken geschah dies bei 12,5 Umläufen in 1 Sekunde. Diese Zeit betrug somit $\frac{1}{1440 \cdot 12,5} = \frac{1}{18000}$ Sekunde; in dieser Zeit legte das Licht die Entfernung $16\frac{2}{3}$ km zurück, woraus sich eine Geschwindigkeit zu $18000 \cdot 16\frac{2}{3} = 300000$ km ergab.

B. Reflexion des Lichtes (Katoptrik).

§ 110. **Allgemeine Gesetze der Reflexion.** Körper mit rauhen Oberflächen zerstreuen das auf sie fallende Licht nach allen Seiten und werden dadurch selbst sichtbar (z. B. Mond, Planeten etc.). Ihnen gegenüber stehen die Spiegel, glatte Flächen, welche ein Bild des lichtaussendenden Körpers entwerfen. Unter Bild eines Punktes versteht man nämlich den Punkt, an dem die von jenem ausgehenden Lichtstrahlen sich wieder vereinigen. Da nun ein Gegenstand aus vielen Punkten zusammengesetzt gedacht werden kann, ist die Größe seines Bildes durch die Bilder seiner äußersten Punkte bestimmt. Wenn sich nun die Lichtstrahlen wirklich vor dem Spiegel schneiden, so daß das Bild auch objektiv nachzuweisen ist, indem man es z. B. auf einem Schirm auffängt, so heißt es reell. Vereinigen sich aber die Strahlen nicht wirklich, sondern liegt der Punkt, von dem sie scheinbar ausgehen, hinter dem Spiegel, so heißt das Bild virtuell oder imaginär. Ein solches, wie es z. B. Planspiegel liefern, kann man natürlich nicht auffangen. Reelle Bilder sind stets umgekehrt, virtuelle aufrecht. Betreffs der Spiegel sei noch bemerkt, daß die gewöhnlichen Spiegel so hergestellt werden, daß eine Glasplatte auf der Rückseite mit einer Schicht von Zinnamalgam belegt wird. Weil aber sowohl an dieser wie an der Vorderfläche Reflexion stattfindet, sind die Metallspiegel vorzuziehen. — Die Hauptsätze der Reflexion sind noch einmal folgende [cf. § 63]:

- 1) Einfallender Strahl, Einfallslot und reflektierter Strahl liegen in einer Ebene.
- 2) Der Reflexionswinkel ist gleich dem Einfallswinkel.

§ 111. **Planspiegel.** Ebene spiegelnde Flächen erzeugen Bilder, die dem Gegenstand symmetrisch sind und so weit hinter dem Spiegel liegen, wie der Gegenstand vor ihm. Dieselben sind also virtuell

¹ *virtus* Kraft, Wirkung; also Phänomene, die wie Bilder wirken, ohne durch Vereinigung von Lichtstrahlen entstanden zu sein.

Ein Auge in c (Fig. 66) erblickt den Gegenstand a , wenn es in die Richtung cb sieht, und zwar in a' . Aus derselben Figur geht auch hervor, daß beim Planspiegel die gegenseitige Lage der Lichtstrahlen nicht geändert wird. Divergierende Strahlen z. B. bleiben divergent.

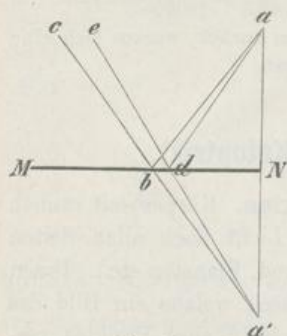


Fig. 66.

Anwendung finden Planspiegel, um Lichtstrahlen eine andere Richtung zu geben. Man kann durch sie „um die Ecke“ sehen. Ihre Verwendung zu den wichtigen Spiegelablesungen beruht darauf, daß die Winkelgeschwindigkeit des reflektierten Strahls doppelt so groß ist wie die des Spiegels selbst. Ist also z. B. an einer Magnetnadel ein kleiner Spiegel befestigt, auf den Licht fällt, so lassen sich auch kleine Ausschläge durch die doppelt so großen Exkursionen des reflektierten Strahls leicht erkennen.

Es sei (Fig. 67) MN die ursprüngliche Lage des Spiegels, ab der einfallende, bc der reflektierte Strahl, bd das Einfallslot. Wird MN um φ in die neue Lage $M'N'$ gedreht, so bewegt sich das Einfallslot um $\angle \delta = \varphi$, der reflektierte Strahl um $\angle \gamma$. Bezeichnet man $\angle abc$ mit α , so ist $\angle \delta = \angle abd' - \angle abd = \frac{\alpha + \gamma}{2} - \frac{\alpha}{2} = \frac{\gamma}{2}$.

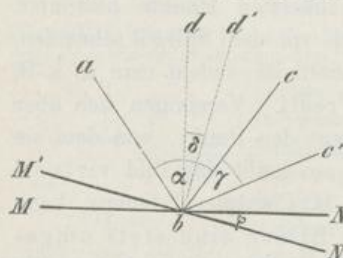


Fig. 67.

Ähnlich ist das Prinzip des Spiegelsextanten, welcher dazu dient, den Winkel zu messen, den 2 Gegenstände mit dem Auge des Beobachters bilden, ohne daß dieser fest zu stehen braucht. Er ist daher z. B. unentbehrlich für die See.

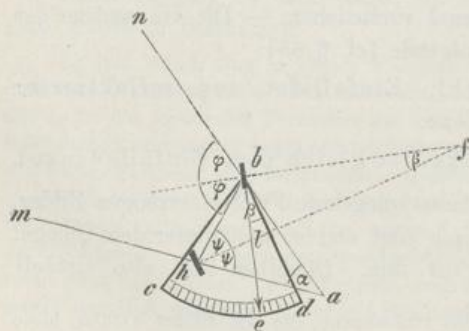


Fig. 68.

Es seien z. B. m und n (Fig. 68) zwei Sterne, deren Sehwinkel α gemessen werden soll. m kann von dem Auge in a über den feststehenden, bd parallelen, Spiegel h hinweg direkt gesehen werden. Dann wird der Zeiger bc und zugleich auch der an ihm bei b befestigte Spiegel so gedreht, daß die von n ausgehenden Strahlen nach zweimaliger Reflexion an den Spiegeln in b und h ebenfalls nach

a gelangen. Der an der Skala cd direkt ablesbare Winkel β , den der Zeiger dabei zurückgelegt hat, ist nun gleich der Hälfte des gesuchten Schwinkels α . Errichtet man nämlich in b und h die Einfallslote und verlängert sie bis zum Schnittpunkte in f , so ist zunächst $\angle hfb = \beta$, weil beide $\angle flb$ zu einem Rechten ergänzen. Ferner ist $\angle \varphi = \beta + \psi$, $\angle 2\varphi = \alpha + 2\psi$. Daraus folgt $\alpha = 2\beta$.

§ 112. **Sphärische Spiegel.** Den Planspiegeln stehen die gekrümmten gegenüber, die entweder konkav (Hohlspiegel) oder konvex sind. Hier sollen nur die kugelförmig gekrümmten betrachtet werden. Der Mittelpunkt c (Fig. 69) der Kugel, zu welcher ein solcher Spiegel vervollständigt werden kann, heißt geometrischer oder Krümmungsmittelpunkt, die Mitte o der spiegelnden Fläche optischer Mittelpunkt oder Scheitel, die Verbindungslinie beider Hauptachse. Zieht man von den Punkten, in denen zwei Strahlen den Spiegel treffen, die Radien, so heißt der Winkel zwischen diesen die Öffnung (Apertur) des Spiegels. Jeder Strahl, der durch den geometrischen Mittelpunkt geht, also auch die Hauptachse, heißt Hauptstrahl und wird in sich selbst reflektiert, weil er ja als Radius senkrecht auf dem betreffenden Teil des Spiegels steht. Alle Strahlen parallel der Hauptachse, gehen nach der Reflexion durch den sog. Brennpunkt (focus) f , der in der Mitte zwischen optischem und geometrischem Mittelpunkte liegt. Mittels dieser beiden Sätze lassen sich alle Bilder konstruieren. Bezeichnet man nun die Entfernung eines Gegenstandes vom Spiegel mit a , die seines Bildes mit b , die des Brennpunkts (die sog. Brennweite) mit f , so gilt ganz allgemein das Gesetz:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

d. h. die Größe des Bildes verhält sich zu der des Gegenstandes wie die Bildweite zur Gegenstandsweite.

§ 113. **Bilder der Konkavspiegel.** Aus dem Spiegelgesetz ergibt sich sofort, daß das Bild eines unendlich fernen Gegenstandes im Brennpunkte liegen muß. Denn dann ist $\frac{1}{\infty} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$, folglich $b = f$. Daraus folgt, daß Hohlspiegel als Brennspiegel wirken können, indem sie die Strahlen der Sonne im Brennpunkte konzentrieren. Umgekehrt hat ein Gegenstand im Brennpunkt sein Bild in der Unendlichkeit, d. h. die von ihm ausgehenden Strahlen verlassen

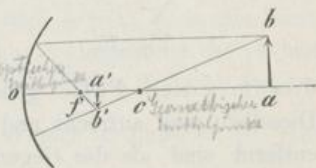


Fig. 69.

den Spiegel nach der Reflexion in paralleler Richtung. Hierauf beruht die Anwendung von Hohlspiegeln in Leuchttürmen etc. Ist der Gegenstand zwischen Unendlichkeit und geometrischem Mittelpunkt, so liegt das Bild zwischen diesem und dem Brennpunkte. Auch hier ist wieder die Umkehrung möglich. Überhaupt sind Bild- und Gegenstand einander stets konjugiert¹, d. h. sie können miteinander vertauscht werden. Ist der Gegenstand im geometrischen Mittelpunkte, so muß auch das Bild dort liegen. In diesen fünf ersteren Fällen handelt es sich stets um reelle Bilder, deren Größe nach dem oben Gesagten leicht zu finden ist. Es zeigt sich, daß je näher der Gegenstand an den Spiegel heranrückt, das Bild sich

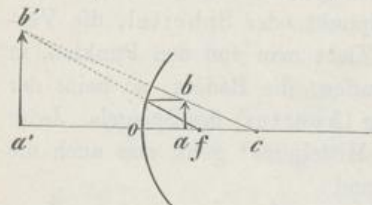


Fig. 70.

um so weiter entfernt. Rückt nun der Gegenstand in die Brennweite hinein, liegt er also zwischen Spiegel und Brennpunkt, so muß das Bild gewissermaßen über die Unendlichkeit hinausgehen, d. h. es wird negativ und erscheint auf der anderen Seite des Spiegels. In diesem einen Falle geben also Hohlspiegel virtuelle Bilder. Dieselben sind aufrecht und vergrößert, da sie ja weiter vom Spiegel entfernt sind als der Gegenstand (Fig. 70). Darauf beruht die Anwendung von Hohlspiegeln als Barbierspiegel etc.

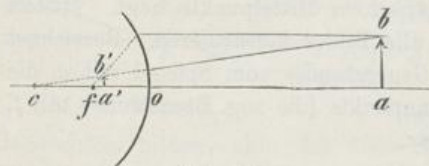


Fig. 71.

hier Bild- und Brennweite negativ sind, so nimmt das Spiegelgesetz die Form an $\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = -\frac{1}{f}$, oder anders geschrieben

$$\frac{1}{b} - \frac{1}{a} = \frac{1}{f}$$

Daraus folgt $b < a$, d. h. das Bild ist stets dem Spiegel näher als der Gegenstand, mithin auch kleiner.

¹ *conjungo* mit einander verbinden.

§ 114. **Bilder der Konvexspiegel.** Konvexspiegel erzeugen stets virtuelle, aufrechte, verkleinerte Bilder (Fig. 71), die um so kleiner sind, je weiter der Gegenstand vom Spiegel entfernt ist. Da

C. Brechung des Lichtes (Dioptrik).

§ 115. **Allgemeine Gesetze der Brechung.** Unter Brechung des Lichtes versteht man die Ablenkung, die ein Lichtstrahl erfährt, wenn er in ein Medium von anderer Dichte dringt. Es gelten hierbei die Gesetze [cf. § 63]:

1) Einfallender Strahl, Einfallslot und gebrochener Strahl liegen in einer Ebene.

2) Der Sinus des Einfallswinkels steht zum Sinus des Brechungswinkels für je 2 Medien in einem konstanten Verhältnis (Gesetz von SNELLIUS).

Dieses Verhältnis $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$ entspricht dem Verhältnis der Lichtgeschwindigkeiten in beiden Medien [§ 63] und wird auch Brechungsexponent (-koeffizient, -index) genannt. Der Brechungsexponent eines Körpers gegen den leeren Raum heißt absoluter Br. Da nun nach der Wellenlehre die Lichtgeschwindigkeit beim Übergang in dichtere Medien kleiner wird¹⁾, so wird $n > 1$, d. h. der Lichtstrahl wird dem Einfallslot zu gebrochen. Umgekehrt ist es beim Übergange in ein dünneres Medium. Geht also z. B. Licht aus Luft in Wasser, so ist $n = \frac{4}{3}$, geht es aus Wasser in Luft, $= \frac{3}{4}$. Dies gilt aber nur für schräge Strahlen, senkrecht auffallende gehen ungebrochen weiter.

Auf der Brechung beruht es z. B., daß Gegenstände im Wasser der Oberfläche näher zu liegen scheinen. Wenn nämlich von b (Fig. 72) Strahlen ausgehen, die nach der Brechung an der Oberfläche des Wassers in das Auge bei a fallen, so wird b in b' gesehen, weil Gegenstände immer in der Blickrichtung, hier also ac , projiziert werden. Ebenso erscheinen durch Brechung in den verschiedenen dichten Luftschichten entfernte Gegenstände höher, ja sie werden unter Umständen sichtbar, selbst wenn sie unter dem Horizonte liegen (z. B. die Sonne). Auf gleichen Ursachen beruhen zum Teil die Fata morgana genannten Luftspiegelungen.

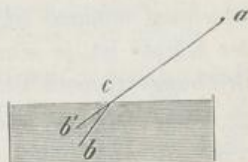


Fig. 72.

§ 116. **Totale Reflexion.** Beim Übergange aus einem dichteren in ein dünneres Medium ist der Brechungswinkel größer als der Ein-

¹ FOUCAULT bewies dies auch experimentell und widerlegte damit die Emanationstheorie. Denn NEWTON hatte in der Annahme, daß sein Leuchtstoff nach dem Gravitationsgesetze von dichteren Körpern stärker angezogen würde, theoretisch das Gegenteil behauptet.

fallswinkel. Fallen die Strahlen schräg genug auf die Grenzfläche, so wird also der gebrochene Strahl parallel der Oberfläche verlaufen, z. B. coc' (Fig. 73), ja sogar vollständig in das alte Medium zurückkehren müssen, z. B. dod' . Diese Erscheinung heißt totale Reflexion. Da hierbei kein Licht durch Absorption oder Lichtdurchtritt verloren geht, so ist klar, daß total reflektierende Flächen undurchsichtig sind, stark glänzen und die vollkommensten

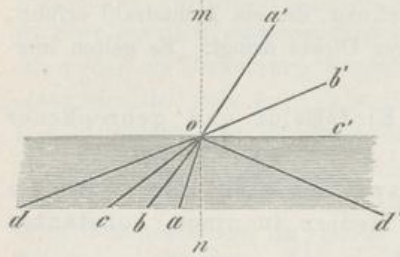


Fig. 73.

Spiegel darstellen. Für Wasser und Luft beträgt der sogenannte Grenzwinkel, d. i. derjenige, von dem an totale Reflexion stattfindet, ca. 48° .

§ 117. **Brechung durch Prismen.** Geht Licht durch einen Körper, der von parallelen Flächen begrenzt ist und beiderseits an dasselbe (dünnere) Medium stößt, so werden die Strahlen an der

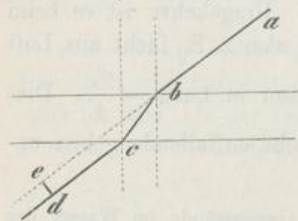


Fig. 74.

Vorderfläche um ebensoviele dem Einfallslotte zu, wie an der Rückfläche von ihm ab gebrochen. Sie behalten also ihre ursprüngliche Richtung bei und werden nur parallel mit sich verschoben (Fig. 74). So sieht man z. B. auch durch Fensterscheiben die Gegenstände nicht an ihrem wirklichen Platze, obwohl hier die Verschiebung minimal ist. Letztere ist nämlich um so größer, je dicker der Körper ist, je schräger die Strahlen auffallen, und je größer der Brechungsexponent ist.

Sind dagegen die Grenzflächen des Körpers gegeneinander geneigt, so bekommen die Lichtstrahlen eine andere Richtung. Dies ist z. B. der Fall beim Prisma¹⁾, wie in der Physik ganz allgemein zwei brechende Flächen heißen, die in der „brechenden“ Kante zusammenstoßen; der Winkel, den sie bilden, heißt „brechender Winkel“. Stellt z. B. Fig. 75 einen Schnitt durch ein Prisma senkrecht zur brechenden Kante, einen sog. Hauptschnitt vor, so wird der Lichtstrahl ab in b nach der Richtung bc und in c nach cd hin gebrochen; es findet also eine Ablenkung des Lichtstrahls nach dem dicken Ende des Prismas zu statt. Licht, welches von einem Gegen-

¹ τὸ πρίσμα eig. „das Gesägte“.

stande in d ausgeht, fällt also in ein Auge bei a . Da dieses aber hierbei in die Richtung ab sieht, projiziert es den Gegenstand nach d' . Ein Prisma wirkt demnach so, daß die Gegenstände nach der brechenden Kante hin verschoben erscheinen. Daraus ergibt sich ohne weiteres die Anwendung prismatischer Gläser für schielende Augen. Der Winkel, den die ein- und austretenden Strahlen miteinander bilden, der sog. Ablenkungswinkel (φ), ist nun, wie sich zeigen läßt, am kleinsten, wenn bc symmetrisch durch das Prisma geht. Dieser kleinste Ablenkungswinkel ist für zwei bestimmte Medien eine konstante Größe; da er außer vom brechenden Winkel nur von dem Brechungs-exponenten abhängt, so dient er zur Bestimmung des letzteren. Flüssigkeiten füllt man dazu in Hohlprismen.

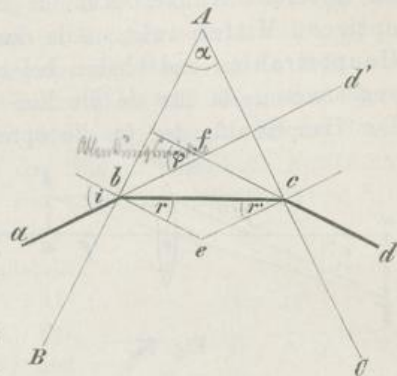


Fig. 75.

Der Brechungsindex ist nämlich $\frac{\sin i}{\sin r}$. Es ist nun stets $\angle cbe + \angle bce = \angle \alpha$ als Supplementwinkel zu $\angle bec$. Beim symmetrischen Durchgange ist aber $\angle cbe = \angle bce$, folglich r und $r' = \frac{\alpha}{2}$. Ferner ist $\angle i = \angle ebc + cbf = \frac{\alpha + \varphi}{2}$; somit $n = \sin \frac{\alpha + \varphi}{2} : \sin \frac{\alpha}{2}$. Um also den Brechungs-exponenten zu finden, hat man nur nötig, nachdem α bestimmt ist, das Prisma auf die kleinste Ablenkung einzustellen und dann φ zu messen.

§ 118. **Brechung durch Linsen.** Unter Linsen versteht man Körper (meist aus Glas), die von 2 gekrümmten Flächen begrenzt sind. Wir betrachten hier nur solche Linsen, deren Begrenzungsflächen kugelförmig bzw. eben sind. Nach der Form unterscheidet man (Fig. 76) bikonvexe (1), plankonvexe (2), konkav-konvexe (3), bikonkave (4), plankonkave (5), konvex-konkave (6). Die Linsen 1–3 sind in der Mitte dicker als am Rande und haben die Eigenschaft, Strahlen, die durch sie hindurchgehen, konvergenter zu machen; sie heißen daher auch Sammellinsen. Umgekehrt sind 4–6 in der Mitte dünner und heißen Zerstreuungslinsen, da sie Divergenz der Strahlen verursachen.

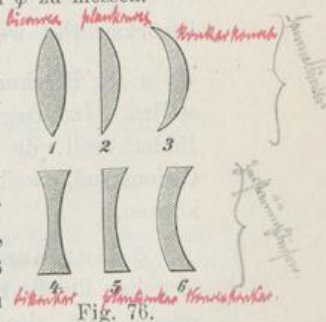


Fig. 76.

Verbindet man die beiden Krümmungsmittelpunkte — so heißen die Zentren der die Linse begrenzenden Kugelflächen — so erhält man die optische Achse. Auf ihr liegt in der Mitte der Linse der optische Mittelpunkt. Alle durch diesen gehende Strahlen heißen Hauptstrahlen und bleiben bei bikonkaven und bikonvexen Linsen ungebrochen, da für sie die Ein- und Austrittsflächen parallel sind. Der Hauptstrahl, der in die optische Achse fällt, bleibt bei allen

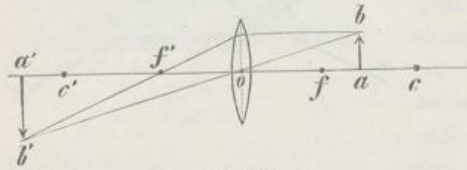


Fig. 77.

Linsen ungebrochen. Alle anderen Strahlen werden sowohl an der Vorder- wie an der Hinterfläche gebrochen.¹ Die beiden Punkte, in denen parallel der optischen Achse auffallende Strahlen sich wirklich oder scheinbar vereinigen, heißen Brennpunkte. Um nun z. B. das Bild des Gegenstandes ab (Fig. 77) zu konstruieren, bestimmt man die Bildpunkte seiner beiden Enden. Das Bild von a muß natürlich auf der optischen Achse liegen. Das Bild von b erhält man, wenn man einmal den zugehörigen Hauptstrahl bb' zieht, und dann den zur optischen Achse parallelen Strahl, der nach der Brechung durch den Brennpunkt f' gehen muß. Der Schnittpunkt beider Strahlen ist der gesuchte Punkt, und $a'b'$ das Bild von ab . Auch für die Linsen gilt wieder die Formel

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f},$$

wo a Gegenstands-, b Bild-, f Brennweite bedeutet. Handelt es sich um ungleiche Krümmungsflächen, und soll das angrenzende Medium berücksichtigt werden, so wird für $\frac{1}{f}$ eingesetzt $(n-1) \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'} \right)$, wo n der Brechungsexponent ist, r und r' die Krümmungsradien vorstellen. Im Gegensatz zu den Spiegeln sind natürlich diejenigen Bilder reell, die auf der anderen Seite der Linse liegen wie der Gegenstand, weil sich ja nur hier Strahlen wirklich vereinigen können.

§ 119. **Konvexlinsen.** Berücksichtigt man diesen Gegensatz, so gelten für die Konvexlinsen die gleichen Regeln wie für die Konkavspiegel. Ist also der Gegenstand unendlich fern, so liegt sein Bild auf der anderen Seite der Linse im Brennpunkte. So kann man

¹ Der Einfachheit halber ist bei den Figuren nur eine einmalige Brechung angenommen.

durch Konvexlinsen die Sonnenstrahlen im Brennpunkte vereinigen und dort brennbare Körper entzünden. Rückt der Gegenstand aus der Unendlichkeit heran, so entfernt sich das Bild auf der anderen Seite immer mehr. Ist der Gegenstand in doppelter Brennweite, so ist auch das Bild in doppelter Brennweite und ebenso groß; denn auch hier ist das Größenverhältnis zwischen Bild und Gegenstand durch das Verhältnis ihres Abstandes von der Linse bedingt. Ist der Gegenstand im Brennpunkte, so rückt das Bild in unendliche Entfernung. In allen diesen Fällen entsteht ein reelles, umgekehrtes Bild. Liegt nun aber der Gegenstand innerhalb der Brennweite, so entsteht auf derselben Seite der Linse ein aufrechtes, vergrößertes Bild, das natürlich virtuell (Fig. 78 $a'b'$) und von der Linse weiter entfernt ist als der Gegenstand. Darauf gründet sich die Anwendung der Lupen, die vergrößerte Bilder in der Weite des deutlichen Sehens erzeugen. Denn die Vergrößerung von Objekten durch Annäherung an das Auge findet seine Grenze dadurch, daß innerhalb des sogenannten Nahpunktes nicht scharf gesehen werden kann.

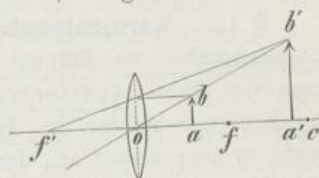


Fig. 78.

Da weitsichtige (hypermetropische) Augen einen kürzeren Längendurchmesser haben als normale, so werden die durch die Linse des Auges entworfenen Bilder hinter die Netzhaut fallen. Gegenstände werden aber nur dann deutlich gesehen, wenn die von ihnen ausgehenden Strahlen sich genau in der Netzhaut schneiden. Es sind hier daher solche Brillen nötig, welche die Strahlen eher zur Vereinigung zwingen, d. h. Konvexgläser.

§ 120. **Konkavlinsen.** Für Konkavlinsen gelten analoge Regeln wie für Konvexspiegel; sie erzeugen also virtuelle Bilder, die hier natürlich auf derselben Seite liegen wie der Gegenstand. Dieselben sind aufrecht und verkleinert (Fig. 79). Der Abstand des Punktes f von der Linse heißt hier Zerstreuungswerte.

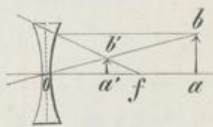


Fig. 79.

Nach dem eben Gesagten ist die Anwendung von Konkavgläsern für kurzsichtige (myopische) Augen, deren Längsachse größer als normal ist, ohne weiteres einleuchtend.

§ 121. **Sphärische Aberration.** Die angeführten Gesetze für Linsen (und auch Spiegel) gelten nur für nahe der Achse einfallende Strahlen, wenn also die „Öffnung“ der Linse, d. h. der Teil zwischen den betreffenden Strahlen, klein ist. Strahlen, die weiter von der

Achse entfernt sind, sogenannte Randstrahlen, werden stärker gebrochen, vereinigen sich also eher. Es existiert dann kein Brennpunkt, sondern eine Brennlinie (Diacustica) bzw. Brennfläche oder Brennraum. Dadurch werden natürlich die Bilder verschwommen. Zur Vermeidung dieses Übelstandes, der sogenannten späratischen Aberration, gebraucht man Blenden. Auch die Iris des Auges ist eine solche Blende. Ferner kann man durch geeignete Kombination mehrerer Linsen ein sogenanntes aplanatisches System herstellen, welches von diesem Fehler frei ist.

§ 122. **Kardinalpunkte.** Liegen mehrere brechende Medien hintereinander, so daß sie die Achse gemeinsam haben, so spricht man von einem zentrierten System. Ein solches bilden z. B. die brechenden Schichten des Auges. Gerade bei diesem kommt es nun nicht so sehr darauf an, den Gang der Strahlen durch die einzelnen Schichten zu verfolgen, sondern ihre Richtung im letzten Medium (hier der Glaskörper) zu kennen. Wie GAUSS zeigte, ist nun die Lage der Bilder in solchen zentrierten Systemen durch 3 Paar Kardinalpunkte resp. die durch sie senkrecht zur Achse gelegten Ebenen bestimmt. Diese durch Rechnung zu findenden Punkte sind:

1) 2 Brennpunkte (Fig. 80, F' u. F''). Strahlen, die im ersten Medium parallel der Achse sind, gehen im letzten durch den (zweiten) Brennpunkt und umgekehrt.

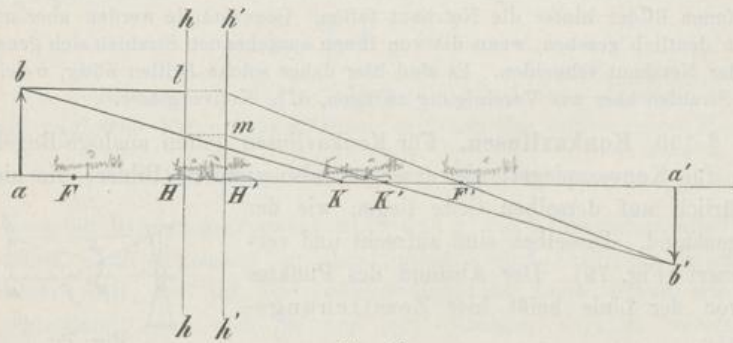


Fig. 80.

2) 2 Hauptpunkte (H u. H'). Ein Strahl, der vor der Brechung in irgend einer Richtung durch den ersten Hauptpunkt geht, geht nach der Brechung parallel verschoben durch den zweiten. In den durch sie senkrecht zur Achse gelegten Hauptebenen ($h h$ u. $h' h'$) entsprechen daher Bildern der ersten gleichgroße und gleichgerichtete in der zweiten.

3) 2 Knotenpunkte (K u. K'). Jeder Strahl, der ohne Brechung durch den ersten gehen würde, geht nach der Brechung parallel mit sich verschoben durch den zweiten.

Um z. B. das Bild von ab zu finden, zieht man von b aus den Richtungsstrahl bK und zur Achse parallel bl . Verschiebt man beide Strahlen mit sich selbst parallel bis zur zweiten Hauptebene, dann geht der zur Achse parallele Strahl durch den zweiten Brennpunkt F' , der andere durch den zweiten Knotenpunkt K' . Im Schnittpunkt ihrer Verlängerung liegt das Bild von b , während das von a auf der Hauptachse liegt.

§ 123. **Camera obscura.** Setzt man vor die Öffnung der optischen Kammer [§ 107] eine Sammellinse, so entsteht auf der gegenüberliegenden Wand ein viel schärferes reelles Bild des betreffenden Gegenstandes. Der Apparat heißt dann Camera obscura. Ihre Wichtigkeit beruht darauf, daß sie von körperlichen Gegenständen Bilder entwirft, die in einer Ebene liegen. Sie ist der Hauptbestandteil aller photographischen Apparate, kann aber auch zum Zeichnen benutzt werden, wenn man die einfallenden Strahlen an einem um 45° geneigten Spiegel reflektieren läßt, so daß das Bild dann horizontal liegt. Durch Verschiebung der Linse können sowohl ferne, wie nahe Gegenstände „eingestellt“ werden, natürlich nicht gleichzeitig.

Auch das Auge ist eine solche Camera obscura. Hier wird aber die Einstellung für verschiedene Entfernungen nicht dadurch bewirkt, daß die Linse der Netzhaut genähert oder von ihr entfernt wird; sondern dieselbe plattet sich durch die Tätigkeit eines Muskels beim Sehen in die Ferne ab, beim Sehen in die Nähe wölbt sie sich mehr, ein Vorgang, der Accommodation heißt.

§ 124. **Mikroskop.** Das einfache Mikroskop¹ oder die Lupe ist bereits [§ 119] erwähnt. Das zusammengesetzte (Fig. 81) besteht im wesentlichen aus zwei Linsen. Die dem Objekt zugewandte, das Objektiv l , ist eine Sammellinse von kleiner Brennweite. Sie entwirft von einem kleinen Gegenstande ab , der etwas außerhalb des Brennpunktes liegt, ein umgekehrtes, vergrößertes, reelles Bild $a'b'$, das durch eine zweite, dem Auge zugewandte Linse, das Okular² l' , nochmals vergrößert wird. Letzteres wirkt hierbei als Lupe; das vom Objektiv entworfene reelle Bild muß daher in die Brennweite des Okulars fallen. Die Gesamt-

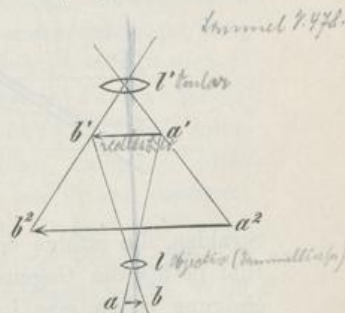


Fig. 81.

¹ μικρός klein, σκοπέω blicken.

² oculus Auge.

vergrößerung eines Mikroskops ist das Produkt aus Objektiv- und Okularvergrößerung. Für das Erkennen von Strukturfeinheiten des Gegenstandes kommt es indes wesentlich auf die Vergrößerung durch das Objektiv an.

§ 125. **Fernrohr.** Die Fernrohre oder Teleskope wirken teils durch Spiegel (Reflektoren), teils durch Linsen (Refraktoren).

Lammert 9.483

Von den Spiegelteleskopen sei das von NEWTON erwähnt (Fig. 82). Hier wird von einem fernen Gegenstande durch einen Hohlspiegel nahe seinem Brennpunkte ein umgekehrtes, reelles, verkleinertes Bild erzeugt. Bevor sich



Fig. 82.

die Strahlen aber wirklich vereinigen, werden sie durch einen um 45° geneigten Planspiegel seitlich dem Auge des Beobachters zugeführt und durch eine Lupe betrachtet.

Zur zweiten Art gehört das Kepler'sche oder astronomische Fernrohr. Hier entsteht durch eine Konvexlinse von großer Brennweite ein umgekehrtes, verkleinertes, reelles Bild des Gegenstandes, das durch eine Lupe vergrößert wird, also umgekehrt bleibt. Schaltet man zwischen Objektiv und Okular ein System von Konvexlinsen ein, so erhält man natürlich aufrechte Bilder (terrestrisches Fernrohr).

Lammert 9.481

Bei den holländischen oder Galilei'schen Fernrohren (Fig. 83), zu denen auch die Operngucker gehören, werden die

Lammert 9.481

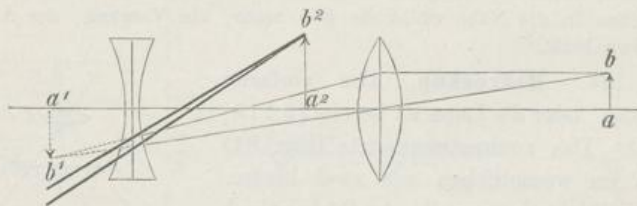


Fig. 83.

Strahlen, die infolge der Brechung durch eine Sammellinse ein reelles Bild ($a^1 b^1$) des Gegenstandes (ab) erzeugen würden, vor ihrer Vereinigung durch eine konkave Linse aufgefangen und zerstreut. Es entsteht daher ein aufrechtes, vergrößertes, virtuelles Bild ($a^2 b^2$).

§ 126. Stereoskop.

Die Fähigkeit, Gegenstände als Körper, also nach drei Dimensionen, wahrzunehmen, wird erst allmählich gelernt. Hierbei wirken verschiedene Umstände mit. Einmal bedarf es einer verschiedenen Akkommodation, um das vordere und hintere Ende eines Gegenstandes deutlich zu sehen, und die dazu nötige Arbeit des Akkomodationsmuskels wird, wenn auch unbewußt,

empfunden; es handelt sich also hier um eine Art des sogenannten Muskelgeföhls. Ferner erhält man durch seitliche Bewegungen des Kopfes nacheinander verschiedene Ansichten des Gegenstandes, die miteinander verglichen werden. Auf diese Weise kann man auch mit einem Auge körperlich sehen. Das beste Hilfsmittel besteht aber wohl darin, daß beim binokularen Sehen das rechte Auge einen etwas anderen Eindruck von einem Objekte erhält wie das linke, und daß diese beiden gleichzeitigen Eindrücke im Gehirn zu einem einzigen verschmolzen werden.

Auf letzterer Tatsache beruht das Stereoskop.¹⁾ Sein Prinzip ist, daß zwei (flächenhafte) Bilder desselben Gegenstandes, die dem Eindruck des rechten bezw. linken Auges von demselben entsprechen, übereinander gelagert werden, und daß dadurch ein körperliches Bild entsteht. Das Stereoskop nach BREWSTER ist nun ein Kasten, an dessen Boden das Doppelbild liegt; eine Scheidewand bewirkt, daß jedes Auge nur das zugehörige Bild sieht. Die Übereinanderlagerung der beiden Bilder erfolgt durch zwei Hälften einer Konvexlinse, die mit den brechenden Kanten gegenüberliegen (Fig. 84) und wie Prismen wirken. Gleichzeitig dienen sie aber als Lupen zur Vergrößerung; natürlich muß dazu das Doppelbild in ihrer Brennweite liegen.²⁾

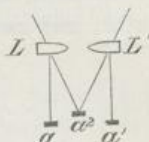


Fig. 84.

D. Dispersion, Absorption, Spektralanalyse.

§ 127. **Einfaches und zusammengesetztes Licht.** Als NEWTON ^{Verbreiterung} Sonnenlicht, das durch einen Spalt in ein dunkles Zimmer drang, durch ein Prisma gehen ließ und dann auf einem Schirm auffing, fand er, daß die Lichtstrahlen nicht nur abgelenkt, sondern auch in eine Reihe kontinuierlich ineinander übergehende Farben zerlegt waren. Die Gesamtheit derselben nannte er Spektrum³⁾ und unterschied besonders Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violett. Ließ er eine dieser Spektralfarben nochmals ein Prisma passieren, so fand zwar wieder eine Ablenkung statt, aber die Farbe blieb dieselbe. Ließ er alle Farben noch durch ein zweites Prisma mit entgegengesetzter brechender Kante gehen, so entstand wieder Weiß. Diese Vereinigung der Spektralfarben zu Weiß kann man auch durch eine Sammellinse bewirken oder durch schnelle Rotation einer Scheibe, auf der die einzelnen Farben aufgetragen sind (Farben-

¹ στερεός starr, fest, körperlich.

² Übrigens kann man auch durch Übung ohne Prismen oder Linsen zwei getrennte Gegenstände zur Deckung bringen.

³ eig. das Bild in der Seele, von *specio* schauen.

kreisel); in letzterem Falle erfolgt die Verschmelzung der Farben zu Weiß erst im Gehirn. Vereinigt man nicht alle Farben des Spektrums, so entsteht nicht Weiß, sondern eine sog. Mischfarbe. Nach Ausschaltung von Rot z. B. entsteht Grün. Rot und Grün zusammen geben also Weiß. Je zwei Farben, bei denen dies der Fall ist, heißen Komplementärfarben.

Die Erklärung dieser Erscheinungen ist nach NEWTON folgende: Die Spektralfarben sind als einfaches oder homogenes Licht zu betrachten, d. h. sie bestehen nur aus Wellen gleicher Schwingungszahl; und zwar hat Rot die kleinste, Violett die größte Schwingungszahl.

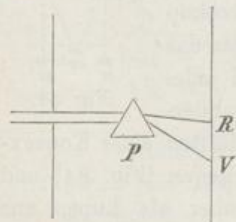


Fig. 85.

Da sich nun alle Farben gleich schnell fortpflanzen, so folgt aus der Formel $v = n\lambda$, [§ 61] daß die roten Strahlen die größte, die violetten die kleinste Wellenlänge haben. Im weißen Lichte sind alle Wellenformen enthalten, es ist also zusammengesetztes Licht. Geht es durch einen brechenden Körper, namentlich durch ein Prisma, so werden seine einzelnen Bestandteile verschieden stark gebrochen, am stärksten

das Violett, am wenigsten das Rot (Fig. 85); sie werden also dadurch voneinander getrennt, zerstreut (dispargiert).¹⁾

¹⁾ Da die Brechung von der Fortpflanzungsgeschwindigkeit abhängt, diese aber für alle Farben gleich ist, so besteht hier eigentlich ein Widerspruch. Man hilft sich mit der Annahme, daß dem Äther zwischen materiellen Molekülen durch Reibung ein Bewegungshindernis entsteht, das mit der Schwingungszahl wächst. — Es sei hier übrigens kurz darauf hingewiesen, daß es auch andere Erklärungen der Farben gibt. So hat GOETHE eingehende Studien darüber veröffentlicht, die freilich stark angefochten wurden. Er leitet die Farben davon ab, daß entweder Licht durch ein trübes Medium gesehen wird, oder daß hinter einem beleuchteten trüben Medium sich ein dunkler Hintergrund befindet. Im ersten Falle erscheint das Licht bei geringerer Trübung des Mediums gelb und geht mit zunehmender Trübung in gelbrot und rot über; im zweiten Falle sieht man eine blaue Farbe, die mit abnehmender Dichte des Mediums ins Violette übergeht. In neuester Zeit hat O. ROSENBACH diese Ansicht in gewissem Sinne wieder aufgenommen; er faßt Helligkeit und Dunkelheit als Fundamentalreize auf, die entgegengesetzt gerichtete Bewegungen der Schnervenmoleküle bewirken. Aus ihrer Mischung in verschiedenen Verhältnissen sind alle Farben abzuleiten, wie er auch experimentell durch seine Farbensirene nachwies. Dies ist eine durchlöcherne Pappscheibe, deren dem Beschauer zugewandte Seite ganz dunkel (schwarz) ist, und die vor einer gleichmäßig beleuchteten weißen Fläche verschieden schnell rotiert.

§ 128. **Achromatismus.** Mit jeder Brechung ist eine (wenn auch nicht immer sehr auffallende) Dispersion verbunden. Da nun bei verschiedenen Substanzen das Verhältnis zwischen beiden Vorgängen nicht dasselbe ist, so kann man durch passende Kombinationen (z. B. von Crown- und Flintglas) Prismen herstellen, die zwar noch Brechungsvermögen besitzen, aber von Farbenzerstreuung frei sind, sog. achromatische Prismen, andererseits solche mit Dispersionsvermögen aber ohne Brechkraft, sog. geradsichtige Prismen. Ebenso läßt sich auch bei Linsen die störende Dispersion, hier chromatische Aberration genannt, durch Vereinigung einer Flint- und Crown Glaslinse beseitigen.

§ 129. **Körperfarben.** Die Farbe eines Körpers beruht auf den reflektierten resp. durchgelassenen Strahlen. Absorbiert der Körper von den auf ihn fallenden Strahlen keine, so ist er entweder weiß oder ganz durchsichtig, je nachdem er alle Strahlen reflektiert oder ganz durchläßt. Absorbiert er alle Strahlen, so sieht er schwarz aus. Absorbiert er nur bestimmte Strahlen, so nimmt er die entsprechende Komplementärfarbe an, weil die absorbierten Strahlen natürlich im reflektierten bzw. durchgelassenen Lichte fehlen. Es folgt daraus, daß ein roter Körper in rotem Lichte rot, in grünem schwarz aussieht, daß ein rotes und ein dahinter befindliches grünes Glas eine undurchsichtige Verbindung geben etc.

§ 130. **Spektralanalyse.** Da das Spektrum eines Körpers nichts anderes ist, wie die Nebeneinanderstellung der von ihm ausgesandten Lichtstrahlen, geordnet nach ihren Schwingungszahlen, so ist klar, daß man aus der Beschaffenheit desselben auf den Körper schließen kann. Diese Art der Untersuchung, die sich durch äußerste Feinheit auszeichnet, heißt daher Spektralanalyse. Man gebraucht hierfür den Spektralapparat von KIRCHHOFF und BUNSEN.

Durch einen schmalen Spalt des sog. Kollimatorrohres *A* (Fig. 86) dringen Strahlen von dem zu untersuchenden Körper ein und werden durch eine Sammellinse parallel auf das Prisma *P* geworfen, dort dispergiert und zugleich in das Fernrohr *B* gelenkt. Dort entsteht durch das Objektiv ein umgekehrtes Bild des Spektrums, das dann durch eine Lupe betrachtet wird. Gleichzeitig wird durch das Prisma in das Fernrohr das Bild einer Skala geworfen, welche am

Guttmann, Grundriß der Physik. 3. Aufl.

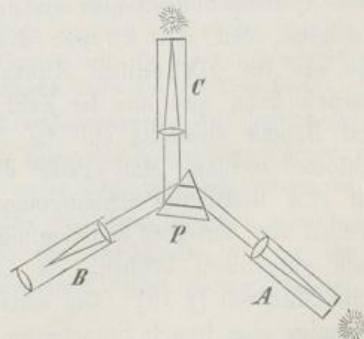


Fig. 86.

vorderen Ende des sog. Skalenrohres *C* in Glas eingeritzt ist; dieselbe dient zur Orientierung im Spektrum.

§ 131. **Emissionsspektra.** Wenn Körper in glühendem Zustande selbst Strahlen aussenden, liefern sie sog. Emissionsspektra.

Um Körper glühend zu machen, bringt man sie entweder in die Flamme eines Bunsenbrenners, oder wenn diese Hitze nicht genügt, in ein Knallgasgebläse, oder endlich in den elektrischen Flammenbogen. Um Gase leuchtend zu machen, schließt man sie sehr verdünnt in sog. GEISSLER'schen Röhren (§ 188) ein und sendet elektrische Funken hindurch.

Die Natur der Spektra ist abhängig von der molekularen Beschaffenheit des betreffenden Körpers. Da bei festen und flüssigen Körpern im Zustande der Weißglut den dicht zusammengedrängten Molekülen alle möglichen Schwingungszahlen zukommen, so werden alle möglichen Farben von ihnen ausstrahlen; es entsteht daher ein kontinuierliches Spektrum, bei dem die Farben ineinander übergehen. Je weiter die Moleküle voneinander entfernt sind, desto eher können sie die ihnen eigentümlichen Schwingungen ausführen, ohne durch Zusammenprall mit anderen gestört zu werden. Es haben daher Dämpfe und Gase bei mäßig hoher Temperatur und Verdünnung ein linienförmiges Spektrum. Letzteres ist besonders charakteristisch für Elemente, ersteres für chemische Verbindungen.

§ 132. **Absorptionsspektra.** Wird von weißem Licht, das durch einen Körper hindurchgegangen ist, ein Spektrum entworfen, so zeigen sich an gewissen Stellen dunkle Linien oder Bänder, die den vom Körper absorbierten Strahlen entsprechen. Dies sind sogenannte Absorptionsspektra. Um sie zu erhalten, stellt man den betreffenden Körper zwischen eine weiße Lichtquelle und das Kollimatorrohr des Spektralapparates; Flüssigkeiten bringt man hierzu in Gefäße mit planparallelen Glaswänden. Einen Wert bekamen diese Untersuchungen aber erst, als KIRCHHOFF das berühmte Gesetz aufstellte, daß alle Körper diejenigen Strahlen absorbieren, die sie im glühenden Zustande selbst aussenden würden. Danach kann also aus der Zahl und Stellung der schwarzen Linien und Bänder ebenfalls auf die Natur der betreffenden Körper geschlossen werden. Man erklärt dies dadurch, daß die Körpermoleküle auf eine bestimmte Schwingungszahl abgestimmt sind, daß sie also Wellen von derselben Schwingungszahl am leichtesten aussenden und auch aufnehmen können. Es sind mithin analoge Verhältnisse wie beim Mittönen (§ 70). Um einen Vergleich zu gebrauchen, so wird derjenige eine fremde Sprache am besten verstehen (absorbieren), der sie selbst sprechen (emittieren) kann. Von den wichtigen Folgerungen

aus dem KIRCHHOFF'schen Gesetze sei hier nur die Erklärung der sogenannten Fraunhofer'schen Linien angeführt, das sind die äußerst zahlreichen dunklen Linien im Sonnenspektrum. Nach dem oben Gesagten muß es sich hier um ein Absorptionsspektrum handeln. Man nimmt daher an, daß die Strahlen der eigentlichen Sonne erst durch eine Gashülle, die sogenannte Photosphäre, dringen müssen, bevor sie in den Weltraum gelangen. Die FRAUNHOFER'schen Linien, die mit großen lateinischen Buchstaben (die schwächeren mit kleinen) bezeichnet werden, dienen zur Orientierung im Spektrum.

*Samml. 9. 491.
R-H.*

§ 133. **Chemische Wirkung des Lichtes.** Nach dem Gesetze von der Erhaltung der Energie kann die Energie der absorbierten Strahlen nicht verloren gehen. In der Tat geht sie über in Wärme und chemische Prozesse. Diese Wirkung haben besonders die unsichtbaren Teile des Spektrums, d. h. diejenigen Strahlen, die nicht mehr oder noch nicht als Licht empfunden werden. Die Wärmewirkung kommt den ultraroten, die chemische den ultravioletten (sogenannten aktinischen¹) Strahlen zu. Von den chemischen Wirkungen des Sonnenlichts sei z. B. erwähnt die Umwandlung des giftigen gelben Phosphors in den unschädlichen roten, die Vereinigung von Wasserstoff und Chlor zu Salzsäure, der Aufbau komplizierter chemischer Verbindungen in Pflanzen. Hierher gehört auch die Photographie.

Die ersten Lichtbilder waren die sog. Daguerreotypien². Hier wirkte das Licht auf Jodsilberplatten; die vom Licht getroffenen Stellen bekamen die Fähigkeit, Quecksilberdämpfe zu kondensieren. Um das so entstandene Bild zu „fixieren“, d. h. weitere Umsetzungen der lichtempfindlichen Platte zu verhüten, wurde das überschüssige Jodsilber mit unterschwefligsaurem Natron abgespült. — Bei der modernen Photographie wird im wesentlichen eine mit Halogensilber überzogene Glasplatte kurze Zeit exponiert. Durch Behandlung mit reduzierenden Substanzen (sog. „Entwicklern“) entsteht an den belichteten Stellen schwarzes metallisches Silber. Nach dem Fixieren erhält man somit ein negatives Bild, d. h. die hellen Stellen des Gegenstandes sind dunkel und umgekehrt. Drückt man dies Negativ auf lichtempfindliches Papier und setzt dieses dem Tageslicht aus, so bleiben die den dunklen Stellen des Negativs entsprechenden Partien hell, die den hellen des Negativs entsprechenden werden dunkel; es entsteht somit ein positives Bild.

§ 134. **Fluoreszenz und Phosphoreszenz.** Auf der Absorption gewisser Strahlen beruht auch die Eigenschaft mancher Körper, z. B. des Flußspats, Chininsulfats etc., unter dem Einflusse intensiver Beleuchtung selbstleuchtend zu werden und dann Strahlen auszusenden, deren Farbe sowohl von derjenigen der Lichtquelle, wie von der gewöhnlichen Farbe des Körpers abweicht. Hält dieser Zustand nur

¹ *ἀκτις* Strahl.

² Nach dem Erfinder DAGUERRE.

während der Bestrahlung an, so heißt er Fluoreszenz¹, während das Nachleuchten Phosphoreszenz genannt wird. Ein phosphoreszierender Körper ist z. B. der Diamant [cf. § 106]. Daß es sich um eine Absorptionserscheinung hierbei handelt, geht daraus hervor, daß Strahlen, die durch einen fluoreszierenden Körper gegangen sind, nicht wieder Fluoreszenz erregen können. Die wirksamen Strahlen sind hier die mit großer Schwingungszahl, welche dadurch, daß sie ihre Bewegung teilweise an materielle Moleküle abgeben, eine Verminderung ihrer kinetischen Energie erfahren und dadurch in Strahlen von größerer Wellenlänge, aber kleinerer Schwingungszahl übergehen. Fluoreszierende Körper sind demnach ein Mittel, die sonst unsichtbaren ultravioletten Strahlen sichtbar zu machen.

E. Interferenz und Polarisation.

§ 135. **Fresnel's Spiegelversuch.** Eine Hauptstütze der Wellentheorie des Lichtes ist die Tatsache, daß unter Umständen Licht zu zu Licht gefügt, Dunkelheit ergibt. Dies zeigt sehr schön der berühmte Spiegelversuch von FRESNEL:

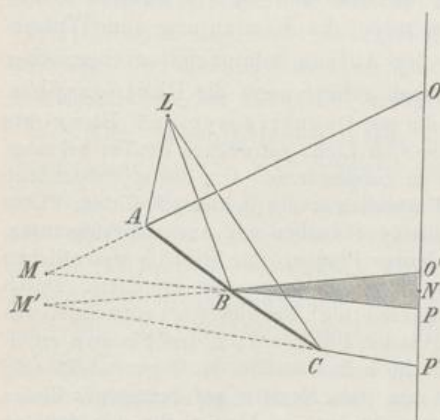


Fig. 87.

Fallen von der Lichtquelle *L* (Fig. 87) Strahlen auf die unter sehr stumpfem Winkel zusammenstoßenden Spiegel *AB* und *BC*, so scheinen die reflektierten Strahlen von den Bildpunkten *M* und *M'* zu kommen. Die davon ausgehenden Lichtkegel *OMP* und *O'M'P'* haben nun das Stück *O'BP* gemeinsam, und in diesem entstehen bei Anwendung von einfarbigem Lichte abwechselnd dunkle und helle Streifen, die auf einem Schirme aufgefangen werden können.

Diese dunklen Streifen sind der Ausdruck dafür, daß daselbst Wellen mit entgegengesetzten Phasen zusammentreffen. Da *N*, die Mitte von *O'P*, von *M* und *M'* gleichweit entfernt ist, muß dort Helligkeit herrschen, weil hier die Wellen gleiche Phasen haben. Bei Anwendung von rotem Licht sind die dunklen Streifen weiter voneinander entfernt als beim violetten Licht. Da nämlich die Wellenlänge

¹ Weil zuerst beim Fluorkalzium (Flußspat) entdeckt.

des ersteren größer ist, entsteht auch die zur Auslöschung nötige Phasendifferenz von $\frac{1}{2}$ Wellenlänge erst nach einer längeren Strecke. Bei der Anwendung von weißem Lichte, das ja alle Strahlen in sich vereint, erhält man in N wieder eine weiße Stelle, da ja dort keine Phasendifferenz besteht. Seitlich davon werden zuerst die violetten Strahlen vernichtet, dann allmählich die anderen, entsprechend ihrer Wellenlänge. Die an den betreffenden Stellen übrig bleibenden Strahlen ergeben dann durch Mischung die sogenannten Interferenzfarben.

§ 136. **Andere Interferenzerscheinungen.** Auf Interferenz beruhen viele prächtige Farbenerscheinungen, z. B. die Farben dünner Blättchen. Hier wird nämlich das Licht sowohl an der vorderen, wie an der hinteren Fläche reflektiert (Fig. 88) und kommt dann zur Interferenz. Der Gangunterschied wird hier einmal dadurch bedingt, daß der an der Hinterfläche reflektierte Strahl einen längeren Weg, hier abc , zurücklegt, und ferner entsteht ja auch durch Reflexion an einem dichteren Medium ein Gangunterschied von $\frac{1}{2}$ Wellenlänge [cf. § 63]. Je nach der Dicke des Blättchens wird nun eine bestimmte Phasendifferenz eintreten; in homogenem Lichte wird es daher hell oder dunkel, in weißem in einer bestimmten Farbe erscheinen. Ändert sich die Dicke der betreffenden Schicht, so tritt auch ein Wechsel in der Helligkeit und Dunkelheit bzw. den Farben ein. Dies ist z. B. der Fall bei Seifenblasen und bei den sogenannten Newton'schen Ringen. Diese entstehen, wenn auf eine ebene Glasplatte eine schwach gekrümmte Konvexlinse gedrückt wird; dann stellt die Luft zwischen beiden eine dünne Schicht vor, deren Dicke gleichmäßig zunimmt. Es entstehen daher in homogenem Lichte helle und dunkle Ringe, in weißem farbige.

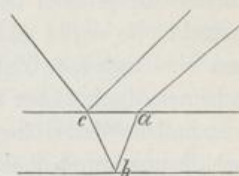


Fig. 88.

§ 137. **Beugung.** Mit Interferenz verbunden ist auch die Beugung oder Diffraktion des Lichts um den Rand undurchsichtiger Körper [vgl. § 62]. Es sei z. B. AB (Fig. 89) ein schmaler Spalt, durch den homogenes Licht auf den Schirm MN fällt, dann wird auf der AB gerade gegenüberliegenden Stelle C Helligkeit herrschen, da alle Elementarwellen dort in gleicher Phase ankommen (vorausgesetzt ist ein genügender Abstand zwischen AB und MN , so daß die Randstrahlen AC und BC als parallel gelten können). In allen anderen Punkten kommen die Strahlen mit einem Gangunterschied an. Beträgt derselbe z. B. in D für die Randstrahlen AD

und BD eine halbe Wellenlänge, dann müssen diese sich aufheben, die dazwischenliegenden Strahlen aber nicht; es wird daher auch in

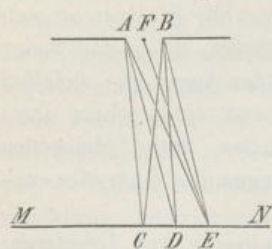


Fig. 89.

D Helligkeit herrschen, wenn auch geringere als in C . In E dagegen, wo die Randstrahlen AE und BE mit einer Wegdifferenz von einer ganzen Wellenlänge ankommen, muß Dunkelheit herrschen. Denn wenn F die Mitte von AB vorstellt, so heben sich die Strahlen AE und FE gegenseitig auf, und ebenso der Reihe nach die zwischen AF und FB liegenden Strahlen, da

immer für je zwei derselben ein Gangunterschied von $\frac{1}{2}$ Wellenlänge besteht. So ergibt sich, daß die Punkte des Schirms, deren Randstrahlen um eine ungerade Zahl von halben Wellenlängen differieren, hell erscheinen, dunkel aber die, wo es sich um die Differenz einer geraden Zahl von halben Wellenlängen handelt. Sehr schöne Beugungserscheinungen erhält man durch mehrere nebeneinanderliegende Spalten, sog. Gitter; eine Art derselben wird z. B. hergestellt, indem mit einem Diamanten feine parallele Striche in Glas eingeritzt werden; hier wirken die geritzten, matt gewordenen Stellen wie undurchsichtige Schirme; die Stellen zwischen zwei Strichen entsprechen einem Spalt. An Stelle der hellen und dunklen Streifen erscheinen mit weißem Lichte natürlich wieder farbige (Beugungs- oder Gitterspektra). Die Streifen sind um so breiter und deutlicher, je größer die Wellenlänge der betreffenden Strahlen und je schmaler der Spalt ist. Auf der Beugung beruht es z. B., daß man durch angelaufene Fensterscheiben Flammen mit farbigen Ringen sieht, daß Spinnfäden schillern etc.

§ 138. **Begriff der Polarisation.** Polarität wird die Eigenschaft genannt, daß zwei Enden eines Körpers, die Pole (man

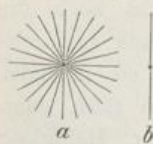


Fig. 90.

denke z. B. an einen Magneten), besondere Eigenschaften gegenüber den anderen Seiten haben. Nach der üblichen Anschauung pflanzt sich nun das Licht durch transversale Ätherschwingungen fort und zwar so, daß die Ätherteilchen in allen möglichen Ebenen — immer senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung — pendeln. Ein gewöhnlicher Lichtstrahl würde also auf dem Durchschnitt etwa

wie Fig. 90a aussehen. Demgegenüber schwingen beim geradlinig polarisierten Lichte (Fig. 90b) alle Ätherteilchen nur in einer Ebene, ebenfalls senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung;

dieselbe heißt Schwingungsebene, die zu ihr senkrechte Polarisationsebene.¹⁾)

§ 139. **Doppelbrechung.** Die Kristalle aller Systeme, mit Ausnahme des regulären, sind anisotrop, d. h. sie haben in verschiedenen, und zwar besonders in zwei zueinander senkrechten Richtungen verschiedene physikalische Eigenschaften (Dichte, Elastizität, Wärmeleitungsvermögen etc.). So ist auch in diesen beiden Richtungen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts verschieden groß, und dadurch ist eine Doppelbrechung bedingt, d. h. ein auffallender Strahl teilt sich im Kristall in zwei Strahlen, die Gegenstände werden daher doppelt gesehen. Der eine von beiden Strahlen folgt dem SNELLIUS'schen Gesetze [§ 115] und heißt daher der ordinäre, während dies beim extraordinären nicht der Fall ist; beide sind zueinander senkrecht polarisiert. Alle doppelbrechenden Kristalle haben nun eine oder zwei Symmetrieachsen; in den senkrecht durch diese gelegten Ebenen sind die physikalischen Eigenschaften (also auch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes) gleich, dagegen verschieden von denjenigen in der Richtung der Achsen selbst. Wenn sich also Licht in der Richtung dieser Achsen fortpflanzt, werden sich die Ätherteilchen des ordinären und extraordinären Strahles, die ja in dazu senkrechten Ebenen (und senkrecht zueinander) schwingen, nach dem eben Gesagten gleichschnell fortpflanzen; mit anderen Worten, es tritt dann keine Doppelbrechung ein. Diese Richtungen, auch optische Achsen genannt, fallen bei den optisch einachsigen Systemen, zu denen das quadratische und hexagonale gehört, mit der kristallographischen Hauptachse zusammen oder sind ihr parallel; bei den optisch zweiachsigen dagegen; wo die Verhältnisse überhaupt viel komplizierter sind, ist dies nicht der Fall. Jede Ebene nun, die durch einen Kristall so gelegt ist, daß die optische Achse in sie fällt, heißt Hauptschnitt. In Fig. 91, die einen Doppelspatrhomboëder

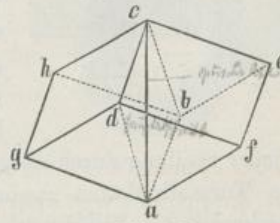


Fig. 91.

vorstellt, ist ac die optische Achse, $abcd$ ein Hauptschnitt. Während also in der Richtung der optischen Achse keine Doppelbrechung eintritt, muß dies in allen anderen Richtungen der Fall sein, weil eben dann die beiden Komponenten, in die das Licht zerlegt wird, un-

¹⁾ Bisweilen wird auch die Schwingungsebene als Polarisationsebene bezeichnet und umgekehrt.

gleiche Geschwindigkeit besitzen. Hat der ordinäre Strahl eine kleinere Geschwindigkeit als der extraordinäre, wird er also stärker gebrochen, so heißt der betreffende Kristall optisch negativ, im anderen Falle positiv.

Strahl 1. 526.

für Strahl, der sich auf

ausfallender Licht-

für einfallender Licht-

strahl

geliefert.

8/1. 388.

Platinsulfid

4 für einfallenden

Strahl

2,8 = 59°

Flügelachse

§ 140. **Polarisation durch Doppelbrechung.** Wie oben ge-

zeigt, bietet die Doppelbrechung ein bequemes Mittel, polarisiertes Licht zu erhalten. Da aber die Schwingungsebenen der austretenden Strahlen aufeinander senkrecht stehen, durch ihre Vereinigung also wieder gewöhnliches Licht entstehen würde, so muß man einen von ihnen beseitigen. Beim Turmalin z. B., einem rötlich bis grünen Kristall, geschieht dies durch Absorption des ordinären Strahls. Es tritt hier also nur ein polarisierter Strahl heraus, und dieser schwingt in der Richtung der optischen Achse; durch Turmalinplatten, die parallel zur optischen Achse geschliffen sind, also einen Hauptschnitt vorstellen, gehen somit nur diejenigen Komponenten eines gewöhnlichen Lichtstrahls durch, die parallel der optischen Achse schwingen. Eine solche Turmalinplatte dient dazu, um gewöhnliches Licht zu polarisieren, heißt daher Polarisator. Legt man eine zweite Turmalinplatte von gleicher Beschaffenheit so auf die erste, daß die Achsen parallel sind, so können die durch die erste gegangenen Lichtstrahlen auch die zweite passieren; blickt man also durch die Platten, so ist das Gesichtsfeld hell. Legt man sie aber mit gekreuzten

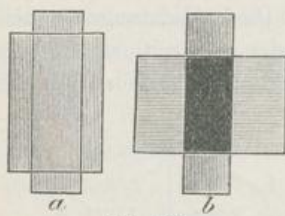


Fig. 92.

Achsen aufeinander, so muß das Gesichtsfeld dunkel sein, weil ja immer nur parallel der Achse schwingende Strahlen durchgehen können (Fig. 92). Zwischen diesen Extremen gibt es natürlich Übergänge. Die zweite Platte dient zum Nachweis polarisierten Lichtes, weil ja gewöhnliches, das nach allen Richtungen schwingt,

in jeder Stellung durch sie gehen würde; sie heißt daher Analysator. Zwei Turmalinplatten zusammen bilden einen vollkommenen Polarisationsapparat. Zweckmäßig verwendet man dazu die Turmalinzange, eine federnde Zange, die an ihren Enden zwei um ihre Achse drehbare Turmalinplatten trägt.

Häufiger noch benutzt man den Doppelspat in Form des Nicol'schen Prismas, kurz Nicol genannt.

$AB'DC'$ (Fig. 93) sei ein natürlicher Kalkspatrhomboëder, dessen durch die Kanten AB' und $C'D$ gehende Hauptschnittebene in der Zeichnungsebene liegen möge (Fig. 94). Man schleift nun zunächst (entsprechend den punktierten Linien der Figur) die Endflächen so ab, daß sie mit den Kanten

AB und CD Winkel von 68° (statt wie ursprünglich von 71°) bilden. $ABCD$ (Fig. 94) sei dann der neue Durchschnitt durch die Eckpunkte. Darauf wird der Kristall senkrecht auf diese Ebene AD und zugleich senkrecht auf die neuen Endflächen AC und BD durchsägt, so daß also zwei dreiseitige Prismen entstehen, und dann werden die Schnittflächen wieder in der alten Lage durch Kanadabalsam zusammengekittet.

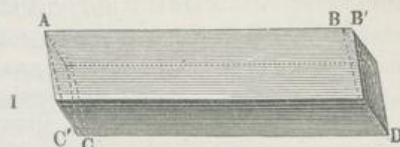


Fig. 93.

Trifft nun ein Lichtstrahl ab (Fig. 94) auf die rhombische Vorderfläche des Prismas, so wird er in zwei Strahlen zerlegt. Da der ordinäre Strahl bc sich im Doppelspat langsamer fortpflanzt als im Kanadabalsam, dieser mithin für ihn ein optisch dünneres Medium vorstellt, so



Fig. 94.

wird er bei genügend schrägem Auffall an der Balsamschicht total reflektiert und seitlich bei d durch die schwarze Einfassung des Prismas absorbiert. Der extraordinäre Strahl bc' dagegen, der im Kristall rascher verläuft als im Balsam, geht unbehindert durch diesen und verläßt das Prisma bei d' parallel mit seiner ursprünglichen Richtung. Ein Nicol läßt also nur Strahlen hindurch, die ebenso schwingen wie der extraordinäre Strahl, d. h. parallel dem Hauptschnitt oder, was dasselbe ist, parallel der kürzeren Diagonale seiner rhombischen Endflächen, wie Fig. 95 zeigt, die die Endfläche eines Nicols samt Fassung darstellt. PP ist die zur Schwingungsebene senkrechte Polarisationssebene. Ein Nicol kann natürlich ebenfalls sowohl als Polarisator wie als Analytator dienen.

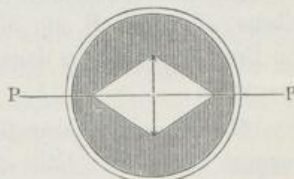


Fig. 95.

§ 141. **Polarisation durch Reflexion und einfache Brechung.** Gewöhnliches Licht wird auch durch Reflexion, ausgenommen an Metallspiegeln, in linear polarisiertes umgewandelt (MALUS). Und zwar ist die Polarisationssebene des reflektierten Lichts identisch mit der Einfallsebene; die Schwingungen erfolgen also senkrecht zu dieser und parallel der Oberfläche des Spiegels. (Fig. 96.) Gewöhnlich findet hierbei nur eine teilweise Polarisation statt; nur

wenn der Einfallswinkel so groß ist, daß der reflektierte Strahl auf dem gebrochenen senkrecht steht, ist alles reflektierte Licht polarisiert (Gesetz von BREWSTER).



Fig. 96.

Die Größe dieses Polarisationswinkels hängt vom Brechungsindex ab. Dieser ist nämlich hier (Fig. 97) $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$. Nun ist $a = \gamma$ und $\beta + \gamma = R$. Also $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\sin \alpha}{\cos \gamma} = \frac{\sin \alpha}{\cos a} = \operatorname{tg} a$. Bei vollständiger

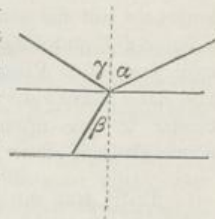


Fig. 97.

Polarisation ist also die Tangente des Einfallswinkels gleich dem Brechungsindex.

Auch das durch eine Glasplatte hindurchgegangene, also einfach gebrochene Licht ist teilweise polarisiert, und zwar steht bei der Brechung die Polarisationssebene senkrecht zu der Einfallsebene. Das so erhaltene polarisierte Licht ist aber wegen der Beimischung anderen Lichts sehr schwach; verstärkt wird es, indem man es durch mehrere Glasplatten durchgehen läßt, da hierbei das nicht polarisierte Licht durch wiederholte Reflexion beseitigt wird. Die verschiedene Schwingungsrichtung des reflektierten und durchgelassenen Lichts rührt daher, daß Lichtwellen in ein Medium nur dann eindringen können, wenn sie mit ihren Kämmen vorschreiten: treffen sie dagegen mit den Seiten der Wellen auf, so werden sie reflektiert. Ebenso dringt z. B. ein Messer, wenn es mit der Spitze auffällt, in ein Brett ein, fällt es dagegen mit der stumpfen Kante auf, so prallt es zurück.

Man kann nach dem Gesagten auch zwei Spiegel als Polarisationsapparat benutzen. Fällt z. B. der Lichtstrahl ab unter dem Polarisationswinkel auf den Spiegel MN (Fig. 98), der hier Polarisator ist, so wird er in der Richtung bc reflektiert, und gleichzeitig schwingen seine Teilchen alle senkrecht zur Einfallsebene. Bildet $M'N'$, der Analysator, denselben Winkel zur Achse, die hier durch den Lichtstrahl bc dargestellt ist, so kann er nur dann bc reflektieren, wenn seine Einfallsebene parallel der von MN ist, wenn beide also einen Winkel von 0° oder

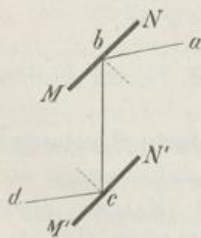


Fig. 98.

180° miteinander bilden; bei einem Winkel von 90° oder 270° wird kein Licht reflektiert. Benutzt man als Analysator einen Satz Glas-

platten und beobachtet das durchgehende Licht, so sind die Erscheinungen gerade umgekehrt.

§ 142. **Interferenz des polarisierten Lichtes.** Es wurde oben auseinandergesetzt, daß bei parallelen Turmalinplatten oder Nicols etc. das Gesichtsfeld hell, bei rechtwinklig gekreuzten aber dunkel sein muß. Bilden die optischen Achsen der Nicols einen anderen Winkel wie einen rechten, sei z. B. ab (Fig. 99) die Richtung der Achse im ersten, ef die im zweiten Nicol, so kann nach dem Parallelogramm der Kräfte jede Schwingung in zwei von der Richtung ef und gh zerlegt werden. Die letztere, rechtwinklig zur Achse des zweiten Nicols erfolgende, geht nicht hindurch, wohl aber die erstere. Auf dieser Zerlegung von Schwingungen beruhen auch Interferenzerscheinungen, wenn man zwischen

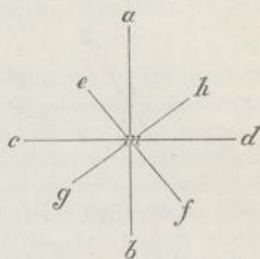


Fig. 99.

einen Polarisationsapparat einen dünnen, doppelbrechenden Körper z. B. ein Gipsblättchen bringt, welches Lichtstrahlen nur in den Richtungen ef und gh (Fig. 99) durchläßt. Dann werden die durch den Polarisator in die Richtung ab gebrachten Strahlen in Schwingungen nach den Richtungen ef und gh zerlegt; und diese am Analysator wieder in Komponenten nach den Richtungen ab und cd . Es werden dann nur die letzteren durchgelassen, und da sie von Strahlen herrühren, die infolge der Doppelbrechung einen Phasenunterschied, abhängig von der Dicke des Gipsblättchens, besitzen, so wird durch Interferenz das Gesichtsfeld bei einfarbigem Lichte mehr oder weniger hell, bei weißem Licht in einer bestimmten Farbe erscheinen. In ähnlicher Weise entsteht in dickeren doppelbrechenden (optisch einachsigen) Kristallen bei Anwendung von divergenten Lichtstrahlen ein System von hellen und dunklen bzw. farbigen Ringen, das von einem schwarzen Kreuz in der Richtung der Achsen des Polarisators und Analysators durchzogen ist. Während dies bei gekreuzten Nicols der Fall ist, erscheinen bei parallelen die komplementären Farben und ein helles Kreuz. Hierauf beruht auch das Polarisationsmikroskop, bei dem durch das Objektiv schon polarisiertes Licht konvergent gemacht wird, dann durch den zu untersuchenden Körper dringt und schließlich hinter dem Okular noch einen Analysator passiert. Es dient einmal zum Erkennen doppelbrechender Substanz, denn diese verrät sich durch ihren Farbenglanz; ferner treten dadurch feinere Strukturunterschiede besser hervor.

§ 143. **Zirkulare Polarisation.** Wenn ein Pendel durch einen

bestimmten Impuls von A nach B (Fig. 100) schwingt, so werden durch gleichstarke Impulse, die senkrecht zu dieser Bahn an verschiedenen Stellen erteilt werden, verschiedene Schwingungsformen entstehen. Ist

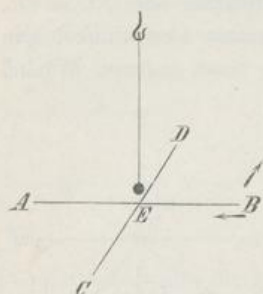


Fig. 100.

der Pendel in B , hat er also von E aus $\frac{1}{4}$ Schwingung zurückgelegt, so wird durch einen Impuls in der Richtung und Stärke von ED eine Kreisbewegung nach links resultieren; ebenso in A eine solche nach rechts; in E eine geradlinige Bewegung in diagonaler Richtung; eine elliptische Bewegung endlich, entweder wenn in A oder B stärkere Impulse wirken, oder wenn der gleiche Impuls auf der Strecke zwischen A und B einwirkt. Genau dasselbe findet nun

beim polarisierten Lichte statt. Wenn das Licht, das durch einen doppelbrechenden Körper in zwei zueinander senkrechte Strahlen polarisiert ist, durch den Analysator wieder auf eine Ebene gebracht wird, so hängt es allein vom Gangunterschied ab, welche Form resultiert. Ist er $= 0$ oder $\frac{1}{2}$ Wellenlänge, so entsteht geradlinig polarisiertes Licht, beträgt er $\frac{1}{4}$ Wellenlänge, kreisförmiges, und für die Zwischenwerte elliptisches. Der Name polarisiert paßt eigentlich nicht mehr, da ja z. B. kreisförmig polarisiertes Licht sich nach allen Richtungen gleich verhält. Es ist vom natürlichen Lichte nur dadurch zu unterscheiden, daß, wenn man seinen Gangunterschied um $\frac{1}{4}$ Wellenlänge erhöht oder erniedrigt, indem man es z. B. durch ein entsprechend dickes Glimmerplättchen schickt, geradlinig polarisiertes Licht entsteht.

§ 144. **Drehung der Polarisationssebene.** Ebenso wie unter Umständen aus zwei geradlinigen Bewegungen eine kreisförmige entsteht, kann jede geradlinige Bewegung als Resultante zweier gleichgroßer, entgegengesetzt gerichteter Kreisbewegungen aufgefaßt werden.



Fig. 101.

Wirken z. B. auf das Teilchen a (Fig. 101) zwei Impulse in der Richtung der Pfeile, so wird es den Weg ab beschreiben. Setzt aber der nach links gerichtete Impuls später ein, wenn a schon in a' ist, dann resultiert der Weg $a'b'$. In der Tat findet nun beim Quarz und bestimmten Flüssigkeiten eine Zerlegung geradlinig polarisierten Lichts in zwei entgegengesetzt kreisförmige Bewegungen statt. Und da sich hierbei letztere ungleich schnell fortpflanzen, so wird, wenn sie sich wieder zu geradlinig polarisiertem Lichte vereinigen, das letztere in einer anderen Ebene schwingen, die Polarisationssebene wird also, wie man sagt, durch

diese „optisch aktiven“ Substanzen gedreht sein, z. B. nach rechts (wie beim Rohrzucker etc.), wenn die rechtsherum gehende kreisförmige Bewegung sich schneller fortpflanzt. Diese Drehung der Polarisationssebene ist nun deshalb von großer Bedeutung, weil sie z. B. bei Zuckerlösungen proportional der Dicke der betreffenden Schicht und ihrem Zuckergehalte ist, so daß dieser daraus berechnet werden kann. Die hierfür angewandten Apparate heißen Saccharimeter¹.

Durch eine l dm lange Schicht einer Zuckerlösung, die in 100 ccm z gr Zucker enthält, wird nämlich die Polarisationssebene des Lichtes z. B. für das gelbe Natriumlicht um den Winkel $\alpha = 0,665^\circ \cdot z \cdot l$ gedreht. Ist α bekannt, so ergibt sich daraus ohne weiteres z . Bei den einfachsten Saccharimetern wird nun die Zuckerlösung zwischen gekreuzte Nicols gebracht, wodurch (bei Anwendung einfarbigen Lichtes) das bisher dunkle Gesichtsfeld heller wird. Dreht man hierauf den Okular-Nicol solange, bis das Gesichtsfeld wieder dunkel geworden ist, so ist dadurch der Drehungswinkel α bekannt. Genauere Resultate erhält man, wenn man zwischen beide Nicols eine Doppelquarzplatte einschaltet. Diese besteht aus zwei aneinandergelagerten, gleichdicken, senkrecht zur optischen Achse geschliffenen Quarzplatten, von denen eine rechts-, die andere linksdrehend ist. Beide Platten erscheinen sowohl bei gekreuzten wie bei parallelen Nicols gleich hell (bezw. bei Anwendung weißen Lichtes gleichgefärbt); nach Zwischenschaltung der Zuckerlösung werden sie dagegen ungleich.

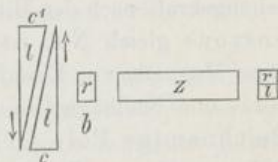


Fig. 102.

Der Winkel, um den der Okular-Nicol gedreht werden muß, damit sie wieder gleich werden, entspricht wieder α . Beim SOLEIL'schen Saccharimeter wird an Stelle des drehbaren Okular-Nicols der sog. Kompensator benutzt (Fig. 102), um die Größe der Drehung zu bestimmen. Derselbe besteht aus einer rechtsdrehenden Quarzplatte b und zwei linksdrehenden Quarzkeilen c, c^1 . Letztere können so gegeneinander verschoben werden, daß ihre (genau durch eine Mikrometerschraube meßbare) gemeinsame Dicke gleich, größer oder kleiner wird, als die von b . Da nun das Drehungsvermögen einer 1 mm dicken Quarzschicht bekannt ist, so ergibt sich daraus auch der optische Effekt derjenigen Zuckerlösung, welcher durch den Kompensator das Gleichgewicht gehalten wird.

¹ saccharum Zucker. *Über opt. Eigenschaften / Hermann J. 573.*

Magnetismus.

§ 145. **Definition.** Magnetismus¹ wird die ihrem Wesen nach noch nicht genau erforschte Kraft genannt, welche Körper befähigt, Eisen und ähnliche Körper anzuziehen und, wenn sie in horizontaler Ebene frei beweglich aufgehängt sind, eine bestimmte Richtung einzunehmen. Der in der Natur vorkommende Magneteisenstein $Fe_3 O_4$, der schon den Alten bekannt war, heißt natürlicher Magnet im Gegensatz zu den künstlichen, die meist aus Stahl hergestellt werden, indem man diesen mit einem natürlichen Magneten in geeigneter Weise bestreicht (s. u.).

§ 146. **Magnetische Anziehung.** Die künstlichen Magnete unterscheidet man nach ihrer Form in Stab- und Hufeisenmagnete, sowie (frei bewegliche) Magnetnadeln. Jeder Magnet hat zwei Stellen nahe an seinen beiden Enden, an denen die Anziehungskraft am größten ist, die Pole (Nord- und Südpol). Von hier nimmt die Anziehungskraft nach der Mitte hin allmählich ab, bis sie in der Indifferenzzone gleich Null ist. Man kann dies leicht zeigen, wenn man einen Magneten in Eisenfeilspäne legt. Je nach den Polen gibt es Nord- und Südmagnetismus, und es besteht das wichtige Gesetz, daß gleichnamige Pole sich abstoßen, ungleichnamige sich anziehen. Also z. B. Nordpol und Nordpol stoßen sich ab, Nordpol und Südpol ziehen sich an. Hierbei gilt das dem Gravitationsgesetze analoge COULOMB'sche Gesetz, daß die Intensität der magnetischen Anziehung direkt proportional der magnetischen Kraft beider Körper, umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung ist.

$$F = - \frac{m m'}{r^2} \text{.}^2)$$

Der ganze Raum, auf den sich die magnetische Wirkung erstreckt, heißt magnetisches Feld. Ein Magnet wirkt nicht nur durch Luft, sondern auch durch andere Körper hindurch, Eisen ausgenommen. So kann man die Richtung der magnetischen Kräfte erkennen, wenn man z. B. auf die Pole eines Hufeisenmagneten ein Kartenblatt legt und darauf Eisenfeilspäne streut. Letztere ordnen

¹ Etymologie unklar; entweder nach dem sagenhaften Hirten MAGNES oder nach der Landschaft *Magnesia* oder von *μάγω* bezaubern.

² Durch das Minuszeichen ist die Richtung bestimmt. Sind nämlich m und m' gleichnamig, so folgt aus $-(+m \cdot +m')$ oder $-(-m \cdot -m')$, daß Abstoßung stattfindet; sind sie ungleichnamig, so ergibt $-(+m \cdot -m')$ Anziehung.

sich dann in Kurven, die sogenannten Kraftlinien, an, die von einem Pol zum anderen ziehen und genau die Krafrichtung des Magneten in jedem Punkte des magnetischen Feldes anzeigen. — Magnetisches Moment nennt man das Produkt der Polstärke eines der Pole mit dem gegenseitigen Abstand derselben.

§ 147. **Magnetische Influenz.** Nähert man ein Stück Eisen einem Magneten, so wird es ebenfalls magnetisch, und zwar wird der dem Nordpol des Magneten genäherte Teil zum Südpol und umgekehrt. Diese Erscheinung, auf der auch die Anziehung beruht, heißt magnetische Influenz und findet ihre Erklärung am besten durch die Annahme, daß in jedem unmagnetischen Eisen schon beide Arten von Magnetismus enthalten sind, aber so angeordnet, daß sie sich gegenseitig neutralisieren nach außen also nicht wirken können. Nähert man aber einen Magneten, so zieht er den ungleichnamigen Magnetismus in das zugewandte Ende, den gleichnamigen stößt er in das entgegengesetzte. Diese Annahme erklärt auch die Indifferenzzone; denn hier stoßen ja Nord- und Südmagnetismus zusammen und neutralisieren sich daher.

§ 148. **Konstitution der Magnete.** Früher hatte man die bequeme aber vage Vorstellung, der Magnetismus bestehe aus zwei Fluida (Flüssigkeiten), welche durch Influenz voneinander getrennt würden. Damit ist jedoch die Tatsache nicht zu erklären, daß, wenn man einen Magneten in der Mitte zerbricht, jeder dieser Teile wieder ein vollkommener Magnet mit Nord- und Südpol und Indifferenzzone ist. Dieser Versuch kann beliebig oft wiederholt werden. Man erklärt diese Erscheinung durch die Molekulartheorie, indem man sich vorstellt, daß schon die Moleküle kleinste Magnete sind. In den Magneten sind sie so regelmäßig angeordnet, daß alle Nordpole nach der einen, die Südpole nach der anderen Seite gerichtet sind, so daß sich ihre Wirkung addiert; im unmagnetischen Eisen dagegen sind sie ganz unregelmäßig durcheinander gelagert, und daher unwirksam. Die Influenz erklärt sich demnach so, daß der Magnet auf die Moleküle des Eisens eine richtende Wirkung ausübt und alle gleichnamigen Pole nach derselben Seite hin dreht. Diese Drehung der Moleküle ist bei manchen Körpern, z. B. Schmiedeeisen, leicht; aber nach Entfernung des Magneten kehren die Moleküle auch wieder leicht in die frühere Lage zurück. Diese Körper besitzen also nur temporären Magnetismus. Bei anderen Körpern dagegen, z. B. Stahl, ist das Richten der Moleküle schwerer; dafür bleiben sie auch lange in der neuen Lage. Diese Eigenschaft, den magnetischen Zustand beizubehalten (die übrigens in geringem Grade auch weiches Eisen besitzt),

heißt magnetische Hysteresis¹, die Ursache hiervon Koërzitivkraft², solche Körper haben dann permanenten Magnetismus. — Eine dritte Hypothese über die Konstitution der Magnete wird bei der Elektrizität besprochen werden [§ 183].

§ 149. **Herstellung von Magneten.** Ein Eisenstück zum Magneten machen, heißt nach dem Gesagten also weiter nichts, wie seinen Molekülen eine gleichmäßige Richtung geben. Das gewöhnliche Mittel hierzu ist das Bestreichen mit kräftigen Magneten, der sogenannte Strich. Beim einfachen Strich wird der Pol eines Magneten von der Mitte des Stahlstabes nach einem Ende geführt, dort hochgehoben, und dies Verfahren mehrfach wiederholt; dann wird mit dem anderen Pol des Magneten von der Mitte aus nach dem anderen Ende mehrfach gestrichen. Beim Doppelstrich streicht man mit den entgegengesetzten Polen zweier Magnete oder bequemer mit einem Hufeisenmagneten von der Mitte nach der einen Seite, dann über den ganzen Stab zurück bis zum anderen Ende, wieder zurück u.s.w., bis man schließlich in der Mitte aufhört. Durch das Streichen nimmt der Magnetismus indes nur bis zu einer bestimmten Grenze, der magnetischen Sättigung, zu; diese ist erreicht, wenn alle Moleküle gleichgerichtet sind. Da ein Stab durch Bestreichen nur ziemlich oberflächlich magnetisiert wird, so können dünne Lamellen ebenso stark magnetisch sein wie dicke Stäbe. Aus diesem Grunde vereinigt man auch oft dünne Lamellen zu einem Hufeisenmagneten und nennt dies dann ein magnetisches Magazin. Wird ein Stab während des Magnetisierens erschüttert, so wird sein Magnetismus stärker. Erschüttert man aber einen fertigen Magneten, wozu auch das Abreißen des Ankers (d. i. das Eisenstück, welches an die Pole eines Hufeisenmagneten gelegt wird) gehört, so wird die magnetische Kraft verringert. Man kann dies leicht mittelst der Molekulartheorie erklären. Das Erschüttern lockert den molekularen Zusammenhang, befördert also während des Magnetisierens die Drehung der Moleküle; beim fertigen Magneten wird dagegen die gleichmäßige Richtung dadurch gestört. — Die stärksten Magnete erhält man übrigens durch Elektrizität.

§ 150. **Tragkraft.** Unter der Tragkraft eines Magneten versteht man das Gewicht, das seiner Anziehungskraft das Gleichgewicht hält. Die Tragfähigkeit prüft man, indem man an den Anker eines Magneten nacheinander immer größere Gewichte anhängt, bis er

¹ ἵστέρος hinterherkommend.

² coërceo zusammenhalten.

schließlich abfällt. Es ist festgestellt, daß die Tragkraft eines Hufeisenmagneten die doppelte Tragkraft eines seiner Pole übertrifft.

§ 151. **Diamagnetismus.** Starke Magnete, besonders Elektromagnete, ziehen nicht nur Eisen, sondern auch andere Körper an; alle diese heißen paramagnetisch. Manche Körper, z. B. Wismut und Antimon, werden dagegen von Magneten abgestoßen; sie heißen diamagnetisch. Die Erklärung dieser Erscheinung ist ähnlich wie die des Auftriebs. Trotzdem alle Körper der Schwere unterworfen sind, entfernen sie sich doch von der Erde, wenn sie sich in einer Flüssigkeit von größerem spezifischen Gewichte befinden. Ebenso wird ein Körper dann von einem Magneten abgestoßen, wenn das Medium, in dem er sich befindet, stärker als er selbst vom Magneten angezogen wird. Daraus geht hervor, daß ein und derselbe Körper sowohl para- wie diamagnetisch sein kann.

§ 152. **Erdmagnetismus.** Ein frei beweglicher Magnet, z. B. eine Magnetnadel, nimmt eine ungefähr nordsüdliche Richtung ein; darauf beruht der für Seeleute unentbehrliche Kompaß. Diese Erscheinung kann nach dem Gesetze von der magnetischen Anziehung nur so gedeutet werden, daß die Erde selbst ein großer Magnet ist, und zwar liegt ihr Südpol im Norden, der Nordpol im Süden. Indes liegen die magnetischen Pole der Erde nicht genau an den geographischen. Denn eine Magnetnadel zeigt nicht genau von Norden nach Süden, sondern weicht seitlich von dieser Richtung ab, und zwar ist diese Abweichung, die sogenannte Deklination, also der Winkel zwischen astronomischem und magnetischem Meridian, für jeden Ort verschieden. Außerdem steht eine Magnetnadel auch nie genau horizontal, sondern stets geneigt; diese Inklination, also der Winkel zur Horizontalebene, hängt ebenfalls von der Lage des betreffenden Ortes ab.

Dasselbe gilt auch für die Intensität des Erdmagnetismus, die natürlich an den magnetischen Polen am größten ist. Man kann sie, ähnlich wie die Erdanziehung durch Pendelschwingungen, aus der Schwingungszeit einer in Bewegung versetzten Magnetnadel berechnen; sie ist nämlich umgekehrt proportional dem Quadrate der Schwingungszeit. Die Linien, welche Orte gleicher Deklination, Inklination, Intensität verbinden, heißen Isogonen, bezw. Isoklinen, bezw. Isodynamen. Alle diese erdmagnetischen Elemente zeigen tägliche, säkulare und unregelmäßige Schwankungen.

Elektrizität.

§ 153. **Arten der Elektrizität.** Wenn man gewisse Körper reibt, so werden sie befähigt, andere leichte Körper anzuziehen. Diese zuerst beim Bernstein (*ῥήλεκτρον*) beobachtete Eigenschaft wird Elektrizität genannt. Elektrizität kann jedoch nicht nur durch mechanische Arbeit entstehen, sondern auch durch chemische, thermische u. a. Energie und läßt sich auch umgekehrt in solche überführen. Wie beim Magnetismus unterscheidet man zwei Arten von Elektrizität, positive und negative, und stellt sich diese der Bequemlichkeit halber wieder als zwei Fluida vor. Wahrscheinlich ist jedoch die als Elektrizität bezeichnete Form der Energie an Bewegungen desselben Substrates gebunden wie Licht und Wärme und von diesen nur quantitativ verschieden [cf. § 192]. Je nachdem man die Elektrizität im Zustande der Ruhe oder Bewegung betrachtet, spricht man von statischer Elektrizität und vom elektrischen Strome.

A. Statische Elektrizität (Reibungselektrizität).

§ 154. **Elektrische Anziehung und Abstoßung.** Das am längsten bekannte Mittel, Körper elektrisch zu machen, besteht darin, sie zu reiben. Dadurch kann der geriebene Körper entweder positiv elektrisch werden, z. B. Glas, oder negativ, z. B. Siegellack. Man nennt daher die positive Elektrizität auch Glaselektrizität, die negative Harzelektrizität. Das Material, mit dem man reibt, erhält immer gleichviel entgegengesetzte Elektrizität. Es gilt nun das Gesetz, daß gleichgroße aber entgegengesetzte Elektrizitätsmengen sich gegenseitig neutralisieren und ferner, daß gleichnamig elektrische Körper sich abstoßen, ungleichnamig sich anziehen. Man kann letzteres mit dem sog. elektrischen Pendel nachweisen; derselbe besteht aus zwei Hollundermarkkugeln, die mittels je eines Seidenfadens an einem Stativ aufgehängt sind. Die Intensität der elektrischen Anziehung und Abstoßung ist, wenn e und e' die betreffenden Elektrizitätsmengen vorstellen

$$F = - \frac{ee'}{r^2} \text{ [cf. § 146].}$$

Die praktische Einheit der Elektrizitätsmenge heißt nach dem Entdecker dieses Gesetzes ein Coulomb [s. Anhang].

§ 155. **Leiter und Nichtleiter.** Außer durch Reibung kann ein Körper auch durch Berührung mit einem elektrischen Körper elektrisch werden. Nach ihrem Verhalten hierbei unterscheidet man

Leiter und Nichtleiter. Bei ^{Leitern}ersteren verbreitet sich die Elektrizität von der Berührungsstelle aus schnell über den ganzen Körper; man kann ihn also von einer einzigen Stelle aus „laden“, umgekehrt aber auch „entladen“. Letzteres geschieht z. B., wenn man ihn mit der Hand berührt, weil dann die Elektrizität durch den ebenfalls gut leitenden menschlichen Leib zur Erde abfließt, die das größte Magazin sowohl für positive wie für negative Elektrizität vorstellt. Auf dieser Eigenschaft der Leiter beruht eine Art von Elektroskop, d. i. ein Apparat zum Erkennen der Elektrizität. Durch den Korken eines Glasbehälters (Fig. 103) geht eine Metallstange, die oben in einen Knopf, unten in zwei Streifen von Blattgold endigt. Berührt man den Knopf mit einem elektrischen Körper, so fließt die Elektrizität in die Goldstreifen, die sich dann gegenseitig abstoßen. Bei den Nichtleitern bleibt dagegen die Elektrizität nur an der Stelle, der sie direkt zugeführt wird, und umgekehrt behält ein solcher Körper seine Elektrizität, wenn nur eine Stelle abgeleitet wird. Da somit Nichtleiter, welche Leiter umgeben, diese vor dem Verluste der Elektrizität schützen, heißen sie auch Isolatoren [cf. § 163]. Zu ihnen gehören z. B. Glas, Harz, Seide, Wolle, trockene Luft; zu den Leitern vor allem die Metalle, unter denen wieder Silber am besten leitet, ferner Kohle, Flüssigkeiten und feuchte Körper, z. B. der Tierleib.



Fig. 103.

§ 156. **Elektrisches Potential.** Die Fähigkeit elektrischer Körper, im Wirkungsbereiche (elektrischen Felde) anderer gleichnamiger elektrischer Kräfte Arbeit dadurch zu leisten, daß sie abgestoßen werden, mit anderen Worten ihre potentielle Energie, heißt auch Spannung oder Potential. Das Potential eines mit der positiven Elektrizitätseinheit geladenen Körpers in einem Punkte eines elektrischen Feldes wird also durch die Arbeit gemessen, die er leistet, wenn er unter dem Einfluß abstoßender (gleichnamiger) elektrischer Kräfte von diesem Punkte aus sich in unendliche Entfernung bewegt; oder wie man umgekehrt auch sagen kann, durch die Arbeit, die man gegen die abstoßenden elektrischen Kräfte leisten muß, um den Körper aus der Unendlichkeit bis zu diesem Punkte heranzubringen. Das Potential ist direkt proportional der Elektrizitätsmenge, umgekehrt proportional der Entfernung, $V = \frac{e}{r}$. Die Potentialdifferenz oder der Spannungsunterschied an zwei Punkten entspricht somit der Arbeit bei der Überführung aus der einen Lage in die andere. Ebenso wie nun eine Flüssigkeit bestrebt

ist, von einem höheren Niveau zu einem tieferen zu fließen, wie ein Gas sich von Orten größeren Druckes zu solchen geringeren Druckes ausbreitet, fließt auch die Elektrizität von Orten höheren zu solchen niedrigeren Potentials. Die Erfahrungstatsache, daß alle zur Erde abgeleiteten Körper ihre Elektrizität verlieren, drückt man daher dadurch aus, daß man für die Erde das Potential 0 annimmt. (In entsprechender Weise strömt ja auch ein Gas, das mit einem luftleeren Raume verbunden ist, in diesen, dessen Spannung ebenfalls = 0 ist. In analoger Weise wird auch das Meeresniveau als Nullpunkt angenommen.) Ferner folgt daraus, daß an allen Stellen eines Leiters, bei dem die Elektrizität im Gleichgewicht ist, dasselbe Potential herrscht, und umgekehrt. Die praktische Einheit für Potentiale und Potentialdifferenzen heißt Volt. Während nun eine Arbeit aufgewendet werden muß, um Elektrizität von Orten niederen Potentials zu solchen höheren Potentials zu bringen, wird im umgekehrten Falle von der Elektrizität eine Arbeit geleistet, die gleich dem Produkt aus Elektrizitätsmenge und Potentialdifferenz ist und in Volt-Coulombs ausgedrückt wird. Es entspricht dies wieder den Verhältnissen bei Flüssigkeiten, die ja auch beim Fallen eine Arbeit leisten gleich dem Produkte aus ihrer Menge und der Niveaudifferenz.

§ 157. **Elektrische Kapazität.** Wie das Niveau einer Flüssigkeit nicht nur durch ihre Menge, sondern auch durch die Weite, die Kapazität, des Behälters bedingt ist, wie die Temperaturzunahme eines Körpers nicht nur von der zugeführten Wärmemenge, sondern auch von der Wärmekapazität [§ 98] abhängt, kommt auch für das Potential eines Körpers dessen elektrisches Fassungsvermögen oder seine elektrische Kapazität in Betracht. Man versteht hierunter das Verhältnis zwischen Elektrizitätsmenge und Potential, $\kappa = \frac{e}{V}$.

Wenn also z. B. ein Körper viel Elektrizität aufnehmen kann, ohne daß sich sein Potential wesentlich erhöht, so ist seine Kapazität groß etc. Die elektrische Kapazität, deren praktische Maßeinheit Farad heißt, hängt nicht wie die Wärmekapazität von der stofflichen Beschaffenheit des Körpers ab, sondern von seiner Größe und Form sowie von der Anwesenheit anderer Leiter.

§ 158. **Verteilung der Elektrizität.** Da gleichnamige Elektrizitätsmengen sich abstoßen, so folgt unmittelbar daraus, daß sich bei Leitern die Elektrizität stets an der Oberfläche befinden muß. Die Elektrizitätsmenge in der Flächeneinheit heißt elektrische Dichte und ist der Elektrizitätsmenge direkt, dem Krümmungsradius umgekehrt proportional. Auf einer Kugel ist die Dichte also überall

$$D = \frac{e}{h}$$

gleich, und um so größer, je kleiner die Kugel ist. Am größten ist die Dichte an Hervorragungen, besonders an Spitzen. Hier bekommt die zentrifugale Kraft das Übergewicht, und trotz der umgebenden Isolatoren strömt Elektrizität aus, wobei der elektrische Wind entsteht.

§ 159. **Elektrische Influenz.** Elektrizität entsteht auch schon durch Annäherung eines elektrischen Körpers. Man spricht dann von Influenzwirkung¹ und stellt sich vor, daß schon in jedem unelektrischen Körper beide Arten von Elektrizität vorhanden sind, jedoch so, daß sie sich neutralisieren. Nähert man nun einen elektrischen Körper *A* (Fig. 104), so wird die gleichnamige Elektrizität von *B* in das abgewandte Ende gestoben, die ungleichnamige in das zugewandte angezogen.

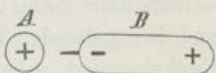


Fig. 104.

Letztere heißt dann gebundene, erstere freie Elektrizität. Wird *A* wieder entfernt, so findet wieder ein Ausgleich statt, und *B* wird unelektrisch. Wird aber vorher die freie Elektrizität, hier also die positive, zur Erde abgeleitet, und dann erst *A* entfernt, so bleibt auf *B* negative Elektrizität zurück. Die Ableitung kann nun auch durch Spitzen geschehen. Bringt man diese an der *A* zugewandten Seite von *B* an, so strömt die negative Elektrizität aus, die positive bleibt zurück. Gleichzeitig neutralisiert aber die ausströmende negative Elektrizität die positive von *A*, so daß es den Anschein hat, als wäre durch die Spitze positive Elektrizität von *A* nach *B* hinübergesaugt worden.

§ 160. **Elektrisierungsmaschine.** Auf diesem Prinzipie beruht z. B. die Elektrisierungsmaschine. Sie besteht aus einer vertikalen, drehbaren Glasscheibe, die bei ihrer Bewegung an das sogenannte Reibzeug, ein mit Zinnamalgam bestrichenes Lederkissen, gepreßt wird. Dadurch entsteht auf dem Reibzeug negative, auf der Glasscheibe positive Elektrizität. Letztere gelangt durch die Drehung auf die entgegengesetzte Seite. Dort sind zu beiden Seiten der Glasscheibe mehrere Spitzen angebracht, die zu einer isoliert stehenden Metallkugel, dem sogenannten Konduktor, führen. Durch Influenz entsteht nun im Konduktor positive, in den Spitzen negative Elektrizität; letztere strömt gegen die Glasscheibe aus und macht sie wieder unelektrisch.

§ 161. **Entladung.** Durch die Elektrisierungsmaschine kann man größere Elektrizitätsmengen erhalten; sie bietet daher Gelegenheit zu zahlreichen Versuchen. Hier soll nur auf die Entladung und ihre

¹ *influo* hineinfließen, beeinflussen.

*Elektrischer
Körper
7. 254.*

*Lammel
Abb. 144
Abb. 145
Abb. 104*

Wirkungen eingegangen werden. Dieselbe kann natürlich einmal dadurch geschehen, daß man das Reibzeug oder den Konduktor leitend mit der Erde oder auch miteinander verbindet; dann fließt die Elektrizität in kontinuierlichem Strom ab. Befindet sich aber in der Nähe des Konduktors ein Körper mit entgegengesetzter Elektrizität (die eventuell erst durch Influenz entsteht), so findet bei genügender Spannung der Ausgleich auch durch eine nichtleitende Zwischenschicht hindurch, in Gestalt des elektrischen Funkens, statt; man spricht dann von einer disruptiven Entladung. Dieselbe dauert außerordentlich kurze Zeit (ca. $\frac{1}{20000}$ Sekunde) und ist bei nicht zu großem Widerstande oszillierend, d. h. besteht aus vielen sehr schnell hin und her gehenden Einzelentladungen. Die Wirkungen des elektrischen Funkens sind sehr mannigfaltig. Abgesehen von der Lichtwirkung, die besonders schön in GEISSLER'schen Röhren [§ 188] zutage tritt, kann er feste Gegenstände durchbohren, chemische Zersetzungen oder Verbindungen herbeiführen, beeinflußt in eigentümlicher Weise den tierischen Organismus (sogenannte elektrische Schläge, die eventuell tödlich werden können) etc.

Beim Ausströmen von Elektrizität (besonders positiver) aus Spitzen entsteht das sog. Büschellicht, das aus einem Bündel violetter Strahlen besteht; bei starker Luftpolektrizität wird es bisweilen an den Spitzen hoher Gegenstände beobachtet und heißt dann St. Elmsfeuer. Funken und Büschel sind zuweilen von einem bläulichen Schimmer umgeben, dem sog. Glimmlicht, das namentlich in verdünnter Luft, z. B. in GEISSLER'schen Röhren auftritt.

§ 162. **Blitzableiter.** Der Blitz ist ein elektrischer Funke in großen, der durch disruptive Entladung ungleichnamiger Luftpolektrizität oder, beim sogenannten Einschlagen, durch Vereinigung von Luftpolektrizität mit der entgegengesetzten eines irdischen Gegenstandes, besonders des Grundwassers, entsteht. Die Luftpolektrizität entsteht entweder durch Reibung der Luft an der Erde oder in ihren einzelnen Schichten, oder vielleicht durch Influenzwirkung von der Erde her. Der Donner entspricht seinerseits dem Knall, der den elektrischen Funken begleitet, und muß wegen der geringeren Geschwindigkeit des Schalles natürlich später wahrgenommen werden. Menschen, welche direkt vom Blitze getroffen werden, erleiden ausgedehnte Verbrennungen und gehen meist zugrunde. Aber auch die Nähe eines einschlagenden Blitzes ist gefährlich wegen des sogenannten Rückschlages, d. i. die plötzliche Wiederherstellung des durch Influenz (des Blitzes) gestörten elektrischen Gleichgewichts. Gegen die Blitzgefahren erfand FRANKLIN den segensreichen Blitzableiter. Er bietet einmal dem zustande gekommenen Blitze eine

bequeme (metallische) Bahn bis zum Grundwasser hin, leitet ihn also von der Umgebung ab; vor allem aber verhütet er das Zustandekommen des Blitzes, da aus der Spitze der Auffangstange die durch Influenz entstandene ungleichnamige Elektrizität ausströmt und die Elektrizität der Gewitterwolke neutralisiert.

§ 163. **Ansammlungsapparate.** Auf Influenz beruhen auch die Ansammlungsapparate für Elektrizität. Ist nämlich *A* (Fig. 104) ein Leiter, so wird durch die Anwesenheit des influenzierten Körpers *B* auch ein Teil seiner eigenen Elektrizität gebunden; dadurch wird aber sein Potential geringer, mithin seine Kapazität größer [§ 157], d. h. er kann jetzt mehr Elektrizität aufnehmen als vorher. Hierauf beruht z. B. der Kondensator, der aus zwei runden Metallplatten, der Kollektor¹- und Kondensatorplatte² besteht; diese sind durch eine nichtleitende Schicht, z. B. Firnis oder Luft, voneinander isoliert. Der Kollektor wird durch den Konduktor einer Elektrisiermaschine solange geladen, bis auf beiden dasselbe Potential ist; bringt man ihm nun die Kondensatorplatte gegenüber und leitet diese zur Erde ab, so kann er nach dem Gesagten viel mehr Elektrizität aufnehmen. Die Menge der gebundenen Elektrizität eines Leiters, dem ein zweiter gegenübersteht, hängt von ihrer Gestalt und Entfernung, dann aber auch wesentlich von der Natur des dazwischen befindlichen Nichtleiters; auch Dielektrikum³ genannt, ab. Man nimmt nämlich jetzt an, daß die elektrische Energie durch Bewegungen des Lichtäthers fortgepflanzt wird, und daß hierbei die Moleküle der Dielektrika eine wesentliche Rolle spielen [cf. § 191]. Die Zahl, welche angibt, wieviel mal mehr Elektrizität der Kollektor aufnehmen kann, wenn Luft durch eine gleichdicke Schicht eines bestimmten Dielektrikums ersetzt ist, heißt Dielektrizitätskonstante. Auf diesen Prinzipien beruht auch die Leydener Flasche.

Diese ist (Fig. 105) ein gewöhnliches, breites Glas, das innen und außen bis in die Nähe des oberen Randes mit Stanniolpapier belegt ist. Mit der inneren Belegung ist eine Metallstange verbunden, die mit einem Knopfe endigt. Die Stanniolplatten stellen hier also Kollektor und Kondensator vor, das Glas das Dielektricum. Ist die äußere Belegung durch einen Draht mit der Erde verbunden, so kann die Leydener Flasche stark geladen werden, um so stärker, je größer die Belegung ist. Daher vereinigt man oft mehrere solcher Flaschen zu einer sog. Batterie.

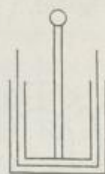


Fig. 105.

¹ *colligo* sammeln.

² *condenso* verdichten.

³ *diá* zwischen.

Lammell
Abb. 145.

Lammell
Abb. 146.

Samuel
Abb. 107
Vol. 1. Pl.
Abb. 106.

§ 164. **Influenzmaschine.** Die beste Vorrichtung, durch Influenz viel Elektrizität zu erhalten, ist die Influenzmaschine. Dieselbe besteht im wesentlichen aus zwei Glasscheiben; die eine ist fest und hat an zwei gegenüberliegenden Stellen Ausschnitte; oberhalb derselben ist sie mit Papierstreifen (Kuchen) beklebt, die in die Ausschnitte spitze Fortsätze senden. Vor der zweiten, beweglichen, Scheibe sind an zwei gegenüberliegenden Stellen Spitzen angebracht, die leitend mit zwei Kugeln verbunden sind. Letztere müssen sich zuerst berühren. Ladet man nun die eine Papierbelegung und dreht die bewegliche Scheibe, so entsteht immer mehr Elektrizität, so daß, wenn jetzt die Konduktoren auseinandergebracht werden, Funken zwischen ihnen übergehen.

Zur Erklärung diene Fig. 106, die einen Horizontalschnitt vorstellt. AB stellt die (hintere) feste, CD die (vordere) bewegliche Scheibe, p und p' die Kuchen mit ihren Fortsätzen, s und s' die Spitzen, c und c' die Konduktoren vor. Wird nun z. B. dem Kuchen p negative Elektrizität mitgeteilt, so wird durch Influenz die Hinterseite von CD positiv, die Vorderseite

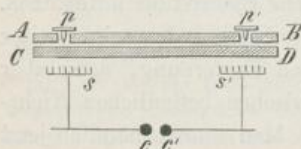


Fig. 106.

negativ elektrisch. Aber die Influenz erstreckt sich auch auf die davorstehende Metallleitung; es wird daher der Konduktor c negativ, die Spitzen s positiv elektrisch. Da letztere ihre Elektrizität ausströmen lassen, so wird also die bewegliche Scheibe beiderseits positiv, bis sie durch Drehung auf die andere Seite kommt. Hier wird zunächst durch Influenz der Kuchen p' positiv, während aus seinem Zahn negative Elektrizität ausströmt und die Hinterseite von CD negativ macht. An der Vorderfläche geschieht dasselbe durch die Metallspitzen; diese werden nämlich durch Influenz negativ, der rechte Konduktor wird positiv. Die Scheibe ist daher in der oberen Hälfte ganz negativ. Kommt sie nun wieder auf die linke Seite, so wird der Kuchen durch Influenz negativ, so daß eine Ladung von außen nicht mehr nötig ist. Diese Vorgänge wiederholen sich bei jeder Umdrehung, so daß sich die Wirkung



Fig. 107. verstärkt.



Fig. 108.

§ 165. **Elektrometer.** Zur Messung von Elektrizitätsmengen, bezw. Potentialdifferenzen, dienen die Elektrometer. Das von HENLEY ist ein einfacher elektrischer Pendel aus leitender Substanz (Fig. 107), der um so größere Ausschläge macht, je mehr Elektrizität der betreffende Körper a besitzt. Einer der feinsten Apparate ist das Quadrantelektrometer von Lord KELVIN (früher W. THOMSON). Hier schwingt ein stark positiv geladenes, ungefähr sohlenförmiges Aluminiumblättchen

zwischen vier, kreuzweise miteinander verbundenen, metallischen Quadranten, die zusammen eine Art Schachtel bilden. Wird nun dem einen Quadrantenpaare Elektrizität mitgeteilt, nachdem das andere zur Erde abgeleitet ist, so wird das Aluminiumblättchen abgelenkt, und zwar ist der Ausschlag der mitgeteilten Elektrizitätsmenge proportional; auch gibt die Richtung zugleich die Art der Elektrizität an.

B. Der elektrische Strom.

a. Entstehung und Gesetze des galvanischen Stromes.

§ 166. **Galvani und Volta.** Am Ende des 18. Jahrhunderts wurde GALVANI von einem Assistenten aufmerksam gemacht, daß Froschschenkel, mit einem Skalpell berührt, jedesmal zuckten, wenn Funken aus dem Konduktor einer Elektrisiermaschine gezogen wurden. Während dies heute durch den Rückschlag erklärt wird, sah GALVANI darin eine Äußerung der tierischen Elektrizität und stellte zahlreiche Versuche darüber an. Als er u. a. enthäutete Froschschenkel mittels kupferner Drähte an einem Eisengeländer aufhängte, zuckten dieselben lebhaft, wenn sie das Geländer berührten. Auch dies schrieb GALVANI der tierischen Elektrizität zu. VOLTA dagegen erklärte diese Erscheinung so, daß durch die Berührung der beiden Metalle Elektrizität entsteht, welche durch die Schenkel fließt und sie zum Zucken bringt. Diese VOLTA'sche Erklärung hat am meisten Anklang gefunden. Doch ist sie nur zum Teil richtig, und auch GALVANI hatte recht; denn in der Tat existieren in den lebenden Nerven und Muskeln (sowie auch in anderen Körpergeweben) elektrische Spannungen. Jedenfalls gebührt VOLTA das Verdienst, eine neue Entstehungsart der Elektrizität gefunden zu haben.

§ 167. **Gesetze der Kontaktelektrizität.** Die von VOLTA aufgestellte Kontakttheorie lehrt also, daß durch Berührung zweier Metalle, oder eines Metalls mit einer Flüssigkeit, Elektrizität entsteht. Die hierbei tätige elektromotorische Kraft erzeugt nämlich in den betreffenden Körpern, den sog. Elektromotoren, beständig eine Potential- oder Spannungsdifferenz, indem auf einem Körper das Maximum der positiven, im anderen das der negativen Elektrizität entsteht. Verbindet man daher leitend beide Elektromotoren, so strömt die Elektrizität wieder zu den Stellen niederen Potentials [§ 156]; da nun durch die Berührung die Potentialdifferenz stets von neuem entsteht, so kommt ein konstanter Strom dadurch zustande.

Man spricht dann auch von dynamischer, im Gegensatz zu der statischen oder ruhenden Elektrizität. VOLTA teilte nun die Elektromotoren in zwei große Klassen ein. Die der ersten Klasse, zu denen namentlich alle Metalle und Kohle gehören, lassen sich in eine sog. Spannungsreihe so anordnen, daß bei einer Berührung immer das vorangehende Glied positiv, das nachfolgende negativ wird. Die Volta'sche Reihe lautete:

+ Zink, Blei, Zinn, Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Platin, Kohle —
Die Potentialdifferenz ist nun um so größer, je weiter die betreffenden Körper in dieser Reihe auseinanderstehen. Sie ist aber unabhängig von der Form und Größe der berührenden Platten, und wird auch nicht geändert, wenn noch andere Metalle dazwischengeschaltet sind; durch eine Kombination von *Zn*, *Fe*, *Ag*, *Pt* wird also dieselbe Spannungsdifferenz erzielt wie zwischen *Zn* und *Pt*. Daraus geht auch hervor, daß, wenn ausschließlich Elektromotoren erster Klasse ringförmig verbunden sind, in diesem Kreise kein Strom möglich ist, weil ja jedes Metall gleichzeitig als Anfangs- und Endglied der Reihe betrachtet werden kann, die Potentialdifferenz also = 0 ist. Diesen Gesetzen der Spannungsreihe gehorchen aber die Elektromotoren zweiter Klasse, zu denen besonders Flüssigkeiten (Säuren und Salzlösungen) gehören, nicht. Die Potentialdifferenz der Endglieder ist also nicht gleich der algebraischen Summe derjenigen der Zwischenglieder, so daß hier die Anordnung zu einem geschlossenen Kreise möglich ist. Taucht nämlich ein Metall in eine Flüssigkeit, so wird das herausstehende Ende meist negativ elektrisch, die Flüssigkeit und dadurch auch das eingetauchte Ende meist positiv; und zwar ist die Spannungsdifferenz um so größer, je weiter vorn in der Spannungsreihe das Metall steht; *Zn* wird also am stärksten negativ, *Cu* bedeutend schwächer. Tauchen nun *Zn* und *Cu* zusammen in eine Flüssigkeit, so ergibt sich Folgendes: Die starke positive Elektrizität des unteren Zinkendes geht durch die Flüssigkeit zum Kupfer, und trifft an dessen hervorstehendem Ende mit schwach negativer

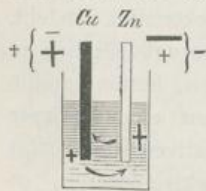


Fig. 109.

Elektrizität zusammen, macht es daher schwach positiv. Umgekehrt geht die schwach positive Elektrizität des unteren Kupferendes bis zum oberen Zinkende und schwächt dessen stark negative Elektrizität so, daß es schwach negativ elektrisch wird (Fig. 109). Im allgemeinen wird

also bei zwei Metallen das in der VOLTA'schen Spannungsreihe voranstehende an seinem freien Ende negativ, das weiter hinten stehende positiv elektrisch. Die Spannungsreihen für

Metalle und Flüssigkeiten, die je nach der Flüssigkeit wechseln, sind also im allgemeinen umgekehrt wie die VOLTA'sche Reihe.

§ 168. **Galvanische Elemente.** Die Verbindung zweier Metalle mit einer Flüssigkeit heißt nun galvanisches Element oder galvanische Kette. Sind die beiden Metalle außerhalb der Flüssigkeit durch einen sog. Schließungsdraht verbunden, so ist die Kette geschlossen, sonst offen. In einer geschlossenen Kette fließt der galvanische Strom, der durch die fortwährend wirkende elektromotorische Kraft beständig im Gange erhalten wird, stets nach beiden Richtungen. Spricht man kurzweg von der Richtung des Stromes, so meint man stets die des positiven. Dieser fließt also z. B. in dem Schließungsdraht eines Zink-Kupfer-Elements vom positiven Kupfer zum negativen Zink. Im Elemente selbst muß er natürlich vom Zink zum Kupfer fließen, damit der Stromkreis geschlossen ist. Die freien Enden der Metalle eines Elements, bezw. die Enden der damit verbundenen Drähte, heißen Pole oder Elektroden; diejenige, von welcher der Strom herkommt, beim positiven Strom also die positive, wird Anode (*ἀνά ὀδόν*) genannt, die andere Kathode. Durch Vereinigung mehrerer Elemente entsteht eine galvanische Batterie. Die älteste Form derselben ist die Volta'sche Säule; sie besteht aus abwechselnd übereinandergeschichteten Zink- und Kupferplatten, zwischen denen immer befeuchtete Tuchlappen liegen. Die Reihenfolge ist also hier Zink, Feuchtigkeit, Kupfer; Zink, Feuchtigkeit, Kupfer etc.

§ 169. **Konstante Ketten.** Die zuerst konstruierten galvanischen Ketten hatten alle den Fehler, daß sie bald immer schwächer wurden. Da nämlich der elektrische Strom in Flüssigkeiten Umsetzungen bewirkt, und sich die Zersetzungsprodukte an den Elektroden abscheiden, so werden diese gewissermaßen von der Flüssigkeit isoliert. So entsteht z. B. durch Zersetzung des Wassers *H* und *O* [cf. § 178]; letzterer wird am Zink abgeschieden und bildet das nichtleitende Zinkoxyd, ersterer überzieht das Kupfer mit einem feinen, ebenfalls nichtleitenden Häutchen. Ja, es entsteht sogar zwischen dem elektropositiven *H* und dem elektronegativen *O* ein neuer Strom, der sog. Polarisationsstrom, der dem ursprünglichen entgegengesetzt fließt und ihn somit schwächen muß. Um diesen Übelstand zu beseitigen, hat man konstante Ketten konstruiert, bei denen jede Elektrode in eine besondere Flüssigkeit taucht; dieselbe hat zugleich die Eigenschaft, die störenden Zersetzungsprodukte zu beseitigen, so daß also die Elektroden hier unpolarisierbar sind. Eins der gebräuchlichsten derartigen Elemente ist das

*Journal
all. 43*

DANIELL'sche. Kupfer taucht hier in Kupfervitriollösung; in diesem Gefäße steht ein mit verdünnter Schwefelsäure gefüllter poröser Tonzylinder, in den das Zink taucht. Hierbei wird das Kupfervitriol zerlegt in Cu und SO_4 . Cu scheidet sich wie alle Metalle (und auch Wasserstoff) an der Kathode ab [cf. § 178], also am Kupfer, da im Elemente der Strom von Zink zum Kupfer geht. Der Rest SO_4 wandert zum Zink, trifft aber unterwegs den durch Zersetzung der H_2SO_4 entstandenen H_2 und vereinigt sich mit ihm wieder zu H_2SO_4 . Der Rest der ursprünglichen Schwefelsäure, SO_4 , geht zum Zink und bildet mit ihm das lösliche $ZnSO_4$. Das definitive Resultat ist also, daß das Zink fortwährend aufgelöst wird, das Kupfer aber durch die Auflagerung von metallischem Cu gewissermaßen wächst. Ähnlich ist der Vorgang auch bei allen anderen konstanten Ketten. Hier sei noch das GROVE'sche Element erwähnt (Zink in Schwefelsäure, Platin in Salpetersäure), das BUNSEN'sche (Zink in Schwefelsäure, Kohle in Salpetersäure) und das von LECLANCHÉ (Zink in Salmiaklösung, Kohle in Braunstein). Sehr praktisch sind die Trockenelemente, die ebenfalls meist aus Zink und Kohle bestehen. An Stelle der Flüssigkeit enthalten sie aber eine mit einer geeigneten Lösung getränkte mehr oder weniger erhärtete Füllmasse (Gips, Kreide, Ton etc.), deren nähere Zusammensetzung Fabrikgeheimnis ist.

*Journal
all. 165
166.*

§ 170. **Akkumulatoren.** In neuerer Zeit benutzt man auch den Polarisationsstrom, indem man die Elektroden, an denen sich durch Zersetzung von Wasser H und O abgeschieden haben, durch einen Schließungsdraht verbindet. Der so entstehende Strom hat, wie bereits erwähnt, die umgekehrte Richtung wie der ursprüngliche und dauert natürlich nur solange, bis die an den Elektroden aufgespeicherten Stoffe verbraucht sind. Derartige, von PLANTÉ erfundene, sekundäre Elemente heißen auch Akkumulatoren¹⁾; sie zeichnen sich einmal durch ihre große und sehr konstante elektromotorische Kraft aus und können vor allem zur Aufspeicherung von Kräften dienen, die dann im passenden Augenblicke zur Benutzung bereit sind. Eine Akkumulator-„Zelle“ besteht aus zwei durch Kautschukbänder etc. getrennten Bleiplatten in verdünnter Schwefelsäure, durch welche ein galvanischer Strom geschickt wird. Dabei verbindet sich der entstehende Sauerstoff mit der Anode zu Bleisuperoxyd, der Wasserstoff wird an der Oberfläche der Kathode verdichtet. Eine stärkere Wirkung erzielt man nach FAURE dadurch,

^{1) accumulo anhäufen.}

daß man die mit tiefen Nuten versehenen bzw. gitterförmig durchbrochenen Bleiplatten vorher mit Mennige (Pb_3O_4) bestreicht.

§ 171. **Ohm'sches Gesetz.** Wenn in einem Stromkreise der (positive) Strom vom positiven zum negativen Pol fließt, so kann dies nur geschehen, weil auf dieser Strecke das Potential beständig abnimmt. Es ist ja das positive Potential am positiven Pol am größten, am negativen am kleinsten; für das negative Potential gilt das Umgekehrte. Die Kraft, welche diese Potentialdifferenz schafft, ist eben die ihrem Wesen nach noch unbekannte elektromotorische Kraft (E). Bezeichnet man nun die Elektrizitätsmenge, die in einer Sekunde durch irgend einen Querschnitt geht, also $\frac{e}{t}$, mit Stromstärke oder Stromintensität (I), so ist zunächst klar, daß dieselbe im ganzen Stromkreise gleichgroß sein muß, da sonst eine Stauung der Elektrizität eintreten müßte; es ist genau wie bei einem Flusse, bei dem auch stets durch alle Querschnitte dieselbe Wassermenge in der Zeiteinheit geht. OHM zeigte nun, daß die Stromstärke proportional der elektromotorischen Kraft (oder Potentialdifferenz), umgekehrt proportional dem Widerstande (W) ist,

$$I = \frac{E}{W}$$

Der Widerstand ist offenbar um so größer, einen je längeren Weg der elektrische Strom zurücklegt, und je schmaler derselbe ist,

$$W = \frac{l}{q} k,$$

worin l die Länge, q den Querschnitt des Leiters, k den spezifischen (gewöhnlich auf Quecksilber bezogenen) Widerstand bedeutet; denn der Widerstand hängt natürlich auch von der Natur des Leiters ab. Der Gesamtwiderstand W setzt sich nun zusammen aus dem Widerstande im Elemente selbst (innerer oder wesentlicher W .) w , und dem im Schließungskreise (äußerer oder außerwesentlicher W .) w' .

Es ist daher $I = \frac{E}{w + w'}$. Aus dieser Formel ergeben sich wichtige praktische Folgerungen. Will man größere Stromintensität erzielen, so verbindet man mehrere Elemente zu einer Batterie. Hierbei kann man entweder den positiven Pol des einen Elements mit dem negativen des nächsten verbinden (Hintereinander-, Reihen- oder Serienschaltung), oder alle positiven Pole miteinander und ebenso alle negativen vereinigen (Nebeneinander- oder Parallelschaltung). Im letzteren Falle vergrößert man bei n Elementen die

Flächen der Elektroden um das n fache. Die elektromotorische Kraft bleibt hierbei dieselbe wie bei einem Elemente, da sie ja von der Größe der Metallplatten unabhängig ist [§ 167]; dagegen wird der innere Widerstand um das n fache kleiner, weil ja jetzt der Strom durch eine n mal breitere Flüssigkeit geht. Es ist daher hier

$$I = \frac{E}{\frac{1}{n}w + w'}. \text{ Ist der äußere Widerstand so gering, daß er ver-}$$

nachlässigt werden kann, so ist also $I = n \frac{E}{w}$, d. h. man erzielt eine n fache Intensität. Ist aber w' groß, so wird die Intensität nicht wesentlich vergrößert. In diesem Falle bedient man sich der Hintereinanderschaltung. Hierbei wird die elektromotorische Kraft um das n fache vergrößert, aber auch der innere Widerstand. Es ist also $I = \frac{nE}{nw + w'}$. Kann nw gegenüber w' vernachlässigt werden, so ist $I = \frac{nE}{w'}$, d. h. die Intensität wird um das n fache vergrößert. Also bei großem inneren Widerstande schaltet man die Elemente nebeneinander, bei großem äußeren hintereinander. Das Maximum der Stromstärke ist vorhanden, wenn innerer und äußerer Widerstand gleich sind.

§ 172. **Stromverzweigung.** Für Stromverzweigungen gelten die beiden Kirchhoffschen Gesetze:

1) Die Zweigströme sind zusammen so stark wie der Hauptstrom; sonst müßte ja eine Stauung der Elektrizität stattfinden.

2) In jedem geschlossenenen Kreise ist die Summe aller Produkte aus Stromstärke mit dem dazu gehörigen Widerstand gleich der elektromotorischen Kraft in diesem Kreise. Es ist dies eine Verallgemeinerung des Ohm'schen Gesetzes.

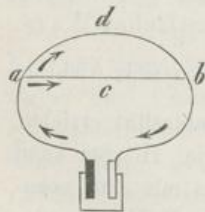


Fig. 110.

Betrachten wir zunächst den einfachsten Fall, der in Fig. 110 dargestellt ist.

Da zwischen den Punkten a und b eine bestimmte Potentialdifferenz herrscht, die von dem Wege ganz unabhängig ist, eine Potentialdifferenz aber als direkte Folge der elektromotorischen Kraft dieser proportional ist, so ist nach § 171 die Stromintensität

$$\text{in } acb = \frac{\text{Potentialdifferenz } ab}{\text{Widerstand } acb},$$

$$\text{in } adb = \frac{\text{Potentialdifferenz } ab}{\text{Widerstand } adb}.$$

Daraus folgt, daß in Verzweigungen die Stromstärken sich umgekehrt wie die Widerstände verhalten. Hierauf beruht z. B. der Stöpselrheostat.¹

Derselbe besteht aus einer Anzahl breiter Messingplatten (Fig. 111), die in bestimmten Abständen stehen und durch dünne Drähte verbunden sind. Werden zwischen sie dichtanschließende Messingstöpsel eingeschaltet, so geht wegen des geringeren Widerstandes der größte Teil des Stromes durch sie und behält eine große Intensität. Wird aber ein Stöpsel herausgenommen, so muß der Strom durch den betreffenden Drahtkreis fließen, wodurch seine Intensität sehr geschwächt wird. Dieser Apparat dient daher zu Abstufung der Stromstärke und Messung von Widerständen.

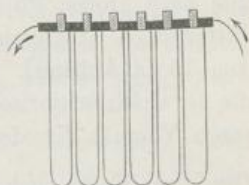


Fig. 111.

Verbindet man die beiden Stromzweige in Fig. 110 noch durch einen Draht, so erhält man die sogenannte Wheatstone'sche Brücke (Fig. 112). Wie aus den Pfeilen sofort hervorgeht, kreuzen sich in der Brücke cd zwei Ströme; daher kann man durch eine geeignete Anordnung bewirken, daß in der Brücke selbst kein Strom herrscht. Da dies aber nur möglich ist, wenn in c und d gleiches Potential herrscht, so verhalten sich wieder die Stromstärken in ac und ad umgekehrt wie

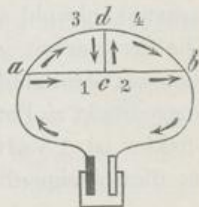


Fig. 112.

ihre Widerstände $\frac{i_1}{i_3} = \frac{w_3}{w_1}$; ebenso ist $\frac{i_2}{i_4} = \frac{w_4}{w_2}$.

Wenn nun in der Brücke kein Strom herrschen soll, so kann man sich diesen Draht fortgenommen denken. Dann muß $i_1 = i_2$ und $i_3 = i_4$ sein, weil ja in demselben Stromkreise stets dieselbe Intensität herrscht.

Es ist mithin auch $\frac{w_3}{w_1} = \frac{w_4}{w_2}$. Daraus folgt $w_1 : w_2 = w_3 : w_4$. Unter dieser Bedingung herrscht also in der Brücke kein Strom. Umgekehrt kann man daraus, wenn in der Brücke kein Strom herrscht, was ja durch ein Galvanometer [§ 179] leicht nachzuweisen ist, den Widerstand eines eingeschalteten Körpers berechnen, wenn die drei anderen Widerstände, resp. ein Widerstand und das Verhältnis der beiden anderen, bekannt ist.

¹ ῥέω fließen, ἵστημι zum Stehen bringen, also Rheostat = Widerstandsapparat.

Um den Widerstand von Flüssigkeiten mittels der Brückenmethode zu messen, muß man Wechselströme [§ 184] anwenden, da sie sonst zersetzt würden. An Stelle des Galvanometers, das für Wechselströme ungeeignet ist, schaltet man dann in die Brücke ein Telephon ein, das solange tönt, wie ein Strom durch die Brücke geht.

§ 173. **Elektrische Maße.** Die in der Praxis benutzten elektrischen Maßeinheiten, die zum Teil bereits erwähnt wurden, sind alle nach großen Physikern benannt und unterscheiden sich von den betreffenden absoluten Maßen durch positive oder negative Potenzen von 10 [s. Anhang]. So heißt die Einheit der Intensität 1 Ampère, die der elektromotorischen Kraft, des Potentials, der Spannung 1 Volt¹ (nach VOLTA), die des Widerstandes 1 Ohm. Man kann daher das OHM'sche Gesetz auch schreiben: $1 \text{ Ampère} = \frac{1 \text{ Volt}}{1 \text{ Ohm}}$. Als Widerstandseinheit benutzt man auch die Siemens-Einheit (*S. E.*), die dem Widerstande einer 1 m langen Quecksilbersäule von 1 qmm Querschnitt bei 0° entspricht. $1 \text{ Ohm} = 1,06 \text{ S. E.}$ Ferner ist zu erwähnen die Einheit der Elektrizitätsmenge, 1 Coulomb, und die der Kapazität, 1 Farad (nach FARADAY). Die Einheit der Stromenergie oder der Stromarbeit ist 1 Volt-Coulomb [§ 156] und wird auch 1 Joule genannt, obwohl sie eigentlich diesem nur äquivalent ist [s. Anhang]. Die Stromarbeit in 1 Sekunde heißt Stromeffekt [§ 13]. Derselbe ist also = Potentialdifferenz \times Elektrizitätsmenge pro Sekunde oder anders ausgedrückt = Potentialdifferenz \times Stromstärke. Die Einheit des Stromeffektes ist 1 Volt-Ampère und wird auch 1 Watt genannt, obwohl sie diesem eigentlich nur äquivalent ist [s. Anhang].

b. Wärme-, Licht- und chemische Wirkungen.

§ 174. **Joule'sches Gesetz.** Da zur Erzeugung des elektrischen Stromes Arbeit notwendig ist, ergibt sich aus dem Gesetze von der Erhaltung der Energie, daß der Strom auch seinerseits Arbeit leisten kann [cf. § 156]. Seine mannigfachen Wirkungen teilt man gewöhnlich ein in solche innerhalb und außerhalb des Stromkreises. Zu ersteren gehört die Erwärmung, welche eintritt, wenn der Strom durch Leiter, besonders Metalle und Kohle, geht. JOULE fand nun, daß in der Zeiteinheit die dabei entstehende Wärme proportional dem Widerstande und dem Quadrate der Intensität ist,

$$Q = J^2 W.$$

¹ Die elektromotorische Kraft eines Daniell-Elementes beträgt ca. 1 Volt, die eines Bleiakкумуляtors ca. 2 Volt.

Dieses ergibt sich auch schon daraus, daß der Stromeffekt [§ 173] gleich dem Produkt aus Potentialdifferenz und Intensität, JE , ist. E ist aber nach dem Ohm'schen Gesetze $= J.W$.

Aus der Definition des Widerstandes folgt nun, daß die Wärmeentwicklung besonders stark in dünnen Drähten sein muß. Darauf beruht die Galvanokaustik, d. i. die Anwendung von glühenden Schlingen, Nadeln etc. in der Medizin. Ist die Erwärmung sehr groß, so entsteht Licht. Bei den Glühlichtlampen von EDISON geht der Strom durch einen dünnen, hufeisenförmig gebogenen Kohlenfaden, der sich in einem luftleeren Glasballon befindet, weil er sonst infolge von Sauerstoffzutritt verbrennen würde.

§ 175. **Bogenlicht.** Auf der JOULE'schen Wärme beruht auch das elektrische Bogenlicht. Benutzt man nämlich zwei Kohlen als Elektroden und sendet einen starken Strom hindurch, so geht derselbe kontinuierlich durch die Spitzen, wenn sie einander berühren; entfernt man sie dann aber, so entsteht zwischen ihnen ein außerordentlich heller Lichtbogen, auch Davy'scher Lichtbogen genannt. Bei dem Übergang durch die Luftschicht entsteht nämlich eine so bedeutende Wärme (ca 4000° CELSIUS), daß die Kohlenspitzen und die Luft glühend werden. Hierbei fliegen Stücke von der positiven zur negativen Kohle über, und da erstere überhaupt stärker erhitzt wird, so brennt sie schneller ab; es bildet sich ein Krater in ihr, während die negative Kohle spitz bleibt. Schließlich wird dadurch die Luftschicht zwischen beiden Kohlen und somit der Widerstand zu groß, und der Strom erlischt. Daher ist eine Regulation nötig, die am besten von der Differentiallampe von HEFNER-ALTENECK geleistet wird.

Der untere Teil des Eisenstabes AB (Fig. 113) wird von wenigen starken Windungen des Stromkreises umgeben. Dieser geht von hier zum Hebel CD , der in der Mitte von AB befestigt ist und in E seinen Drehpunkt hat; vom Hebel dann durch beide Kohlen und schließlich zur Batterie zurück. In a zweigt sich eine Nebenleitung ab, die in vielen schwachen Windungen um den oberen Teil von AB geht und sich bei b mit dem ersten Stromkreise wieder vereinigt. Berühren sich die Kohlen, so geht der Strom hauptsächlich durch den unteren Draht, weil hier der Widerstand kleiner ist. Dadurch wird der Eisenstab nach unten gezogen [§ 181], und infolge der Hebelwirkung die obere Kohle nach oben, so daß der Lichtbogen entsteht. Wird nun die Entfernung zwischen beiden Kohlen größer, so wächst der

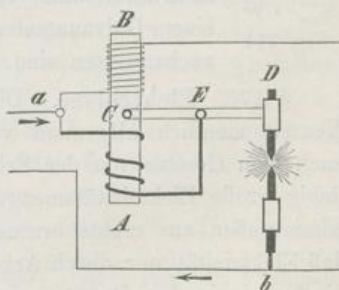


Fig. 113.

Widerstand im unteren Stromkreise, und der Strom fließt mehr durch den oberen. Dadurch wird der Eisenstab nach oben gezogen, und die obere Kohle geht durch Hebelwirkung nach unten.

§ 176. **Peltier'sches Phänomen.** Geht der Strom durch eine Stelle, an der zwei Metalle zusammengelötet sind, so zeigt sich hier außer der JOULE'schen Wärme, je nach der Stromrichtung, noch eine besondere Erwärmung oder Abkühlung. Am stärksten zeigt sich dieses Peltier'sche Phänomen an Lötstellen von Wismut und Antimon. Geht der Strom vom Antimon zum Wismut, so findet eine Erwärmung statt, im umgekehrten Falle eine Abkühlung. Dies tritt auch bei anderen Metallen ein, und es läßt sich wieder eine thermoelektrische Spannungsreihe aufstellen. Fließt der Strom zuerst durch das in der Reihe voranstehende Metall, so findet eine Erwärmung, sonst eine Abkühlung statt. Die Endglieder dieser Reihe sind Antimon und Wismut.

*Samml.
Abb. 195.*

§ 177. **Thermoelektrizität.** Dieser Prozeß ist, wie die meisten elektrischen, einer Umkehrung fähig. Wird nämlich die Lötstelle zweier Metalle erwärmt, so entsteht ein Strom in bestimmter Richtung, z. B. vom Wismut zum Antimon; wird sie abgekühlt, so entsteht ebenfalls ein elektrischer Strom, aber von entgegengesetzter Richtung. Die Stärke des Stroms ist im allgemeinen der Temperaturdifferenz proportional. Will man die schwache elektromotorische Kraft eines solchen Thermostromes¹ erhöhen, so vereinigt man mehrere Thermolemente zu einer Thermosäule, bei der immer die ungeraden Lötstellen an einer Seite liegen und zusammen erwärmt werden (Fig. 114). Diese Thermosäulen werden weniger zur Erzeugung brauchbarer Elektrizitätsmengen benutzt, als zur Wärmemessung, da schon sehr geringe Temperaturdifferenzen elektrische Ströme erzeugen, die mit einem Galvanometer (Thermomultiplikator) sehr genau nachzuweisen sind.

*Samml.
Abb. 193.*

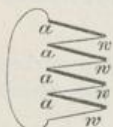


Fig. 114.

§ 178. **Elektrolyse.** Die VOLTA'sche Kontakttheorie ist in der Neuzeit ziemlich allgemein verlassen worden. Sie widerspricht ja auch dem Gesetze von der Erhaltung der Energie, weil nach ihr beliebig große Elektrizitätsmengen durch einfache Berührung, also gewissermaßen aus nichts erzeugt werden. Man ist jetzt der Ansicht, daß Elektrizität nur durch Arbeit entstehen kann, sei es durch mechanische wie in den Dynamomaschinen, sei es durch Erwärmung, oder durch chemische Vorgänge. Wahrscheinlich ist die Zersetzung von

¹ θερμός warm.

Flüssigkeiten durch den elektrischen Strom so aufzufassen, daß durch die chemische Zersetzung erst der Strom entsteht. Dafür spricht die Tatsache, daß nur solche Flüssigkeiten leiten, welche dabei zersetzt werden. Man nennt nun derartige Flüssigkeiten Elektrolyte, den Vorgang selbst Elektrolyse¹). Bei der Zersetzung werden an der Kathode, also an dem negativen Pole, stets die elektropositiven Bestandteile der Moleküle, wozu die Metalle und der ihnen nahestehende Wasserstoff gehören, abgeschieden, an der Anode die übrigbleibenden Bestandteile. Also in einer Zinksulfatlösung geht Zn zur Kathode, SO_4 zur Anode. Oft treten aber bei der Abscheidung an den Elektroden noch sekundäre Prozesse ein. So entsteht z. B. bei der Wasserzersetzung H und O . Dies beruht aber stets auf der Anwesenheit von Salzen oder Säuren, da chemisch reines Wasser überhaupt nicht leitet. Enthält z. B. das Wasser etwas Kochsalz ($NaCl$), so wird dieses in Na und Cl zerlegt. Na geht zur Kathode, verbindet sich dort zu $NaOH$ und macht H frei; Cl geht zur Anode, verbindet sich zu HCl und macht O frei. H und O entstehen somit erst sekundär. Daß die Zersetzungsprodukte nur an den Elektroden auftreten, beruht nach CLAUSIUS und ARRHENIUS darauf, daß durch Auflösung in einer Flüssigkeit die Salzmoleküle dissoziiert werden, daß also eine Scheidung in elektropositive und -negative Atomgruppen eintritt. Durch die Anziehung der Elektroden findet nun eine Wanderung dieser Gruppen statt, die daher Ionen heißen, und zwar wandern zur Kathode die Kationen, zur Anode die Anionen und werden dort gebunden. Im Innern der Flüssigkeit neutralisieren sich aber die, wenn auch getrennten, Ionen gegenseitig. Die Wirkung des elektrischen Stromes besteht hiernach² also nicht darin, daß er die Flüssigkeit zersetzt, sondern daß er den bereits zersetzten Molekülen eine bestimmte Richtung erteilt. Bei jeder derartigen Zersetzung gelten nun die elektrolytischen Grundgesetze von FARADAY:

1) die Menge der Zersetzungsprodukte ist in gleichen Zeiten der Stromstärke proportional;

2) von demselben Strom werden bei Zersetzung verschiedener Flüssigkeiten stets chemisch äquivalente Mengen abgeschieden. Darunter versteht man das Verhältnis zwischen Atomgewicht und Wertigkeit. Es werden also für 1 g H 35,5 g Cl , $\frac{16}{2}$ g O , $\frac{14}{3}$ g N etc. abgeschieden. Da nun 1 g H dasselbe Volumen

¹ λύσις Auflösung, Zersetzung.

² Nach der jetzt verlassenen Theorie von GROTHIUS findet dagegen der Zerfall in Ionen erst durch Einwirkung des elektrischen Stromes statt.

hat wie 16 g *O* und 14 g *N*, so verhalten sich die abgeschiedenen Volumina hier wie $1:\frac{1}{2}:\frac{1}{3}$.

Nach dem ersten dieser Gesetze kann aus der Menge der in der Zeiteinheit abgeschiedenen Substanz die Stromintensität berechnet werden. Die hierauf beruhenden Apparate heißen Voltmeter. Beim Knallgasvoltmeter mißt man die Menge des durch Wasserzersetzung entstandenen Knallgases, beim Silbervoltmeter stellt man die Gewichtszunahme fest, die eine als Kathode benutzte Platinschale erfährt, wenn aus einer $AgNO_3$ -Lösung Silber auf ihr niedergeschlagen wird.

Bei der galvanischen Versilberung oder Vergoldung wird der betreffende Gegenstand ebenfalls als Kathode benutzt; dann schlägt sich aus der Silber- oder Goldlösung das Metall auf ihm nieder. An die Anode bringt man hierbei einen Silber- oder Goldstreifen, welcher durch das Anion aufgelöst wird und so die elektrolytische Flüssigkeit beständig erneuert. Ähnlich ist die Galvanoplastik, bei der man von einem Gegenstande, der eingefettet und dann als Kathode benutzt wird, einen Metallabguß herstellt. Auch die Reindarstellung von Metallen aus ihren Verbindungen, z. B. des Aluminiums, beruht auf der Elektrolyse.

c. Elektromagnetismus und Elektrodynamik.

§ 179. **Ablenkung der Magnetnadel.** Im Jahre 1820 entdeckte OERSTEDT das merkwürdige Phänomen, daß ein Strom, der eine Magnetnadel umfließt, dieselbe ablenkt, und zwar senkrecht zu seiner Ebene zu stellen sucht. Die Richtung der Ablenkung ergibt sich aus der sog. Ampère'schen Schwimmregel: Denkt man sich in der Richtung des positiven Stromes schwimmend, das Gesicht der Nadel zugekehrt, so wird ihr Nordpol nach links abgelenkt. Da die Größe der Ablenkung der Stromstärke (und der vom Strom umflossenen Fläche) proportional ist, wird sie zur Bestimmung derselben benutzt. Der einfachste hierauf beruhende Apparat ist die Tangentenbussole. Hier fließt ein Strom durch einen vertikalen, in die Ebene des magnetischen Meridians gestellten Kreis aus Metalldraht und wirkt auf eine horizontale Magnetnadel ein. Wie sich zeigen läßt, ist hier die Stromstärke proportional der Tangente des Ablenkungswinkels; daher stammt auch der Name. Zu feineren Messungen dienen die Multiplikatoren oder Galvanometer, bei denen die Wirkung des Stromes dadurch verstärkt ist, daß er in vielen Umwindungen die Nadel umkreist. Außerdem wendet

Handw.
266 178.

man hier astatiche Nadeln an. Bei diesen ist der störende Einfluß des Erdmagnetismus dadurch aufgehoben, daß eine gleichstarke Magnetnadel über der ersten so angebracht ist, daß die ungleichnamigen Pole übereinanderliegen (Fig. 115). Aus der Ampère'schen Regel folgt ohne weiteres, daß die zweite Nadel außerhalb des Stromkreises angebracht sein muß, weil ja sonst überhaupt keine Ausschläge zustande kämen.

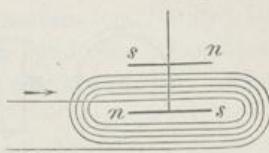


Fig. 115.

Derartige Galvanometer werden nicht nur zur Messung von Stromstärken, sondern auch von Spannungsdifferenzen benutzt. Sind sie so geacht, daß die Skala für jeden Ausschlag der Nadel die Zahl der Ampères bezw. Volts direkt anzeigt, so heißen sie Ampèremeter bezw. Voltmeter (nicht zu verwechseln mit Voltmeter).

Kennt man nämlich die Ausschläge eines Galvanometers für eine bestimmte Zahl von Ampères und seinen Widerstand in Ohms, so ergibt sich je nach der Formel $1 \text{ Volt} = 1 \text{ Ampère} \times 1 \text{ Ohm}$ [§ 173] auch sofort der Spannungsunterschied, der den Ausschlag hervorruft.

Ein Ampèremeter kommt stets in den Hauptstromkreis, und zwar — da die Stromstärke in demselben überall gleich ist — an eine beliebige Stelle desselben. Es besteht aus wenigen Windungen von dickem Draht, damit nicht das Instrument selbst durch größeren Widerstand die Stromstärke beeinflusst.

Ein Voltmeter wird dagegen stets an die beiden Punkte des Hauptstromkreises angelegt, deren Spannungsdifferenz gemessen werden soll; es liegt also im Nebenschluß. (Im Gegensatz zur Stromstärke ist ja die Spannung innerhalb eines Stromkreises nicht konstant, sondern fällt vom positiven zum negativen Pol.) Um die Stromstärke und Spannungsverteilung im Hauptstromkreis möglichst wenig zu beeinflussen, müssen die Voltmeter einen großen Widerstand besitzen; sie bestehen daher aus vielen Windungen eines dünnen Drahtes.

Eine dritte Anwendung finden Galvanometer zur Messung von Elektrizitätsmengen, wenn es sich um Ströme von sehr kurzer Dauer, z. B. den Entladungsstrom von Leydener Flaschen handelt. Der erste Ausschlag der Galvanometernadel bei einem solchen Stromstoß ist nämlich der durch das Galvanometer hindurchgegangenen Elektrizitätsmenge proportional. Ein hierzu benutztes Instrument heißt ballistisches Galvanometer.

Drehspulengalvanometer s. § 181, aperiodische Galvanometer s. § 185.

§ 180. **Elektromagnete.** Solange ein elektrischer Strom um einen Eisenstab geht, ist dieser magnetisch. Ein solcher durch den elektrischen Strom erzeugte Elektromagnet besitzt einen zwar nur temporären, aber äußerst starken Magnetismus. Nach der Molekulartheorie kann man sich vorstellen, daß der Strom ebenso wie die Magnetnadel auch alle Molekularmagnete in eine bestimmte Richtung bringt. Dadurch ist verständlich, daß auch hier wieder infolge der

Koerzitivkraft Stahl schwerer zum Elektromagneten wird als weiches Eisen [cf. § 148]. Die Lage des Nordpols findet man wieder leicht nach der Ampère'schen Regel. Ferner ergibt eine einfache Über-

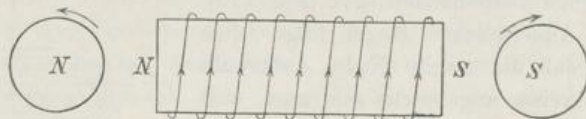


Fig. 116.

legung, daß, wenn man von oben auf einen Südpol sieht, der Strom im Sinne des Uhrzeigers verläuft, beim Nordpol umgekehrt (Fig. 114).

Auf dem Elektromagnetismus beruhen unzählige Apparate. Hier sei nur der Telegraph¹ von MORSE beschrieben. Auf der Aufgabestation wird durch Druck auf den sog. Schlüssel *S* (Fig. 117) der Strom bestimmte Zeit geschlossen. Während dieser Zeit wird auf der Empfangsstation ein

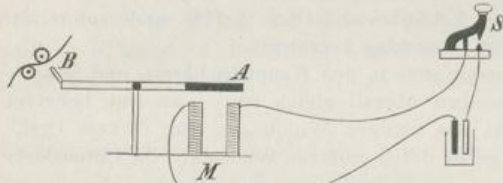


Fig. 117.

hufeisenförmiges Eisenstück *M*, um das der Stromkreis in vielen Windungen geht, elektromagnetisch und zieht den Anker *A* an. Dabei wird durch Hebelwirkung ein Schreibstift *B* gegen einen gleichmäßig schnell vorübergleitenden Papier-

streifen gedrückt und macht je nach der Dauer des Stromes Punkte und Striche. Aus diesen setzt sich dann das sog. MORSE-ALPHABET zusammen. Da aber bei großen Entfernungen der Widerstand im Draht zu groß wird, so daß der Elektromagnet *M* nicht kräftig genug funktioniert, so wendet man sog. Relais an. Hier hat *M* nur einen sehr leichten Hebel anzuziehen, durch den dann ein neuer Stromkreis mit besonderen Elementen geschlossen und somit kräftigere Wirkung erzielt wird. Wie STEINHEIL zeigte, ist beim Telegraphen nur ein Leitungsdraht nötig; versenkt man nämlich seine beiden Enden genügend tief in die Erde, so besorgt diese die Rückleitung.

§ 181. Wirkungen zwischen elektrischen Strömen und Magneten. Eine von einem Strom durchflossene Drahtspirale heißt

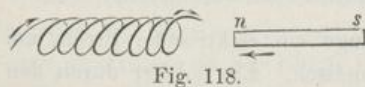


Fig. 118.

ein Solenoid² (Fig. 118). Ein solches sucht nicht nur einen Magneten senkrecht zu der Richtung seiner einzelnen Stromkreise, mit

anderen Worten also in die Richtung seiner Achse zu stellen, sondern der Magnet wird auch entweder in die Spirale hineingezogen oder von

¹ τῆλε entfernt, γράφω schreiben.

² σωλήν Röhre.

ihr abgestoßen. Das Solenoid wirkt somit wie ein Magnet, dessen Nordpol wieder nach der Ampère'schen Regel zu finden ist. In Fig. 118 ist der Nordpol des Solenoids links; daher wird auf der rechten Seite ein magnetischer Südpol abgestoßen, ein Nordpol angezogen. Ein Stab aus weichem Eisen wird durch das Solenoid zuerst magnetisiert und dann wieder angezogen oder abgestoßen. Darauf beruht ja die Differentiallampe [§ 175].

Ist umgekehrt der elektrische Stromkreis beweglich, so sucht der Magnet denselben senkrecht zu einer Achse zu stellen und übt ferner auf ihn anziehende oder abstoßende Wirkung aus. Man kann dies mittelst des Ampère'schen Gestells (Fig. 119) nachweisen, bei dem der Stromkreis frei beweglich in Quecksilbernapfchen aufgehängt ist. Daher wird auch unter dem Einflusse des Erdmagnetismus die Ebene eines solchen Stromkreises sich senkrecht zum magnetischen Meridian stellen. Man kann nun durch geeignete Kombinationen bewirken, daß ein Magnet unter dem Einflusse eines elektrischen Stromkreises beständig rotiert und umgekehrt.

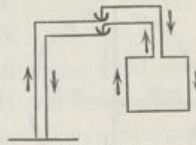


Fig. 119.

Durch die Achse ab (Fig. 120) wird z. B. ein Strom zugeleitet und geht dann in den Drahtkreis dce über, der mit ab durch eine in das Quecksilbernapfchen bei b tauchende Spitze verbunden ist, also um ab rotieren kann; d und e tauchen in eine mit Quecksilber gefüllte Rinne, von der aus der Schließungsdraht zum Elemente zurückgeht. Neben ab ist ein Magnet NS , dessen Nordpol N hier hauptsächlich zur Wirkung kommt. Dieser sucht dcb nach der einen, bce nach der entgegengesetzten Richtung senkrecht zu seiner Achse, also horizontal, zu stellen. Da nun aber beide Kreise fest miteinander verbunden sind, so resultiert eben eine Drehung [cf. § 16] durch das magnetische Kräftepaar.

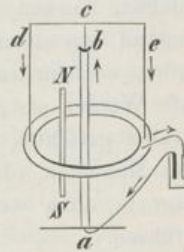


Fig. 120.

Auf der Drehung eines beweglichen Stromkreises unter dem Einflusse eines Magneten beruhen auch die (Feder-) Spulengalvanometer von DEPREZ-D'ARSONVAL, WESTON u. a. Die drehbare Spule befindet sich hier zwischen den Polen eines starken Hufeisenmagneten und wird, solange kein Strom durch sie fließt, durch eine Spiralfeder etc. in einer bestimmten Lage erhalten. Geht nun der Strom durch sie hindurch, so dreht sie sich, indem sie dabei die Elastizität der Feder überwindet, um einen der Stromstärke proportionalen Winkel, um nach Aufhören des Stromes in die Ruhelage zurückzukehren. An der Spule ist ein Zeiger befestigt, der über einer Skale spielt, die nach Ampères oder Volts geeicht ist [cf. § 179]. Diese Art von Galvanometern ist unempfindlich gegen Änderungen des Erdmagnetismus und den Einfluß benachbarter Ströme, da diese eben gegenüber dem starken Feldmagneten nicht in Betracht kommen.

§ 182. **Elektrodynamik.** Da, wie gezeigt wurde, elektrische Ströme wie Magnete wirken, so ist begreiflich, daß auch zwei elektrische Ströme aufeinander anziehende oder abstoßende Wirkung ausüben. AMPÈRE stellte nun folgende elektrodynamische Gesetze auf:

1) Parallel gerichtete Ströme ziehen sich an, wenn sie gleiche Richtung haben, im entgegengesetzten Falle stoßen sie sich ab.

2) Gekreuzte Ströme ziehen sich an, wenn in beiden der Strom gleichgerichtet ist, d. h. entweder in beiden nach der Kreuzungsstelle hin oder von ihr fort geht; anderenfalls stoßen sie sich ab. In jedem Falle also suchen sie sich parallel zu stellen (Fig. 121).



Fig. 121.

3) Die Kraft, mit der sich die Ströme anziehen oder abstoßen, ist proportional dem Produkte der Stromstärken, dem Produkte der aufeinanderwirkenden Stromlängen und umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung.

§ 183. **Ampère's Theorie des Magnetismus.** Die ähnlichen Wirkungen, welche elektrische Ströme und Magnete entfalten, veranlaßten AMPÈRE, die Theorie aufzustellen, daß jedes Eisenmolekül dauernd von einem Strom umflossen wird. Da nun diese Molekularströme verschiedene Richtungen haben, so heben sie sich gegenseitig auf. Werden sie aber durch einen Magneten oder elektrischen Strom parallel gerichtet, wirken sie also wie ein Solenoid, so wird das Eisen zum Magneten. Hiernach ist die Anziehung und Abstoßung zweier Magnete ohne weiteres auf die elektrodynamischen Gesetze zurückzuführen.

d. Induktion.

§ 184. **Gesetze der Induktion.** Bei jeder Schließung und Öffnung eines elektrischen Stromes entstehen in einem in der Nähe befindlichen, geschlossenen, stromlosen Leiter ebenfalls elektrische Ströme von kurzer Dauer. Man nennt den ersten Strom den primären oder induzierenden, den zweiten den sekundären, induzierten oder Induktionsstrom¹. Induktionsströme entstehen ferner beim Stärker- und Schwächerwerden, sowie beim Nähern und Entfernen des primären Stromes. Die induzierten Ströme sind nun

¹ *induco* wohin führen, veranlassen.

beim Schließen, Nähern und Stärkerwerden des primären Stromes diesem entgegengesetzt, beim Öffnen, Entfernen und Schwächerwerden ihm gleichgerichtet. Durch rasches Öffnen und Schließen erhält man somit Ströme von entgegengesetzter Richtung, sogenannte Wechselströme, die von großer Wichtigkeit sind. Beispielsweise können sie durch eine Flüssigkeit gehen, ohne daß Polarisation eintritt. Nach medizinischem Sprachgebrauch heißen übrigens die Induktionsströme gewöhnlich faradische, nach ihrem Entdecker FARADAY, im Gegensatz zu dem galvanischen oder konstanten Strom.

Induktion findet aber auch im primären Stromkreise selbst statt, wenn dieser aus vielen dicht aneinanderliegenden Windungen besteht. Man spricht dann von Selbstinduktion und nennt die dabei entstehenden Ströme Extraströme. Da nun dieselben beim Schließen entgegengesetzte, beim Öffnen gleiche Richtung wie der Hauptstrom haben, so folgt daraus, daß die Öffnungswirkung eines solchen Stromes viel stärker ist als die Schließungswirkung.

Die AMPÈRE'sche Theorie, nach der ja Magnetismus durch gleichgerichtete Molekularströme bedingt ist, macht es verständlich, daß auch durch Näherung und Entfernung eines Magneten in einem geschlossenen Leiter Induktionsströme entstehen. Man spricht dann im Gegensatz zur Elektroinduktion von Magnetoinduktion.

§ 185. **Lenz'sche Regel.** Die Richtung der Induktionsströme ist immer derartig, daß sie durch ihre elektromagnetische bzw. elektrodynamische Rückwirkung der stromerzeugenden Bewegung entgegenwirken. Hierbei sind Schließung und Verstärkung des Stroms gleichbedeutend mit Annäherung, Öffnung und Schwächung mit Entfernung. Nähert man z. B. den Südpol eines Magneten einem geschlossenen Leiter, so ist der entstehende Strom so gerichtet, daß er den Südpol abzustoßen bestrebt ist. Darauf beruht es z. B., daß eine Magnetnadel, welche über Kupferplatten schwingt, gedämpft wird, d. h. bald zur Ruhe kommt. Derartig eingerichtete Galvanometer heißen aperiodisch, da die Nadel eben keine periodischen Schwingungen mehr macht.

Das LENZ'sche Gesetz ist nur ein Spezialfall des Gesetzes von der Erhaltung der Energie. Man kann sich dies so klar machen, daß z. B. durch Annäherung eines Stromes an einen Leiter Arbeit gegen abstoßende Kräfte geleistet wird; solche sind aber eben vorhanden, wenn parallele Ströme entgegengesetzt gerichtet sind. Es ist ebenso wie beim Pendel: wird derselbe nach der einen Seite hin bewegt, so kommen gewissermaßen abstoßende Kräfte zur Wirkung, die ihn in die alte Lage zurückzuführen suchen.

§ 186. **Induktionsapparate.** Die elektromotorische Kraft der Induktionsströme wächst mit der Intensität des primären Stromes,

mit der Zahl der Windungen in der sekundären Rolle und mit dem raschen Wechsel der Stromstärke resp. dem raschen Schließen und Öffnen. Man verwendet daher bei der primären Rolle verhältnismäßig dicken und kurzen Draht, bei der sekundären sehr dünnen von oft außerordentlicher Länge und benutzt zur schnellen Stromunterbrechung selbsttätige Apparate.

Beim WAGNER'schen Hammer z. B. wird ein hufeisenförmiges Eisenstück M (Fig. 122) durch den herumgesandten Strom magnetisch und zieht

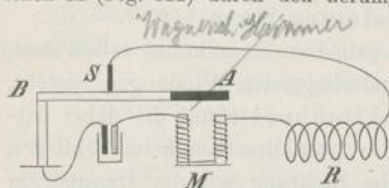


Fig. 122.

den Anker A an, der durch eine Feder an B befestigt ist. Hierdurch wird aber die Feder von der Metallspitze S entfernt, somit die Leitung unterbrochen; M verliert seinen Magnetismus, und die Feder geht in ihre alte Lage zurück, wodurch der Strom wieder geschlossen wird, usw.

Der WAGNER'sche Hammer ist z. B. ein Bestandteil der elektrischen Klingeln, indem hier mit dem Anker ein Klöppel verbunden ist, der an eine Glocke schlägt; ferner des Schlitteninduktors von DU BOIS-REYMOND, bei dem die sekundäre Spirale auf einem Schlitten über die primäre gezogen, und somit die Wirkung abgestuft werden kann. Weit stärker ist aber der RÜHMKORFF'sche Funkeninduktor, bei dem beide Spiralen übereinander gewickelt sind, und der Draht der sekundären oft bis 100 000 m lang ist. Im Innern der primären Rolle ist noch ein Bündel Eisenstäbe, welche durch ihren entstehenden und vergehenden Magnetismus die Induktionswirkung verstärken.

§ 187. **Transformatoren.** Durch Induktionsapparate kann die Spannung des sekundären Stroms beliebig größer oder kleiner gemacht werden als die des primären; man hat ja nur nötig, die Zahl der sekundären Windungen größer oder kleiner zu machen als die der primären. Da nun der Arbeitseffekt, der ja das Produkt aus Spannung und Intensität ist [§ 173], derselbe bleibt, so muß natürlich bei größerer Spannung die Intensität geringer werden und umgekehrt. Diese Transformierung¹ (Umwandlung) elektrischer Ströme ist außerordentlich wichtig. Sie spielt z. B. bei der elektrischen Kraftübertragung eine große Rolle. Denn während es darauf ankommt, an Ort und Stelle Ströme von hoher Intensität zur Verfügung zu haben, würde die Fortleitung solcher sehr unzweckmäßig sein, da ja

¹ *transformo* umformen.

die unproduktive JOULE'sche Wärme mit dem Quadrate der Intensität wächst [§ 174]. Zum Transport der elektrischen Kraft verwendet man daher hochgespannte Ströme von geringer Intensität, die man dann am Gebrauchsorte in solche von großer Intensität, aber geringer Spannung transformiert.

TESLA ließ die oszillierenden Funkenentladungen von Leydener Flaschen, die ihrerseits durch einen Rühmkorff gespeist wurden, durch die primäre Induktionsrolle gehen und brachte diese Wechselströme von großer Frequenz und Intensität mittels der sekundären Rolle auf sehr hohe Spannung. Von den vielen merkwürdigen Wirkungen dieser Tesla-Ströme (die übrigens unabhängig von TESLA auch D'ARSONVAL entdeckt hatte) sei hier nur erwähnt, daß sie für den menschlichen Körper fast ganz unfühlbar sind, da sie nur an seiner Oberfläche bleiben, und ferner, daß Geißleröhren [§ 188] bereits in der Nähe der Pole, ohne mit diesen verbunden zu sein, aufleuchten. (TESLA's „Licht der Zukunft“.)

§ 188. **Kathoden-, Röntgen- und Becquerelstrahlen.** Geht der überaus starke Strom eines Rühmkorff durch Geißler'sche Röhren (beliebig geformte Röhren, die Luft oder ein anderes Gas in starker Verdünnung enthalten, und in die an zwei Stellen Platinelektroden eingeschmolzen sind), so entsteht kein gewöhnlicher elektrischer Funke, sondern von der Anode erstreckt sich fast durch die ganze Röhre diffuses rötliches Licht, und auch an der Kathode sieht man eine bläuliche Lichthülle, die aber nur klein ist und von dem positiven Licht durch einen dunklen Raum getrennt wird. Die Farben wechseln je nach dem Inhalte der Röhren. In den Hittorf'schen oder Crooke'schen Röhren, bei denen die Luftverdünnung maximal ist ($\frac{1}{100000}$ einer Atmosphäre und weniger), verschwindet das Anodenlicht immer mehr, das Kathodenlicht breitet sich dagegen über die ganze Röhre aus. Diese Kathodenstrahlen, die also von der Kathode ausgesandt werden, pflanzen sich geradlinig fort; sie treffen daher die Anode nicht, wenn diese seitlich sitzt, und werfen von Körpern im Innern der Röhre Schatten. Ferner erregen sie im Glase der Röhre sowie überhaupt in nichtmetallischen Körpern Fluorescenz, besitzen starke Wärmewirkungen und können leichte Körper, z. B. ein Glimmerrädchen, bewegen. Durch einen genäherten Magneten werden sie von ihrer Richtung abgelenkt. Alle diese Erscheinungen zeigen sie indes nur innerhalb der HITTORF'schen Röhren. RÖNTGEN entdeckte nun eine neue Art von Strahlen, die sog. X-Strahlen, die auch außerhalb der Röhren ihre Wirkung entfalten und wahrscheinlich von den Kathodenstrahlen beim Auftreffen auf die Röhrenwand bzw. auf andere Körper innerhalb der Röhren, besonders Platin, erzeugt werden. Diese X-Strahlen werden von Magneten nicht ab-

*Samml
204 232*

*Samml
235
237
238*

*Samml
204 239*

gelenkt und erleiden beim Durchgang durch Prismen und Linsen keine Brechung; auch vermögen sie leichte Körper nicht zu bewegen. Am wichtigsten und interessantesten ist aber, daß sie durch eine große Zahl undurchsichtiger Körper hindurchgehen können, im allgemeinen um so besser, je geringer ihr spezifisches Gewicht ist. Die Schwermetalle sind z. B. in viel geringerem Grade durchlässig als das leichte Aluminium, die Knochen weniger als die Haut und Muskeln etc. Da nun die X-Strahlen auch photochemische Wirkungen besitzen und Fluoreszenz erzeugen, so kann man mit ihnen Gegenstände photographieren bzw. direkt sehen, die sich im Innern von undurchsichtigen, aber für X-Strahlen durchlässigen Körpern befinden, z. B. Geld in einem Portemonnaie, Knochen im tierischen Körper etc. Es entsteht dann nämlich ein Schattenbild, indem hinter den undurchlässigen Objekten, z. B. den Knochen, die photographische Platte nicht zersetzt wird, resp. der (meist mit Baryumplatinzyanür bestrichene) Fluoreszenzschirm nicht aufleuchtet. Schließlich sei noch erwähnt, daß die X-Strahlen die Fähigkeit besitzen, elektrisch geladene Körper, auf die sie treffen, zu entladen, wahrscheinlich dadurch, daß sie die Luft leitend machen bzw. ionisieren.

Die Ionisierung eines Gases besteht nämlich darin, daß durch gewisse Einfüsse (Kathoden-, Röntgen-, Becquerelstrahlen, elektrisches Licht) von den Atomen Elektronen [s. u.] abgespalten werden, die analog den Ionen bei der Elektrolyse [§ 178] „wandern“. Die negativen Ionen gehen also z. B. zu einem positiv geladenen Elektroskop und neutralisieren dessen Ladung, die Atomreste bleiben als positiver Elektronenkomplex zurück.

Über die Natur der Kathoden- und X-Strahlen ist man noch im unklaren. Von ersteren nimmt man jetzt meist an, daß sie die Bahnen kleinster materieller Teilchen vorstellen, die mit negativer Ladung von der Kathode aus mit enormer Geschwindigkeit (bis 160 000 km pro Sekunde fortgeschleudert werden. Man nennt jetzt derartige Elementarquanta der Masse, die — um ein vielfaches kleiner als die Atome — mit je einem Elementarquantum Elektrizität behaftet sind, Elektronen. Die X-Strahlen faßt man entweder als Elektronen auf, die ihre elektrische Ladung an der Antikathode oder Glaswand abgegeben haben, oder als Ätherwellen von noch kürzerer Wellenlänge als die ultravioletten Strahlen. —

Bald nach der Entdeckung der Röntgenstrahlen wurden Substanzen entdeckt, die analoge Eigenschaften zeigten und daher radioaktiv genannt wurden. Da BECQUEREL sie zuerst bei gewissen Uranverbindungen (Pechblende etc.) entdeckte, heißen sie ihm zu Ehren auch Becquerelstrahlen. Das Ehepaar CURIE isolierte als Träger der Radioaktivität zwei Stoffe (Elemente?) aus der Pechblende, die chemisch dem Wismut bzw. Baryum nahe stehen und von ihm Polonium bzw. Radium benannt wurden. Auch Thoriumpräparate u. a. Stoffe zeigen radioaktive Eigenschaften.

§ 189. **Telephon und Mikrophon.** Von den unendlich vielen auf Induktion beruhenden Apparaten ist einer der interessantesten das Telephon¹⁾ von BELL. An den beiden Orten, zwischen denen gesprochen wird, befindet sich ein Stabmagnet, der von einer Drahtrolle umgeben ist; die Drahtrollen beider Orte sind miteinander verbunden. Vor den Nordpolen n und n' (Fig. 123) der Magnete befindet

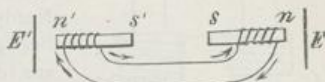


Fig. 123.

sich je ein dünnes Eisenplättchen E und E' , in denen durch Influenz auf der den Magneten zugekehrten Seite ein magnetischer Südpol entsteht. Nähert man das Eisenplättchen E dem Magneten und damit auch der geschlossenen Drahtrolle, so entsteht in dieser ein Induktionsstrom, der zum Nordpol des anderen Magneten fließt und diesen, da er entgegengesetzt wie ein Uhrzeiger geht [cf. § 180], verstärkt; das Eisenplättchen E' wird also angezogen. Entfernt man dagegen E , so wird E' abgestoßen. Beide Eisenplättchen bewegen sich also stets gleichsinnig. Wird daher gegen E gesprochen, so wird es in Schwingungen versetzt, die genau dieselben Schwingungen in E' hervorrufen; letztere werden dann als Töne vernommen. Der eine Draht kann wie beim Telegraphen durch die Erdleitung ersetzt werden. Für größere Entfernungen schaltet man ein sog. Mikrophon ein. Hier geht durch die Induktionsrolle des Magneten ein Strom, der vorher mehrere auf einem Resonanzboden stehende, mit den Spitzen sich berührende Kohlenstäbchen durchfließt. Wird gegen den Resonanzboden gesprochen, so werden durch die Erschütterung hierbei die Kohlenspitzen genähert oder entfernt; dadurch wird der Widerstand im Stromkreise geändert; es entstehen Schwankungen im Magnetismus des Telephons, und die Eisenplatte desselben gerät in entsprechende Schwingungen.

§ 190. **Elektrische Maschinen.** Da Elektrizität durch Wärme bisher nur in geringen Mengen, aus chemischen Spannkraften nur mit großen Kosten erzeugt werden kann, so war eine Herstellung im großen erst möglich, als mechanische Arbeit dazu angewandt wurde; und zwar beruhen alle derartigen Maschinen auf Induktionswirkungen. So entsteht z. B. Elektrizität dadurch, daß man vor den Polen eines Magneten ein mit Draht umwickeltes Eisenstück rotieren läßt. Dies ist das Prinzip der magnetelektrischen Rotationsmaschinen, erfunden von PEXID.

Ist z. B. NS (Fig. 124) ein hufeisenförmiger Magnet (sog. Feldmagnet, da er das magnetische Feld erzeugt), ns ein ebensolches Eisenstück (sog.

¹⁾ τῆλε fern, φωνέω sprechen.

Induktor oder Anker), um dessen Schenkel zwei miteinander verbundene Drahtrollen gewickelt sind, so entstehen während einer ganzen Umdrehung

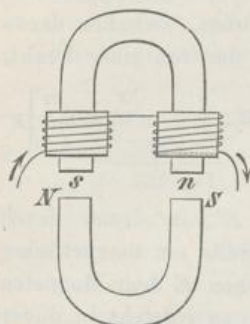


Fig. 124.

von ns in dem Drahte zwei entgegengesetzt gerichtete Ströme. Denn während einer halben Umdrehung nähert sich ja die eine Rolle dem Nordpol des Magneten, die andere dem Südpol. Bei geeigneter Wicklung des Drahtes entsteht aus den beiden Impulsen ein einziger Strom in bestimmter Richtung, die sich bei der nächsten halben Umdrehung natürlich ändern muß. Solche Maschinen liefern also Wechselströme; um ihnen gleiche Richtung zu geben, wendet man einen sog. Kommutator an. Eine derartige von STÖHRER verbesserte Maschine wird noch heute zu medizinischen Zwecken gebraucht.

Bedeutend erhöht wurde die Wirksamkeit dieser Maschinen, als WILDE an Stelle der gewöhnlichen Magnete Elektromagnete anwandte. Dann führte SIEMENS einen großen Aufschwung herbei, indem er den Induktor, dem er eine zylindrische Form gab, zwischen den ausgehöhlten Polen des Magneten rotieren ließ, so daß beide einander immer möglichst genähert bleiben, vor allem aber durch Entdeckung des Dynamoprinzips. Dasselbe besteht darin, daß man den durch Drehung des Induktors in diesem entstandenen Strom um den Hufeisenmagneten (bezw. um ein hufeisenförmiges Stück von weichem Eisen, das ja infolge des Erdmagnetismus stets eine Spur Magnetismus enthält) herum leitet und somit dessen magnetische Wirkung verstärkt. Diese erhöht wieder die Wirksamkeit des Induktionsstroms, und so setzt sich dieser Zirkulus fort bis zur magnetischen Sättigung des Eisens. Hierauf beruhen die sog. Dynamomaschinen.

Während in allen diesen Maschinen Wechselströme erzeugt werden, kann man mittels des Pacinotti'schen oder Gramme'schen Ringes durch Induktion auch Gleichströme erhalten.

Derselbe besteht aus einem Ringe von weichem Eisen, der zwischen den Polen N und S (Fig. 125) eines starken Magneten um seine eigene Achse rotiert. Um den Ring sind zahlreiche Gruppen von Drahtwindungen (in der Figur nur vier), alle nach derselben Richtung gewickelt; das Ende einer jeden ist in der Achse mit dem Anfange der nächsten leitend verbunden, indem sie an eine entsprechende Zahl von isolierten Metallstreifen angelötet sind. Dieser mittlere Teil des Apparates heißt Kollektor. Rotiert der Ring, so müssen in den Drahtwindungen der oberen Hälfte entgegengesetzte Ströme entstehen wie in den unteren. Diese entgegengesetzt gerichteten Ströme stoßen nun an den Stellen p und p' zusammen, welche somit als die Pole zweier nebeneinandergeschalteter galvanischer Elemente aufgefaßt werden können. Ebenso wie bei solchen wird auch beim GRAMME'schen Ring die Elektrizität abgeleitet, indem in Höhe von p und p' zwei Metallstücke, die

Samml. 247.

Samml. 243.
244.

sog. Bürsten, am Kollektor schleifen. Es entsteht somit ein stets gleichgerichteter Strom von b nach a .

Die durch eine solche Maschine aus mechanischer Arbeit gewonnene Stromenergie kann in einer zweiten wieder in mechanische Arbeit zurückverwandelt werden, indem sie hier elektromagnetische Wirkungen ausübt. Auf diese Weise kann also eine Kraftübertragung erzielt werden.

§ 191. **Licht und Elektrizität.** Die Umwandlung von Elektrizität in Licht ist bei den Glühlampen, dem DAVY'schen Lichtbogen, den Teslaströmen bereits beschrieben

worden, desgleichen haben die merkwürdigen Kathoden- und X-Strahlen Erwähnung gefunden. Außerdem existieren noch viele andere Beziehungen zwischen Licht und Elektrizität. So wird z. B. die Ebene polarisierten Lichts durch Magnete und elektrische Ströme abgelenkt (FARADAY), ferner können durch Belichtung elektrische Ströme entstehen, und im Selen wird dadurch der Leitungswiderstand verringert. Bemerkenswert ist auch, daß sich die elektrostatischen Maße von den elektromagnetischen durch die sogenannte „kritische Geschwindigkeit“ unterscheiden, die mit der Lichtgeschwindigkeit identisch ist [s. Anhang]. Gestützt auf diese und andere Tatsachen und Überlegungen, hat MAXWELL eine elektromagnetische Lichttheorie aufgestellt, die immer mehr Anhänger gewinnt. Hiernach wäre die Fortpflanzung des Lichts als elektrodynamische Wellenbewegung aufzufassen, indem die einzelnen Ätherteilchen nacheinander in denselben elektrischen Zustand geraten.

§ 192. **Wellen elektrischer Kraft.** Diese MAXWELL'sche Theorie fand vor allem durch die genialen Versuche von HERTZ ihre Bestätigung, der nämlich nachwies, daß in der Tat von oszillierenden Funkenentladungen elektrische Wellen ausgehen, die ebenso wie die Lichtwellen den Gesetzen der Reflexion, Brechung, Interferenz und Polarisation folgen und auch die gleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit

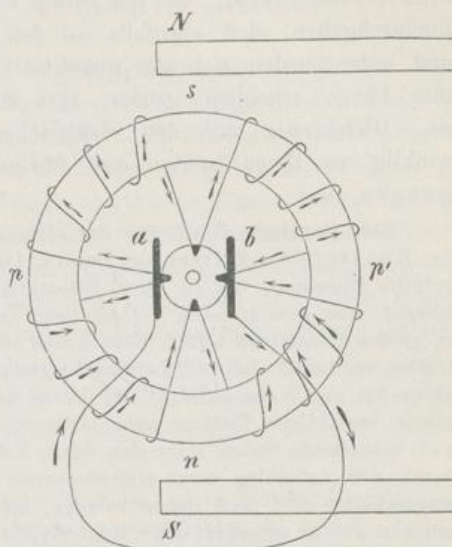


Fig. 125.

keit, nämlich ca. 300 000 km in 1 Sekunde, besitzen. Diese Wellen elektrischer Kraft, die nur durch Isolatoren, nicht durch Metalle hindurchgehen, sind ebenfalls an den Äther als Substrat gebunden und unterscheiden sich nur quantitativ von den Lichtwellen, indem ihre Länge erheblich größer, ihre Schwingungszahl also kleiner ist. Gleichzeitig mit den elektrischen Schwingungen und rechtwinklig zu ihnen breiten sich übrigens magnetische Schwingungen aus.

*Samuel
ant. 417*

*Job. v. Pk.
ant. 142.*

Zum bequemen Nachweise der elektrischen Wellen in der Luft dient der Kohärer oder Fritter von BRANLY. Es ist dies eine mit Metallspänen gefüllte Glasröhre, die in einen Stromkreis eingeschaltet wird. In diesem besteht unter gewöhnlichen Verhältnissen kein Strom, da der Kohärer einen zu großen Widerstand bildet. Sobald aber elektrische Wellen auf den Kohärer treffen, verringert sich sein Leitungswiderstand auf eine noch nicht ganz geklärte Art und Weise beträchtlich, indem die Metallteilchen (vielleicht durch kleine unsichtbare Funken zusammengeschweißt) kohärenter werden. Der nun entstehende Strom zeigt sich durch Ertönen einer elektrischen Klingel, durch den Ausschlag eines Galvanometers etc. an, die in den Stromkreis eingeschaltet sind, und dauert solange, bis der Zusammenhang der Metallteilchen wieder gelockert ist. Man erreicht dies z. B. durch Beklopfen mit der Hand; praktischer läßt man es automatisch durch den Klöppel einer elektrischen Klingel besorgen, deren Stromkreis beim Ausschlag der Galvanometernadel geschlossen wird. Schaltet man nun noch in die Leitung einen Morse-Telegraphen ein, so kann man, ohne einen Leitungsdraht zu benutzen, telegraphieren, indem je nach der Dauer der Funkenentladung Punkte bzw. Punktreihen auf der Empfangsstation entstehen. Diese Methode der Telegraphie ohne Draht, die also weiter nichts ist wie die praktische Anwendung der HERTZ'schen Versuche, wurde zuerst von MARCONI ausgebildet, der ihre Brauchbarkeit auch noch dadurch erhöhte, daß er den einen Pol (sowohl der Funkenstrecke auf der Aufgabestation wie des Kohärrers auf der Empfangsstation) zur Erde ableitete und von den beiden anderen Polen je einen (bis 50 m) langen Draht („Antenne“) senkrecht in die Luft führte. In letzter Zeit wurde ein weiterer Fortschritt dadurch erzielt, daß man die Zahl der Funkenoszillationen, und damit auch die Länge der ausgesandten elektrischen Wellen beliebig und bequem modifizieren lernte und erkannte, daß die Antennen nur dann Zweck haben, wenn ihre Länge auf die Länge der elektrischen Wellen „abgestimmt“ ist. Auf der Antenne der Aufgabestation entstehen nämlich stehende elektrische Wellen, die sich am kräftigsten in die umgebende Luft ausbreiten, wenn am Ende der Antenne gerade ein Schwingungsbauch ist (wenn also z. B. die Länge der Antenne $\frac{1}{4}$ der Wellenlänge ist). Befindet sich nun auf der Empfangsstation eine entsprechend lange Antenne, so entstehen hier beim Auftreffen der Wellen durch „Resonanz“ ebenfalls stehende Wellen und zwar um so stärker, je genauer die Abstimmung ist.

Anhang: Absolute Maße.

In dem von GAUSS und WEBER begründeten absoluten Maßsystem werden alle Größen durch die Einheiten der Länge (l), Masse (m) und Zeit (t) ausgedrückt. Die Benennung einer physikalischen Größe nach absolutem Maß wird auch ihre Dimension genannt. Die Einheiten der Länge und Masse können hierbei beliebig gewählt werden; so brauchten GAUSS und WEBER z. B. das Millimeter und Milligramm als Grundmaße. Gegenwärtig ist dasjenige absolute Maßsystem am gebräuchlichsten, dessen Einheiten Zentimeter, Gramm und Sekunde bilden. Spricht man von absolutem Maßsystem schlechthin, so meint man stets dieses Zentimeter-Gramm-Sekunden- (cm. gr. sec.- oder C.G.S.-) System. Im folgenden sind für einige wichtige Größen die Dimensionen — allgemein und im C.G.S.-System — abgeleitet.

Will man eine Größe, deren Wert im C.G.S.-System n ($\text{cm}^a \text{gr}^b \text{sec}^c$) beträgt, in einem absoluten Maßsystem ausdrücken, in dem die Längeneinheit u cm, die Maßeinheit v gr, die Zeiteinheit w sec beträgt, so hat man, da die neuen Maßeinheiten um $u^a v^b w^c$ größer sind, den ersten Zahlenwert hierdurch zu dividieren. Es ist also

$$n' = \frac{n}{u^a v^b w^c}.$$

Mechanische Maße.

Länge. Einheit ist das Zentimeter, ursprünglich definiert als 10^9 ter Teil des Erdquadranten, jetzt als hundertster Teil des mètre des archives [§ 5]. Dimension: l ; bzw. cm.

Fläche. Einheit ist das Quadrat über der Längeneinheit, also das Quadratcentimeter. Dimension: l^2 ; bzw. cm^2 .

Volumen. Einheit ist der Würfel über der Längeneinheit, also das Kubikcentimeter. Dimension: l^3 ; bzw. cm^3 .

Masse. Einheit ist das Gramm, ursprünglich definiert als Masse eines Kubikcentimeters Wasser von 4^0 , jetzt als tausendster Teil des kilogramme des archives [§ 5]. Dimension m ; bzw. gr.

Im absoluten Maßsystem wird durch Gramm also eine Masse bezeichnet. Dieses Massengramm darf nicht mit dem Grammgewicht verwechselt werden, das ein Kraftmaß repräsentiert und — entsprechend der Formel $P = mg$ [§ 11 u. 17] — 9,81 mal größer ist. Das Grammgewicht ist die Einheit des absoluten Längen-Zeit-Gewichtssystems, das besonders

für praktische Zwecke zuweilen neben dem Längen-Zeit-Massensystem (dem absoluten Maßsystem *αατ'έξοχηρ*) angewendet wird [s. u.] Das Massengramm hat an allen Orten der Erde dieselbe Größe, das Grammgewicht nicht [cf. Seite 12].

Zeit. Einheit ist die Sekunde, d. h. $\frac{1}{86400}$ des mittleren Sonnentages. Dimension: t ; bzw. sec.

Geschwindigkeit. $v = \frac{s}{t}$ [§ 9]. Einheit derselben ist vorhanden, wenn die Längeneinheit in der Zeiteinheit zurückgelegt wird. Dimension: $\frac{l}{t} = lt^{-1}$ *); bzw. cm sec⁻¹.

Beschleunigung. $\frac{v}{t}$ [§ 10]. Einheit derselben ist vorhanden, wenn die Einheit der Geschwindigkeit in der Zeiteinheit erreicht wird. Dimension lt^{-2} ; bzw. cm sec⁻².

Die Fallbeschleunigung beträgt z. B. $g = 981$ cm sec⁻².

Kraft. $\frac{mv}{t}$ [§ 11]. Einheit ist diejenige Kraft, die der Masseneinheit in der Zeiteinheit die Geschwindigkeit 1, oder mit anderen Worten, die der Masseneinheit die Beschleunigung 1 erteilt. Diese absolute Kräfteinheit heißt Dyne oder Dyn [*δύναμις* Kraft]. Dimension: mlt^{-2} ; bzw. cm gr sec⁻².

Kräfte werden im praktischen Leben oft durch Gewichte ausgedrückt [§ 11]. Die Kräfteinheit im Gewichtssystem [s. o.] ist das Gramm, und zwar das Grammgewicht, d. h. die Masseneinheit, der durch die Erdanziehung die Beschleunigung $g = 981$ cm sec⁻² erteilt ist. Um daher ein Grammgewicht in Dynen (also die Kräfteinheit des Gewichtssystems in die des Massensystems) umzuwandeln, oder auch, um das Gewicht einer Masse zu finden, hat man mit 981 zu multiplizieren. Will man umgekehrt Dynen durch Grammgewichte ausdrücken oder die einem Gewichte entsprechende Masse finden, so hat man durch 981 zu dividieren. Es ist also:

$$1 \text{ (Gewichts-)Gramm} = 981 \text{ Dynen; } 1 \text{ kg} = 981000 \text{ Dynen.}$$

$$1 \text{ Dyne} = \frac{1}{981} \text{ Gramm} = 1,02 \text{ Milligramm.}$$

Arbeit. Energie. Wärmeeinheit. F s [§ 12]. Einheit der Arbeit ist vorhanden, wenn die Kräfteinheit die Leistung 1, bei Bewegungsarbeit also die Verschiebung um die Längeneinheit bewirkt. Diese absolute Arbeitseinheit heißt Zentimeterdyn oder Erg (*έργον* Werk). Dimension: ml^2t^{-2} ; bzw. cm² gr sec⁻².

*) Es ist bekanntlich $\frac{1}{a^m} = a^{-m}$; $a^m \cdot a^n = a^{m+n}$; $\frac{a^m}{a^n} = a^{m-n}$; $\sqrt{a^m} = a^{\frac{m}{2}}$; 10^m eine Zahl, die aus 1 und m Nullen besteht.

1 Million oder 10^6 Erg heißen Megaerg [cf. Anm. S. 3]. 10^7 Erg = 10 Megaerg bezeichnet man in der Praxis als 1 Joule. Dieses ist äquivalent mit 1 Volt-Coulomb [s. u.]. Das gewöhnliche praktische Arbeitsmaß, das Meterkilogramm, ist = 98,1 Megaerg = 9,81 Joule. Es ist nämlich 1 Meterkilogramm = 100000 Zentimetergramm; da es sich hier um Grammgewichte handelt, hat man zur Umwandlung in das absolute Massensystem mit 981 zu multiplizieren [s. o.], mithin $1 \text{ mkg} = 98100000 \text{ Erg}$. Es ist also:

$$\begin{aligned} 1 \text{ Meterkilogramm} &= 9,81 \text{ Joule.} \\ 1 \text{ Joule} &= 0,1019 \text{ Meterkilogramm.} \end{aligned}$$

Durch die absolute Einheit der mechanischen Arbeit ist auch die absolute Einheit der Wärmeenergie gegeben, da ja 1 (große) Kalorie äquivalent ist 427 Meterkilogrammen [§ 78].

Die Wärmeeinheit einer Grammkalorie beträgt demnach in absolutem Maß $427 \cdot 981 \cdot 100 = 4,19 \cdot 10^7$ Erg. Andererseits ist 1 Erg = 1 Grammkalorie dividiert durch $4,19 \cdot 10^7$; diese Größe heißt absolute Kalorie.

Effekt. $\frac{F \cdot s}{t}$ [§ 13]. Einheit ist vorhanden, wenn die Einheit der Arbeit in der Zeiteinheit geleistet wird. Diese absolute Einheit des Effektes wird Sekundenerg genannt. Dimension: $m l^2 t^{-3}$; bzw. $\text{cm}^2 \text{gr sec}^{-3}$.

10^7 Sekundenerg = 10 Sekunden-Megaerg werden in der Praxis 1 Watt genannt. 1 Watt kann auch definiert werden als 1 Joule pro Sekunde; äquivalent damit ist ein Volt-Ampère [s. u.]. 1 Pferdekraft = 75 Meterkilogramm pro Sekunde = $75 \cdot 98,1$ Megaerg pro Sekunde = 7360 Sekunden-Megaerg = 736 Watt = 0,736 Kilowatt. — Multipliziert man den Effekt mit der Zeit, so erhält man natürlich wieder die Arbeit während der betreffenden Zeit. In diesem Sinne spricht man daher in der Praxis von Wattstunden, Kilowattstunden usw.

Drehungsmoment. Produkt aus Kraft in ihren Hebelarm, $F \cdot l$ [§ 25]. Einheit ist vorhanden, wenn die Kräfteinheit an einem Hebelarm von der Längeneinheit angreift. Die Dimension ist $m l^2 t^{-2}$, also dieselbe wie bei der Arbeit [s. o.].

Trägheitsmoment. $m r^2$ [§ 30]. Einheit ist vorhanden, wenn die Masseneinheit sich im Abstände 1 von der Drehungsachse befindet. Dimension: $m l^2$; bzw. $\text{cm}^2 \text{gr}$.

Bei den nun folgenden elektrischen Maßen hat man zwei Hauptgruppen zu unterscheiden. Je nachdem man nämlich die Elektrizität im Zustande der Ruhe betrachtet oder von ihren magnetischen Wirkungen ausgeht, erhält man die elektrostatischen oder elektromagnetischen Maße, von denen hauptsächlich letztere in Gebrauch sind.

Elektrostatische Maße.

Elektrizitätsmenge. Elektrostatische Einheit der Elektrizitätsmenge ist diejenige, die auf eine ihr gleiche im Abstände 1 die Kraft einer Dyne ausübt. Dimension: $m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{3}{2}} t^{-1}$; bzw. $\text{cm}^{\frac{3}{2}} \text{gr}^{\frac{1}{2}} \text{sec}^{-1}$.

Aus $F = \frac{e e'}{r^2}$ [§ 154] folgt nämlich für $e = e' F = \frac{e^2}{r^2}$ und $e = \sqrt{F r^2}$.

Daraus ergibt sich die Dimension $\sqrt{m l t^{-2} \cdot l^2} = m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{3}{2}} t^{-1}$.

Elektromotorische Kraft. Potential(differenz). $V = \frac{e}{r}$ [§ 156]. Einheit ist das Potential der Elektrizitätsmenge 1 auf einen Punkt im Abstände 1. Dimension: $m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{1}{2}} t^{-1}$; bzw. $\text{cm}^{\frac{1}{2}} \text{gr}^{\frac{1}{2}} \text{sec}^{-1}$.

Kapazität. $\kappa = \frac{e}{V}$ [§ 157]. Einheit der Kapazität besitzt der Körper, der durch die Elektrizitätsmenge 1 zum Potential 1 geladen wird. Dimension: l ; bzw. cm .

Stromstärke. $J = \frac{e}{t}$ [§ 171]. Einheit derselben ist vorhanden, wenn die Elektrizitätsmenge 1 in der Zeiteinheit durch den Querschnitt des Leiters fließt. Dimension: $m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{3}{2}} t^{-2}$; bzw. $\text{cm}^{\frac{3}{2}} \text{gr}^{\frac{1}{2}} \text{sec}^{-2}$.

Widerstand. $W = \frac{E}{J}$ [§ 171]. Einheit ist vorhanden, wenn bei der Potentialdifferenz 1 die Stromstärke 1 entsteht. Dimension: $l^{-1} t$; bzw. $\text{cm}^{-1} \text{sec}$.

Man erhält diese Dimension, wenn man die Dimension des Potentials durch die der Stromstärke dividiert.

Elektromagnetische Maße.

Zur Ableitung der hier angeführten elektromagnetischen Maße ist es zunächst nötig, die Dimension zweier magnetischer Größen zu kennen, der Polstärke und des magnetischen Momentes.

Polstärke (Magnetische Menge). Einheit ist vorhanden, wenn ein Magnetpol auf einen anderen, ihm gleichen, im Abstände 1 die Kraft 1 Dyne ausübt. Dimension: $m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{3}{2}} t^{-1}$; bzw. $\text{cm}^{\frac{3}{2}} \text{gr}^{\frac{1}{2}} \text{sec}^{-1}$.

Dies folgt analog wie für die elektrostatische Einheit der Elektrizitätsmenge aus dem Coulomb'schen Gesetze [§ 146].

Magnetisches Moment (Stabmagnetismus). ml [§ 146]. Einheit des magnetischen Moments besitzt der Magnetstab, dessen beide Pole die Stärke 1 besitzen und voneinander um die Länge 1 entfernt sind. Dimension: $m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{5}{2}} t^{-1}$; bzw. $\text{cm}^{\frac{5}{2}} \text{gr}^{\frac{1}{2}} \text{sec}^{-1}$.

Stromstärke. Ein elektrischer Strom von der Intensität i übt auf einer Strecke l auf einen Magnetpol m im Abstände r eine Kraft aus, $F = \frac{im}{r^2}$ (Gesetz von BIOT-SAVART). Demnach hat derjenige Strom die Einheit der Intensität, der beim Durchfließen der Längeneinheit auf einen Magnetpol von der Stärke 1 im Abstände 1 die Kraft einer Dyne ausübt. Dimension: $m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{1}{2}} t^{-1}$; bzw. $\text{cm}^{\frac{1}{2}} \text{gr}^{\frac{1}{2}} \text{sec}^{-1}$.

Es ist nämlich $i = \frac{F r^2}{m l} = \frac{\text{Kraft} \times \text{Länge}}{\text{Polstärke}}$. Daraus folgt die Dimension $\frac{m l t^{-2} \cdot l}{m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{1}{2}} t^{-1}} = m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{1}{2}} t^{-1}$. Da nun ein Kreisstrom ebenso wirkt wie ein durch

die Mitte der Stromebene gesteckter Magnetstab, dessen magnetisches Moment gleich dem Produkt aus Stromstärke und der vom Strome umflossenen Fläche ist, so kann man auch definieren: die Intensität 1 besitzt ein Strom, der, die Flächeneinheit (1 qcm) umfließend, in der Ferne so wirkt wie ein zur Stromebene senkrechter Magnetstab vom magnetischen Moment 1. Auch hieraus kann die Dimension abgeleitet werden. Es ist nämlich $i = \frac{\text{magnetisches Moment}}{\text{Fläche}}$,

die Dimension also $\frac{m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{5}{2}} t^{-1}}{l^2} = m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{1}{2}} t^{-1}$. Das praktische Maß der Stromintensität, 1 Ampère, ist = 0,1 absoluten Einheiten.

Elektrizitätsmenge. $J = \frac{e}{t}$; $e = J \cdot t$ [§ 171]. Einheit der Elektrizitätsmenge liefert ein Strom von der Stärke 1 in der Zeiteinheit. Dimension: $m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{1}{2}}$; bzw. $\text{cm}^{\frac{1}{2}} \text{gr}^{\frac{1}{2}}$.

Das praktische Maß der Elektrizitätsmenge, 1 Coulomb, ist = 0,1 absoluten Einheiten. 1 Coulomb = 1 Ampère \times 1 Sekunde.

Elektromotorische Kraft. Potentialdifferenz. Einheit ist diejenige, die mit einem Strom von der Intensität 1 die Einheit des Effektes erzeugt [§ 173]. Dimension: $m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{3}{2}} t^{-2}$; bzw. $\text{cm}^{\frac{3}{2}} \text{gr}^{\frac{1}{2}} \text{sec}^{-2}$.

Es ist nämlich nach § 173 Potentialdifferenz = $\frac{\text{Effekt}}{\text{Intensität}}$. Daraus ergibt sich die Dimension $\frac{m l^2 t^{-3}}{m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{1}{2}} t^{-1}} = m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{3}{2}} t^{-2}$.

Man kann auch definieren: Einheit der elektromotorischen Kraft ist die, welche in einem Leiter vom Widerstande 1 die Intensität 1 erzeugt [§ 171].

Das praktische Maß für elektromotorische Kräfte und Potentialdifferenzen, das Volt, ist = 10^8 absoluten Einheiten.

Widerstand. $W = \frac{E}{J}$ [§ 171]. Einheit des Widerstandes besitzt ein Leiter, in dem die Einheit der elektromotorischen Kraft die Stromstärke 1 erzeugt. Dimension: lt^{-1} ; bzw. cm sec^{-1} .

Die Dimension ergibt sich unmittelbar aus $\frac{m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{3}{2}} t^{-2}}{m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{1}{2}} t^{-1}}$. Die praktische Einheit des Widerstandes, 1 Ohm, ist = 10^9 absoluten Einheiten. 1 Ohm = 1,06 Siemens-Einheiten.

Kapazität. S. o. Dimension: $l^{-1} t^2$; bzw. $\text{cm}^{-1} \text{sec}^2$.

Aus $\kappa = \frac{\text{Elektrizitätsmenge}}{\text{Potential}}$ folgt nämlich die Dimension $\frac{m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{1}{2}}}{m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{3}{2}} t^{-2}} = l^{-1} t^2$.

Die praktische Einheit der Kapazität, 1 Farad, ist = 10^{-9} absoluten Einheiten. Anders ausgedrückt, die absolute Einheit der Kapazität ist = 10^9 Farad.

Stromarbeit. Stromenergie. Potentialdifferenz \times Elektrizitätsmenge [§ 156]. Einheit derselben ist vorhanden, wenn die Einheit der Elektrizitätsmenge beim Durchströmen eines Leiters den Potentialverlust 1 erleidet. Diese mit 1 Erg äquivalente Einheit muß natürlich auch die Dimension der Arbeit haben: $m l^2 t^{-2}$; bzw. $\text{cm}^2 \text{gr sec}^{-2}$.

Dies folgt unmittelbar aus $m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{3}{2}} t^{-2} \times m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{1}{2}}$. Man kann übrigens die Dimension der Stromarbeit, speziell der Stromwärme, auch aus der Formel $Q = J^2 \cdot W \cdot t$ [§ 174] ableiten.

Die praktische Einheit der Stromarbeit, 1 Volt-Coulomb, ist = 10^7 absoluten Einheiten, also äquivalent mit 1 Joule.

Stromeffekt. Potentialdifferenz \times Intensität [§ 173]. Einheit des Stromeffektes ist vorhanden, wenn eine Stromarbeit von 1 Erg in 1 Sekunde geleistet wird. Diese Einheit entspricht dem Sekundenerg und hat natürlich auch die Dimension des Effektes: $m l^2 t^{-3}$; bzw. $\text{cm}^2 \text{gr sec}^{-3}$.

Die Dimension ergibt sich unmittelbar aus $m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{3}{2}} t^{-2} \times m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{1}{2}} t^{-1}$. Die praktische Einheit des Stromeffektes, 1 Volt-Ampère, ist = 10^7 absoluten Einheiten, also äquivalent mit 1 Watt.

Im Folgenden sind die wichtigsten elektrischen Größen nochmals zusammengestellt. Die erste Reihe enthält die elektrostatischen,

die zweite die elektromagnetischen Dimensionen, die dritte die Quotienten beider, die vierte die praktischen Einheiten mit Angabe ihres Unterschiedes gegen die absoluten elektromagnetischen Einheiten und ihre gebräuchlichen Abkürzungen.

Größe	Elektro- statisch	Elektro- magnetisch	Quotient beider	Praktische Einheiten
Elektrizitätsmenge	$m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{3}{2}} t^{-1}$	$m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{1}{2}}$	$\frac{l}{t} = v$	1 Coulomb = 10^{-1} abs. E. Cb.
Stromstärke	$m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{3}{2}} t^{-2}$	$m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{1}{2}} t^{-1}$	$\frac{l}{t} = v$	1 Ampère = 10^{-1} " " A
Kapazität	l	$l^{-1} t^2$	$\left(\frac{l}{t}\right)^2 = v^2$	1 Farad = 10^{-9} " " Φ
Potential(differenz)	$m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{1}{2}} t^{-1}$	$m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{3}{2}} t^{-2}$	$\frac{t}{l} = \frac{1}{v}$	1 Volt = 10^8 " " V
Widerstand	$l^{-1} t$	$l t^{-1}$	$\left(\frac{t}{l}\right)^2 = \frac{1}{v^2}$	1 Ohm = 10^9 " " Ω

Wie aus dieser Tabelle hervorgeht, unterscheiden sich die beiden elektrischen absoluten Maßsysteme durch eine Größe, die einer Geschwindigkeit bzw. einer Potenz derselben entspricht. Diese kritische Geschwindigkeit ist nun, wie viele Messungen ergaben, nahezu gleich der Lichtgeschwindigkeit [cf. § 191]. Es ist also $v = 300\,000$ km pro Sekunde = $3 \cdot 10^{10}$ cm sec⁻¹.

Man kann daher mit Hilfe der obigen Tabelle sofort elektrostatische Maße durch elektromagnetische ausdrücken und umgekehrt; auch kann man die praktischen Einheiten in elektrostatischem Maße angeben. So entspricht z. B. die elektromagnetische Einheit der Elektrizitätsmenge 30 Milliarden oder $3 \cdot 10^{10}$, 1 Coulomb 3 Milliarden oder $3 \cdot 10^9$ elektrostatischen Einheiten. Ferner ist z. B. $1 \text{ Volt} = \frac{10^8}{3 \cdot 10^{10}} = \frac{1}{300}$ elektrostatischen Einheiten, oder, anders ausgedrückt, die elektrostatische Einheit des Potentials ist = 300 Volt.

Index.

- A**beration des Lichts 82.
Ablenkung der Magnetnadel 132.
Absolute Feuchtigkeit 72.
Absolute Maße 145.
Absoluter Brechungsexponent 87.
Absoluter Nullpunkt 65.
Absorption 42, 80, 95.
Absorptionsspektren 98.
Achromatismus 97.
Adhäsion 6, 32.
Adiabatische Prozesse 77.
Adsorption 42.
Äquimolekulare Lösungen 34.
Aggregatzustände 2, 67.
Akkomodation 93.
Akkumulatoren 124.
Aktinische Strahlen 99.
Aktuelle Energie 8.
Ampère 128, 149.
Ampère's Gestell 135.
— Schwimmregel 132.
— Theorie des Magnetismus 136.
Amplitude 24, 46.
Amylzetatlampe 81.
Analysator 104.
Aneroidbarometer 38.
Anionen 131.
Anisotrop 103.
Anker 112, 142.
Anode 123.
Aperiodisches Galvanometer 137.
Apertur 85.
Aplanatisches System 92.
Aräometer 32.
Arbeit 7, 146.
Archimedisches Prinzip 30, 41.
d'Arsonval'sche Ströme 139.
Astatische Nadel 133.
Atmosphäre 37.
Atomtheorie 1.
Atomwärme 76.
Auftrieb 30.
Ausdehnungskoeffizient 63, 64.
Ausdehnung der Gase 64.
— des Wassers 65.
Avogadro's Hypothese 36.
Barometer 37.
Becquerelstrahlen 140.
Beschleunigung 5.
Beugung 48, 94.
Bewegungsgesetze 4.
Bewegungsgröße 6.
Bilder 83.
Blitzableiter 118.
Boyle-Mariotte's Gesetz 35, 38, 65.
Brahma'sche Presse 28.
Brechung 49, 87.
Brechungsexponent 87.
Brechungswinkel 50.
Brennlinie 92.
Brennpunkt 85, 90, 92.
Brennweite 85.
Brewster's Gesetz 106.
Brückenwage 19.
Büschellicht 118.
Bunsenbrenner 42.
Bunsenelement 124.
Camera obscura 93.
Chemische Harmonika 57.
Chladni's Klangfiguren 56.
Chromatische Aberration 97.
— Tonleiter 55.
Contractio venae 29.
Coulomb 114, 128, 149.
Coulomb'sches Gesetz 110, 114.
Crooke'sche Röhren 139.
Dämpfung der Magnetnadel 137.
Dalton's Gesetz 43.
Dampfdichte 72.
Dampfmaschinen 74.
Daniell-Element 124.
Davy's Lampe 78.
— Lichtbogen 129.
Deklination 113.
Diacausica 92.
Dialyse 35.
Diamagnetismus 113.
Diathermanität 78.
Diatonische Tonleiter 54.
Dichtigkeit 2, 30.
Dielektrica 119.
Differentiallampe 129.
Differenztöne 60.
Diffusion 34, 42.
Dimension 145.
Dioptrik 87.
Dispersion 95.
Dissonanz 60.
Doppelbrechung 103.
Doppler's Prinzip 61.
Drehung der Polarisationssebene 108.
Drehungsmoment 17, 147.
Druckpumpen 39.
Dulong-Petit'sches Gesetz 76.
Dynamoprinzip 142.
Dyne 6, 146.
Echappement 26.
Echo 59.
Effekt 7, 147.
Einfallswinkel 50.
Eiskalorimeter 76.
Eismaschinen 70.
Elastizität 26.
Elektrizitätsmenge 114, 148, 149.
Elektrische Anziehung 114.

- Elektrisches Bogenlicht 129.
 Elektrische Kapazität 116. 148. 150.
 Elektrischer Funke 118.
 Elektrisches Glühlicht 129.
 Elektrische Influenz 117.
 Elektrische Leiter 115.
 Elektrische Maße 128. 147.
 Elektrischer Wind 117.
 Elektrisches Pendel 114.
 Elektrisches Potential 115. 148. 149.
 Elektrisiermaschine 117.
 Elektroden 123.
 Elektrodynamik 139.
 Elektroinduktion 137.
 Elektrolyse 130.
 Elektromagnete 133.
 Elektromagnetische Theorie des Lichts 143.
 Elektrometer 120.
 Elektromotorische Kraft 121. 148. 149.
 Elektronen 140.
 Elektroskop 115.
 Elektrostatistische Maße 148.
 Elmsfeuer 118.
 Elongation 24. 46.
 Emanationstheorie 79.
 Emissionsspektren 98.
 Endosmose 34.
 Energie 1. 8 f. 146.
 Entropie 62.
 Erdmagnetismus 113.
 Erg 7. 146.
 Extrastrom 137.
 Fallgesetze 19.
 Farad 128. 150.
 Faradischer Strom 137.
 Farben 96.
 Fata morgana 87.
 Fernrohr 94.
 Flaschenzug 14.
 Fluoreszenz 100.
 Foucault's Pendelversuch 26.
 Fraunhofer'sche Linien 99.
 Fresnel's Versuch 100.
Galvanische Elemente 123.
 Galvanische Versilberung 132.
 Galvanokaustik 129.
 Galvanometer 133. 135. 137.
 Galvanoplastik 132.
 Gase, Ausdehnung 64.
 Gasmotoren 74.
 Gay-Lussac's Gesetz 64.
 Gebundene Elektrizität 114.
 Gefrierpunktserniedrigung 35. 68.
 Geißler'sche Röhren 139.
 Gesättigter Dampf 71.
 Geschwindigkeit 5. 146.
 Gewicht 6. 30.
 Gitter 112.
 Gleichgewicht 12.
 Glimmlicht 118.
 Gramm-Molekül 35.
 Gramme'scher Ring 142.
 Grammgewicht 3. 145.
 Gravitation 7.
 Grenzwinkel 88.
 Grove-Element 124.
Halbdurchlässige Membranen 35.
 Hauptpunkte 92.
 Hauptschnitt 88. 103.
 Hebel 16.
 Heißluftmaschinen 74.
 Heronsball 40.
 Hertz'sche Versuche 143.
 Hintereinanderschaltung 125.
 Hittorf'sche Röhren 139.
 Horror vacui 36.
 Huygens' Prinzip 48.
 Hydraulische Presse 28.
 Hydrostatischer Druck 28.
 Hydrostatisches Paradoxon 28.
 Hydrostatische Wage 31.
 Hygrometer 72.
 Hygroskopische Substanzen 42.
 Hypomochlion 17.
Indifferenzzone 110.
 Induktion 136.
 Influenzmaschine 120.
 Inklinator 113.
 Interferenz 51. 59. 100.
 Interferenzfarben 101.
 Intervall 54.
 Ionen 131. 140.
 Joule 7. 128. 150.
 Joule'sches Gesetz 128.
 Isobaren 38.
 Isodynamen 113.
 Isogonen 113.
 Isoklinen 113.
 Isolatoren 115.
 Isomolekulare Lösungen 34.
Kältemischungen 68.
 Kalorie 62. 74. 147.
 Kalorimeter 75. 76.
 Kalorische Maschinen 74.
 Kammerton 55.
 Kant-Laplace's Theorie 63.
 Kapillarität 33.
 Kardinalpunkte 92.
 Kathode 123.
 Kathodenstrahlen 139.
 Kationen 131.
 Katoptrik 83.
 Kepler's Gesetze 10. 23.
 Kinetische Energie 8.
 Kinetische Gastheorie 36. 65.
 Kirchhoff'sche Gesetze 98. 126.
 Klangfarbe 53. 54.
 Knotenpunkte 52. 93.
 Koërsitivkraft 112.
 Kohärer 144.

- Kohäsion 6. 32.
 Kolloide Körper 34.
 Kombinationstöne 60.
 Kommunizierende
 Röhren 29. 32.
 Kompensationspendel 26.
 Kompensator 109.
 Komplementärfarben 96.
 Kondensation 73.
 Kondensator 119.
 Konkavlinse 91.
 Konkavspiegel 85.
 Konsonanz 60.
 Konstante Ketten 123.
 Konstanter Strom 121. 123.
 Kontakttheorie 121. 130.
 Konvektion 78.
 Korrespondierende Pen-
 dellänge 25.
 Konvexlinsen 90.
 Konvexspiegel 86.
 Kräftepaar 11.
 Kraft 6. 146.
 Kraftübertragung 138.
 143.
 Kristalloide Körper 34.
 Kritische Geschwindig-
 keit 143. 151.
 Kritischer Punkt 73.
 Kryoskopie 69.
 Kundt'sche Staubfiguren
 59.
 Kurzsichtigkeit 91.

Laplace'scher Faktor 77.
 Leclanché-Element 124.
 Leidenfrost's Phänomen
 70.
 Leydener Flasche 119.
 Lenz'sches Gesetz 137.
 Libelle 31.
 Lichtgeschwindigkeit 81.
 Lichteinheit 81.
 Linsen 89.
 Lippenpfeifen 57.
 Lissajou's Klangfiguren
 60.
 Lösungen 68.
 Longitudinalwellen 47.

 Luftballon 41.
 Luftdruck 36.
 Luftelektrizität 118.
 Luftpumpe 40.
 Luftströmungen 67.
 Luftthermometer 66.
 Lumineszenz 80.
 Lupe 93.

Magnetismus 110.
 Magnetelektrische Ma-
 schinen 141.
 Magnetisches Moment
 111. 149.
 Magnetoinduktion 137.
 Manometer 40.
 Maschinen 13.
 Meter 2.
 Meterkilogramm 7. 62. 147.
 Mikrometerschraube 16.
 Mikrophon 141.
 Mikroskop 93.
 Mischungsmethode 75.
 Mittönen 57.
 Mol 35.
 Molekulargewichte 69. 72.
 Morsetelegraph 134.
 Multiplikatoren 132.

Nebeneinanderschaltung
 125.
 Newton's Bewegungsgesetze 4.
 Nikol 104.
 Nonius 3.
 Normalkerze 81.
 Nutzeffekt 7. 147.

Oberflächenspannung 33.
 Ohm 128. 150.
 Ohm'sches Gesetz 125.
 Okklusion 43.
 Optische Kammer 81.
 Optische Achse 103.
 Osmose 34. 42.
 Oszillationen 44. 118.

Pacinotti'scher Ring 142.
 Papin'scher Topf 69.

 Parallelogramm d. Kräfte
 10.
 Paramagnetismus 113.
 Partiärdruck 43.
 Peltier's Phänomen 130.
 Pendel 9. 24.
 Permanente Gase 73.
 Permanente Magnete 112.
 Pfeifen 56.
 Pferdekraft 7. 147.
 Phase 46.
 Phosphoreszenz 80. 100.
 Photographie 99.
 Photometer 81.
 Pipette 39.
 Planspiegel 83.
 Plastizität des Eises 68.
 Polarisation 102 ff.
 Polarisationsebene 103.
 108.
 Polarisationsmikroskop
 107.
 Polarisationsstrom 123.
 Polarisator 104.
 Polstärke 148.
 Potential 115. 148. 149.
 Potentialdifferenz 115.
 148. 149.
 Potentielle Energie 8.
 Prismen 88.
 Pyknometer 32.

Quecksilberluftpumpe
 41.

Raoult'sches Gesetz 69.
 Radioaktive Substanzen
 140.
 Radium 140.
 Reduzierte Pendellänge
 25.
 Reflektoren 94.
 Reflexion 49. 59. 83.
 Reflexionswinkel 50.
 Refraktion 49.
 Refraktoren 94.
 Regeneration 68.
 Reibung 27. 43.
 Relais 134.

- Relative Feuchtigkeit 72.
 Resonanz 57.
 Reversionspendel 25.
 Rheostat 127.
 Richmann'sche Regel 75.
 Röntgenstrahlen 139.
 Rolle 13.
 Ruhe 5.
 Rückschlag 118.
 Rühmkorff's Induktor 138.
- S**accharimeter 109.
 Saugpumpen 39.
 Schädlicher Raum 40.
 Schallgeschwindigkeit 59.
 Schatten 81.
 Scheinbare Ausdehnung 64.
 Schenkelheber 39.
 Schiefe Ebene 15. 20.
 Schlitteninduktorium 138.
 Schmelzpunkt 68.
 Schmelzwärme 67.
 Schraube 16.
 Schwebungen 60.
 Schwerkraft 6. 11.
 Schwerpunkt 11.
 Schwimmen 30.
 Schwingungsbäuche 52.
 Schwingungszahl 48.
 Schwingungszeit 24. 48.
 Segner's Wasserrad 29.
 Sekundenerg 7. 147.
 Selbstinduktion 137.
 Sensible Flammen 57.
 Siedepunkt 69.
 Siedeverzug 69.
 Siemens' Einheit 128. 150.
 Sirene 53.
 Snellius'sches Gesetz 87.
 Solenoid 134.
 Sonnenwärme 63.
 Spannkraft 8.
 Spannungsdifferenz 115. 121.
 Spektralanalyse 97.
- Spektralfarben 95.
 Spezifisches Gewicht 31. 76.
 Spezifische Wärme 75.
 Sphärische Aberration 91.
 Spiegel 83.
 Spiegelablesung 84.
 Spiegelsextant 84.
 Spitzenwirkung 117.
 Statische Elektrizität 114.
 Statisches Moment 17. 147.
 Stehende Wellen 51.
 Stereoskop 94.
 Stimmgabel 56.
 Stöpselrheostat 127.
 Stromarbeit 116. 128. 150.
 Stromeffekt 128. 150.
 Stromverzweigung 126.
 Superposition 51.
- T**angentenbussole 132.
 Trieren 19.
 Tartini'sche Töne 60.
 Taupunkt 73.
 Telegraphie 134.
 — ohne Draht 144.
 Telephon 141.
 Temperatur der Tonleiter 55.
 Temporäre Magnete 111.
 Tesla-Ströme 139.
 Thermochrose 79.
 Thermoelektrizität 130.
 Thermometer 65.
 Thermomultiplikator 130.
 Töne 53.
 Tonleiter 54.
 Torricelli's Theorem 29.
 — Vakuum 36.
 Totale Reflexion 87.
 Trägheitsgesetz 4.
 Trägheitsmoment 22. 147.
 Tragkraft der Magnete 112.
 Transformatoren 138.
 Transversalwellen 46.
 Trockenelemente 124.
- Ü**berhitzen 69.
 Überhitzter Dampf 72.
 Undulationstheorie 79.
 Ungesättigter Dampf 71.
 Unpolarisierbare Elektroden 123.
 Unterkühlen 70.
- V**an't Hoff'sche Gesetze 34.
 Verdampfungswärme 67.
 Verdunsten 70.
 Vibrograph 53.
 Volt 116. 128. 150. 151.
 Voltmeter 132.
 Volt-Ampère 128. 150.
 Volt-Coulomb. 116. 128. 150.
 Volta's Säule 123.
 — Spannungsreihe 122.
 Volumen 2. 145.
- W**ärmekapazität 74.
 Wärmeleitung 77.
 Wärmestrahlung 78.
 Wage 18.
 Wagners'cher Hammer 138.
 Wasser, Ausdehnung 65.
 Wasserpumpen 39.
 Watt 7. 128. 150
 Wechselströme 137.
 Weitsichtigkeit 91.
 Wellenlehre 44.
 Wellrad 15.
 Wheatstone'sche Brücke 127.
 Widerstand 125. 148. 150.
 Winkelgeschwindigkeit 21.
 Wurfbewegung 21.
- X**-Strahlen 139.
- Z**entralbewegung 22.
 Zentrifugalkraft 23.
 Zentripetalkraft 23.
 Zirkulare Polarisation 107.
 Zungenpfeifen 57.

Verlag von **Georg Thieme** in Leipzig.

Die vegetarische Diät.

Kritik ihrer Anwendung für Gesunde und Kranke

von

Dr. med. **Alb. Albu**,

Privatdozent an der Universität Berlin.

M. 4.—.

Die vegetarische Lebensweise ist nicht etwa nur der Ausfluß der Schranken einzelner verdrehter Individuen, sondern vielfach die *Wirkung geographischer und klimatischer, wirtschaftlicher und sozialer Verhältnisse sowohl einzelner breiter Bevölkerungsschichten, wie ganzer Völker*. Eine kritische Analyse des Vegetarismus wird bei der weiten Verbreitung dieser Lehre jeden Gebildeten interessieren.

Einführung in die Psychiatrie.

Mit besonderer Berücksichtigung der
Differentialdiagnose der einzelnen Geisteskrankheiten

von

Dr. **Th. Becker**.

Dritte, neu bearbeitete Auflage.

M. 3.—.

Das *treffliche* Büchlein, auf das wir bei seinem ersten Erscheinen empfehlend hinweisen konnten, hat sich das Bürgerrecht in der didaktischen Literatur erworben. Für den Anfänger gibt es kaum *etwas Besseres*, es ist *kurz* und *doch gehaltvoll*, es bereitet auf das wissenschaftliche Erfassen der Psychiatrie vor und macht mit der praktischen Handhabung derselben vertraut. . . .
(*Deutsche Medizinal-Zeitung*)

Diagnostik und Therapie der Magenkrankheiten

von

Dr. **I. Boas**,

Spezialarzt für Magen- und Darmkrankheiten in Berlin.

Allgemeiner Teil. Mit 54 Abbildungen.

Fünfte, veränderte und neu bearbeitete Auflage.

M. 10.50, geb. M. 11.50.

Spezieller Teil. Mit 7 Abbildungen.

Vierte, gänzlich neu bearbeitete Auflage.

M. 8.—, geb. M. 9.—.

Da die erste Auflage 1893 herauskam, so kann man wohl von einem immensen Erfolge des Buches sprechen . . . Die übrigen Vorzüge des Werkes sind so bekannt, daß es Eulen nach Athen tragen hieß, wollte man noch viel Worte darüber äußern.

(*Excerpta medica.*)

Verlag von **Georg Thieme** in Leipzig.

Diagnostik und Therapie der Darmkrankheiten

VON

Dr. I. Boas,

Spezialarzt für Magen- und Darmkrankheiten in Berlin.

Zweite, unveränderte Auflage.

Mit 46 Abbildungen.

M. 18.—, geb. M. 19.—.

Wenn ein Lehrbuch bereits im zweiten Jahre nach seinem ersten Erscheinen in zweiter Auflage vorliegt, so spricht das allein so beredt für seine Vortrefflichkeit, daß es unnötig erscheint, dieselbe noch besonders hervorzuheben. Das *Boas'sche* Werk verdankt seine Beliebtheit vor allem der klaren Disposition und der gut gelungenen Sichtung des praktisch Brauchbaren von der Spreu des Nebensächlichen, entsprechend seinem Leitworte: „nec ultra, nec infra scire“. Das Buch ist für die Bedürfnisse des Praktikers geschrieben und wird denselben in voller Weise gerecht.

(**Deutsche medizinische Wochenschrift.**)

Lehrbuch der Hydrotherapie

VON

Dr. B. Buxbaum,

Polikl. Assistent d. Hofr. Prof. Dr. W. Winternitz u. ord. Arzt d. Fango- u. Wasserheilanstalt Wien.

Mit einem Vorwort des Hofr. Prof. Dr. *W. Winternitz.*

Mit 34 Abbildungen und 24 Tabellen.

Zweite, vermehrte Auflage.

M. 8.—, geb. M. 9.—.

Innerhalb zweier Jahre ist eine Neuauflage dieses ausgezeichneten Werkes notwendig geworden. Es ist dies Beweis genug, wie sehr dasselbe ein Bedürfnis war, außerdem aber erfreulicherweise ein Beweis dafür, daß in der Ärztenwelt immer mehr und mehr die einzige richtige Auffassung sich Bahn bricht, daß die Hydrotherapie einen der wichtigsten Zweige unseres ärztlichen Könnens darstellt. Diese zweite Auflage ist wesentlich vermehrt und ergänzt worden. Vor allem ist die eingehende Würdigung der therapeutischen Methoden mit Freuden zu begrüßen. Zahlreiche neue Abbildungen bringen die Methoden zur klarsten Entscheidung.

(**Medizinische Woche.**)

Die Impfstoffe und Sera.

Grundriß der ätiolog. Prophylaxe und Therapie der Infektionskrankheiten für Ärzte etc.

VON

Dr. L. Deutsch,

und

Dr. C. Feistmantel,

Privat-Dozent u. Leiter des „Jenner-Pasteur-Institutes“ zu Budapest.

Regierungs-Assessor u. Leiter der bakteriolog. Untersuchungsstation zu Budapest.

M. 6.—, geb. M. 7.—.

Obiges Werk bringt alle bisher erprobten Methoden der Schutzimpfung und Serundiagnose sowie Therapie mit besonderer Berücksichtigung aller den *praktischen* Arzt interessierenden Daten über Herstellung, Bezug und Anwendung der für Deutschland, Österreich-Ungarn, die Schweiz und Frankreich in Betracht kommenden Impfstoffe. Im allgemeinen Teile sind die Grundzüge der modernen Immunitätslehre skizziert, im speziellen Teil gelangen die Immunisierungsverfahren gegen die Infektionskrankheiten der Menschen und Tiere zur ausführlichen Darstellung.

Verlag von **Georg Thieme** in **Leipzig**.

Leitfaden für den geburtshilflichen Operationskurs

von

Prof. Dr. **A. Döderlein**

(Tübingen).

Sechste Auflage.

Mit 150 zum Teil farbigen Abbildungen.

Geb. M. 4.—.

... So ist in der Tat dieses Buch *ein unentbehrliches Hilfsmittel des Unterrichts und ein trefflicher Ratgeber für den praktischen Arzt geworden* ... (**Zentralblatt f. Gynäkologie**)

Die Tatsache, daß der Döderlein'sche Leitfaden jetzt schon eine sechste Auflage erleben durfte, spricht mehr als alles andere für den Anklang, den das instruktive Büchlein allseits gefunden hat. ... (**Württemb. Korresp.-Blatt**)

Lehrbuch der gerichtlichen Medizin.

Mit Berücksichtigung

der Deutschen, Österreichischen und Bernischen Gesetzgebung

von

Prof. Dr. **Carl Emmert**.

M. 14.—, geb. M. 15.20.

Das vorliegende Lehrbuch zeichnet sich durch allseitige, gründliche Durchdringung des vielseitigen Stoffes und eine sehr klare und fließende Diktion aus, die es für zusammenhängende Lektüre geeignet macht. Überall tritt dabei zutage, daß der hochverdiente Verfasser aus vielfachster, eigener Erfahrung spricht, und möchten wir deswegen auch die reiche originelle Kasuistik für besonders wertvoll halten. ...

(**Korrespondenzblatt für Schweizer Ärzte**.)

Die Darwinsche Theorie.

Gemeinverständliche Vorlesungen

über die Naturphilosophie der Gegenwart

gehalten vor Studierenden aller Fakultäten

von

Prof. Dr. **A. Fleischmann**

(Erlangen).

Mit 26 Textabbildungen.

M. 7.50, geb. M. 8.50.

Seine Vorträge streben — soweit das möglich ist, — eine unparteiische Darstellung der Darwinschen Theorie an und sollen den Leser zur wissenschaftlichen Ergänzung der Gründe und Gegengründe anleiten. Er trägt zunächst die Ansichten Darwins und seiner Schule vor, indem er vor allen Dingen Darwin selbst sehr viel sprechen läßt, führt danach die Einwände an und erörtert dieselben kritisch. ... Das hochinteressante Werk sei allen, die sich mit dieser Frage beschäftigen wollen, warm empfohlen.

(**Monatsschrift für Stadt und Land**.)

Verlag von **Georg Thieme** in **Leipzig**.

Die Deszendenztheorie.

Gemeinverständliche Vorlesungen über den Auf- und Niedergang
einer naturwissenschaftlichen Hypothese

gehalten an Studierende von

Prof. Dr. **A. Fleischmann**

(Erlangen).

~~~~~ Mit 124 Abbildungen. ~~~~~

**M. 6.—, geb. M. 7.—.**

Das ist ein Buch, welches wie ein Blitz in die allgemeine Sicherheit unserer Deszendenz-  
theoretiker fahren wird. — Dies Buch muß jeder lesen, der sich für die Frage interessiert, besonders  
aber die, welche an ihr ein apogetisches Interesse nehmen.

(Theol. Litteraturblatt.)

---

## Grundriß der gerichtlichen Medizin

(inkl. Unfallfürsorge).

Mit besonderer Berücksichtigung der einschlägigen Entscheidungen  
des Reichsgerichts und des Reichsversicherungsamtes

von

Med.-Rat Dr. **R. Gottschalk**,

Kreisarzt in Rathenow.

**Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage.**

**Gebunden M. 5.50.**

Wie der Verfasser im Vorwort selbst sagt, soll sein Handbuch nicht die großen Lehrbücher  
ersetzen, sondern in Kürze das Wissenswertes der gerichtlichen Medizin dem Leser vor Augen führen;  
diesen Zweck erfüllt das Buch in ganz vorzüglicher Weise . . .

(Der Kinder-Arzt.)

---

## Einführung in das Studium der Bakteriologie.

Mit besonderer Berücksichtigung der mikroskopischen Technik

von

Prof. Dr. **Carl Günther**,

Geh. Medizinalrat in Berlin.

~~~~~ Mit 90 Photogrammen. ~~~~~

Fünfte Auflage (zweiter Abdruck).

M. 12.—, geb. M. 13.50.

Seit dem ersten Erscheinen des Güntherschen Lehrbuches sind nur acht Jahre verflossen
und schon erscheint es in fünfter Auflage, ein redender Beweis dafür, daß es in vollem Maße den
Ansprüchen gerecht geworden ist, die an ein Lehrbuch der Bakteriologie und der bakteriologischen
Technik für Ärzte und Studierende zu stellen sind . . .

(Deutsche medizinische Wochenschrift.)

Verlag von **Georg Thieme** in Leipzig.

Einführung in die Augenheilkunde

VON

Prof. Dr. **J. Hirschberg**,

Geh. Medizinalrat in Berlin.

Erste Hälfte.

Mit 112 Abbildungen.

M. 8.—.

Zweite Hälfte.

1. Abteilung.

Mit 113 Abbildungen und 1 Tafel.

M. 9.—.

Pflegt der Titel medizinischer Lehrbücher gewöhnlich den Zusatz zu tragen „für Ärzte und Studierende“, so könnte hier dem Titel mit volstem Rechte „für Studierende und Dozierende“ beigefügt werden. Wer so die Ophthalmoskopie lehrt, wer danach lernt, muß zum Ziele kommen. Auch jeder mit der Anwendung des Augenspiegels vertraute Arzt wird mit Freude und Nutzen dieses durchaus eigenartige, von großem Wissen und großer Erfahrung zeugende Werk durchlesen, dessen scharfe, klare, theoretische Erörterungen mit vielen wertvollen praktischen Beispielen und auch noch mit manchen guten Ratschlägen für sprachliche Darstellung und den richtigen Gebrauch der Termini technici verbunden sind . . .
(Schmidt's Jahrbücher der Medizin.)

Die Zuckerkrankheit

VON

Dr. **Felix Hirschfeld**,

Privat-Dozent an der Universität Berlin

M. 7.—, geb. M. 8.—.

. . . Der Praktiker wird nicht nur in dem Buche sich über die Zuckerkrankheit genügend unterrichten können, sondern auch in ihm einen zuverlässigen Führer in der Ausübung der praktischen Tätigkeit finden. Indes, das Buch ist nicht etwa eine Kompilation. Der Verfasser hat seine Beobachtungen benutzt, um sein wissenschaftliches Urteil immer mehr zu erweitern und das Studium des Diabetes mellitus zu vertiefen. Das Buch wird seinen Weg machen und Nutzen stiften.

(Deutsche medizinische Wochenschrift.)

Entstehung und Bekämpfung der Lungentuberkulose

VON

Prof. Dr. **P. Jacob**,

Oberarzt an der I. medicin. Klinik der
Königl. Charité in Berlin.

und

Prof. Dr. **G. Pannwitz**,

Generalsekr. d. Deutschen Zentralkomitees
für Lungenheilstätten.

Band I (Entstehung) M. 10.—.

Band II (Bekämpfung und Abwehrmaßnahmen) M. 12.50.

. . . So bringt das von autoritativer Seite verfaßte Werk — denn beide Autoren gehören seit Jahren zu den wissenschaftlichen Verkämpfern der Tuberkulosebewegung — dem Arzte wie dem Hygieniker, ja selbst auch dem Verwaltungsbeamten, Politiker etc. ein *unschätzbares Material*, dessen *vorzügliche Sichtung und Bearbeitung* das Studium dieser Frage zu einem ebenso anregenden wie nutzbringenden macht.
(Zeitschrift f. diätet. und physik. Therapie.)

Verlag von **Georg Thieme** in **Leipzig**.

Lehrbuch der Ohrenheilkunde

von

Prof. Dr. **L. Jacobson** und Dr. **L. Blau**.

~~~~~ Mit 345 Abbildungen und 19 Tafeln. ~~~~~

**Dritte, neu bearbeitete Auflage.**

**Geb. M. 18.—.**

„ . . . Wir glauben mit gutem Gewissen *Jacobsons* Lehrbuch zum *besten* zählen zu dürfen, was auf dem Gebiete der Ohrenheilkunde in den letzten Jahren erschienen ist, und empfehlen den Kollegen die Lektüre desselben aufs angelegentlichste.“

(**Petersburger medizinische Wochenschrift**)

## Lehrbuch der Haut- und Geschlechtskrankheiten

für Ärzte und Studierende.

Von

Dr. **Max Joseph** in Berlin.

I. Teil: **Hautkrankheiten.** 51 Abbildungen und 2 Tafeln.

4. vermehrte und verbesserte Auflage.

**M. 7.—, geb. M. 8.—.**

II. Teil: **Geschlechtskrankheiten.** 38 Abbildungen und 1 farbige Tafel.

3. vermehrte und verbesserte Auflage.

**M. 7.—, geb. M. 8.—.**

„ . . . Das *Josephs*che Lehrbuch stellt alles in allem ein Werk dar, welches dem praktischen Arzte und speziell dem Studierenden eine *knappgefaßte, doch außerordentlich klar geschriebene und alle neueren Errungenschaften der Gebiete kritisch beleuchtende Darstellung* gibt. Trotz der zahlreichen Neuerscheinungen von Lehrbüchern der Dermato-Syphilodologie darf dem Werke, das speziell die Interessen des Praktikers und Studenten berücksichtigt, eine günstige Prognose bezüglich weiterer Auflagen gestellt werden. Es verdient unsere vollste Empfehlung.“

(**Reichs-Mediz.-Anzeiger**)

## Der Militärarzt.

Ein Ratgeber bei der Berufswahl

von

Stabsarzt Dr. **Lobedank**.

**M. 1.50.**

Es handelt sich nicht mehr um einen einzelnen militärischen Dienstzweig, sondern um die ganze Tätigkeit des Sanitätsoffiziers, wobei mit Recht auf den Wert beider Teile dieses Titels hingewiesen wird . . . Das Buch liest sich gut, und wird sich gewiß viele Freunde erwerben, hoffentlich auch durch Belehrung und Aufklärung manchen Nutzen stiften.

(**Deutsche Medizinische Wochenschrift**)

Guttmann, Grundriß der Physik. 3. Auflage.

11

Verlag von **Georg Thieme** in Leipzig.

## Kompendium der Entwicklungsgeschichte des Menschen.

Mit Berücksichtigung der Wirbeltiere

VON

Dr. **L. Michaelis.**

Mit 50 Abbildungen und 2 Tafeln.

**Geb. M. 4.—.**

Der Verfasser hat sich bemüht, überall eine *knappe, aber doch hinreichend erschöpfende Darstellung* der Entwicklungsgeschichte zu geben, unter genügender Berücksichtigung der vergleichenden Embryologie der Wirbeltiere, welche erst so recht der Schlüssel zum Verständnis der anatomischen Tatsachen ist. Durch eine Anzahl vortrefflicher Abbildungen wird das Verständnis des Textes wesentlich erleichtert.

## Grundriss der Chemie

VON

Dr. phil. et med. **Carl Oppenheimer.**

**Anorganische Chemie.**

Dritte Auflage.

**Geb. M. 3.50.**

**Organische Chemie.**

Dritte Auflage.

**Geb. M. 2.40.**

In *äußerst übersichtlicher, klarer und, trotz der Kürze, fast erschöpfender Weise* hat Verf. das große Gebiet der anorganischen Chemie dem Studierenden mündgerecht zu machen gewußt. — Mit besonderer Anerkennung muß der theoretischen Einleitung gedacht werden, welche die wichtigsten hierher gehörigen Gesetze in *geradezu mustergültiger* Weise entwickelt. — Es ist ferner besonders hervorzuheben und anzuerkennen, daß auch die Verwendung der verschiedenen Körper Erwähnung gefunden hat. Zweifellos wird das Interesse der Studierenden dadurch erheblich vergrößert, daß er sich über den Zweck und die Bedeutung der von ihm erlernten Körper klar wird. . . .  
(**Medizinische Woche.**)

## Leitfaden für den gynäkologischen Operationskurs.

Mit Berücksichtigung

der Operationen an der Lebenden für Ärzte und Studierende

VON

Dr. **E. G. Orthmann**, Berlin.

Mit einem Vorwort von Prof. Dr. A. Martin.

86 zum Teil farbige Abbildungen.

**Geb. M. 4.50.**

. . . Es ist gewiß nicht leicht, den Gang einer Operation klar und kurz darzustellen. Die sehr geschickte Schreibweise des Verfassers, verbunden mit einfachen, aber auf den ersten Blick verständlichen und dabei nicht zu schematischen Zeichnungen wird auch dem Anfänger sehr schnell das Verstehen selbst komplizierter Operationen ermöglichen. . . . *Das kleine Werk wird sicherlich seitens der Ärzte und Studierenden die Beachtung finden, die es im vollen Maße verdient!*  
(**Zentralblatt für Gynäkologie.**)

Verlag von **Georg Thieme** in **Leipzig**.

## Lehrbuch der Anatomie des Menschen.

Von

Prof. Dr. **A. Rauber** (Dorpat).

Sechste Auflage.

I. Band: **Allgemeiner Teil, Lehre von den Knochen, Bändern, Muskeln und Eingeweiden.** Mit 1143 zum Teil farbigen Textabbildungen.

**M. 17.—, geb. M. 19.—.**

II. Band: **Gefäße, Nerven, Sinnesorgane und Leitungsbahnen.** Mit 900 zum Teil farbigen Textabbildungen.

**M. 18.—, geb. M. 20.—.**

Indem wir uns vorbehalten, auf das Werk nach dessen Vollendung nochmals eingehend zurückzukommen, können wir schon heute unser Urteil dahin zusammenfassen, daß das *vorliegende Lehrbuch zu den vollständigsten und trefflichsten seiner Art gehört*: wir müssen die klare und lichtvolle Darstellung hervorheben, deren Wärme sich auch dem Leser mittelt und ihn mit Interesse und Liebe für die Anatomie erfüllt, und müssen ganz besonders rühmend die *ungewöhnlich reiche Ausstattung mit vorzüglichen Abbildungen* betonen, wodurch das Werk jeden anatomischen Atlas entbehrlich macht und jeder ärztlichen Bibliothek zur Zierde gereichen wird.

(Med. chirurg. Zentralblatt.)

## Lehrbuch der allgemeinen Physiologie.

Eine Einführung

in das Studium der Naturwissenschaft und der Medizin

von

Prof. **J. Rosenthal** (Erlangen).

Mit 137 Abbildungen.

**M. 14.50, geb. M. 16.50.**

Wenn ein Forscher wie *Rosenthal*, der nicht nur ein großer Physiologe, sondern auch ein feinsinniger Gelehrter von tiefer, umfassender Bildung ist, als einer der letzten Mitstreiter aus der großen Zeit der deutschen Physiologie sich entschließt, der lernenden Jugend die Schätze eines reichen Wissens und die Klarheit seines langen Lebens in einer „Allgemeinen Physiologie“ zu schenken, so muß etwas außerordentliches herauskommen. *Und es ist ein monumentales Buch!* Der Titel sagt viel zu wenig; es ist eine Einführung in die gesamte Naturwissenschaft auf breitesten Fundamenten aufgebaut und geeignet, den Leser mit sicherer Hand zum Ziele, zur Analyse der Lebenserscheinungen zu führen. Ein erstaunlich reiches Material ist hier verwertet, ohne je durch zu spezielles Daraufgehen vordringlich zu werden.

(Medizinische Woche.)

## Roth's klinische Terminologie.

Zusammenstellung der zur Zeit in der klinischen Medizin gebräuchlichen technischen Ausdrücke, mit Erklärung ihrer Bedeutung und Ableitung

von

weil. Dr. **Otto Roth**.

Sechste, vielfach verbesserte und stark vermehrte Auflage.

**Geb. M. 9.—.**

Von diesem Werke kann man mit vollem Recht behaupten, daß es einem tiefgefühlten Bedürfnisse entspricht und daß wir *guten Grund haben, dem Verfasser für seine Gabe dankbar zu sein*. Wie oft kommt es bei der so ungewöhnlichen Reichhaltigkeit der medizinischen Nomenklatur vor, daß selbst der wirklich gebildete und nach allen Richtungen hin bewanderte Arzt sich in Verlegenheit befindet, wenn er sich oder anderen über Bedeutung oder Ableitung gewisser Namen seiner Wissenschaft Auskunft erteilen soll, und welch' beschämendes Gefühl ist es dann, sich in seinem eigenen Reiche als Fremdling zu dokumentieren. *Ein vortrefflicherer Führer durch dasselbe, als Roth's klinische Terminologie, dürfte wohl schwer gefunden werden können, und stehen wir nicht an, das inhaltsreiche Buch jedem Arzte aufs angelegentlichste zu empfehlen.*

(Excerpta medica.)

11\*

Verlag von **Georg Thieme** in **Leipzig**.

## Anatomische Tabellen für Präparierübungen und Repetitionen

von

Dr. med. **G. Walther**.

Heft I. (Bänder, Muskeln, Schleimbeutel und Schleimscheiden, Kanäle und Öffnungen etc.) **Geb. M. 3.—**.

Heft II. (Arterien und Nerven.) **Geb. M. 3.40.**

Diese anatomischen Tabellen sollen in erster Linie den Studierenden der Medizin beim Arbeiten auf dem Präpariersaale zur bequemen und raschen Orientierung dienen. Außerdem dürfen sie sich auch, wie das Vorwort richtig bemerkt, für häusliche Repetitionen — und Ref. möchte hinzusetzen, auch für Ärzte, die dies oder jenes auffrischen wollen — nützlich erweisen. Außer den von der anatomischen Gesellschaft angenommenen „Baseler“ Namen sind auch die gebräuchlichsten früheren Bezeichnungen aufgenommen, was in Hinsicht auf die klinischen Semester und die Ärzte sehr zweckmäßig erscheint . . . *Das Studium der Anatomie sowie schnelle Orientierung für den Arzt wird durch solche Zusammenstellungen natürlich sehr erleichtert.*

(**Deutsche medizn. Wochenschrift.**)

## Leitfaden für die Schwangeren-Untersuchung

von

Prof. Dr. **E. Winternitz**.

Mit 39 Textabbildungen und 4 farbigen Tafeln.

**Geb. M. 3.—**.

*E. Winternitz's* bekannte dialektische Begabung und langjährige Erfahrung im Lehrfache ließ von vornherein erwarten, daß sein Leitfaden für Studierende den beabsichtigten Zweck, diesen das Erlernen der Schwangeren-Untersuchung leicht faßlich zu erläutern, voll und ganz erfüllen würde. Dem Büchlein, welches sich bereits einen festen Freundeskreis erworben hat, steht vermöge seines gediegenen Wertes der Weg, sich nach Verdienst zu verbreiten, offen.

(**Monatsschrift f. Geburtsh. u. Gynäkol.**)

## v. Ziemssen's klinisches Rezepttaschenbuch.

Eine Anleitung zur Ordination der wichtigsten Arzneimittel.

**Siebente, gänzlich neu bearbeitete Auflage**

von

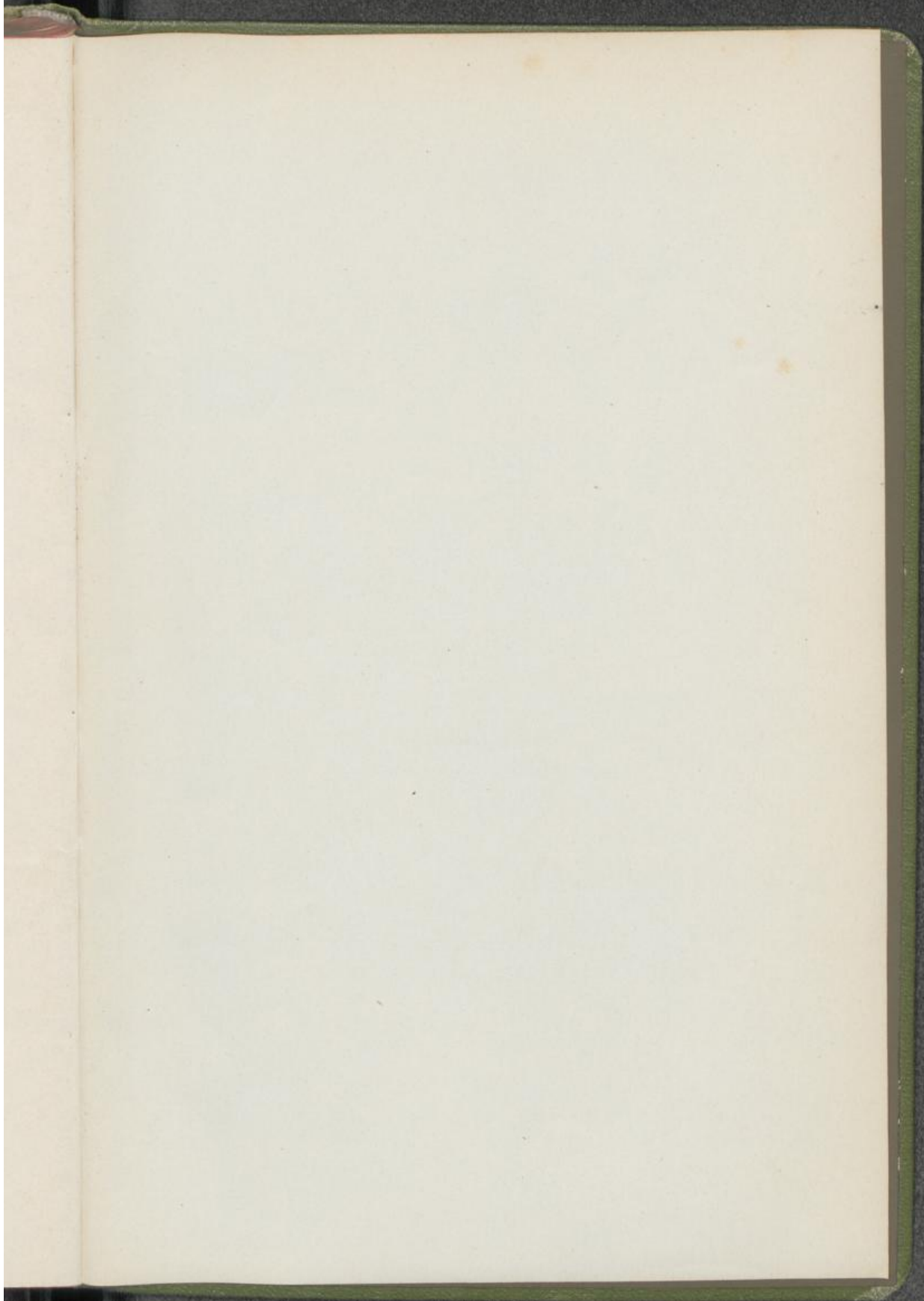
Prof. Dr. **Hermann Rieder** (München).

Taschenformat. — **Geb. M. 3.50.**

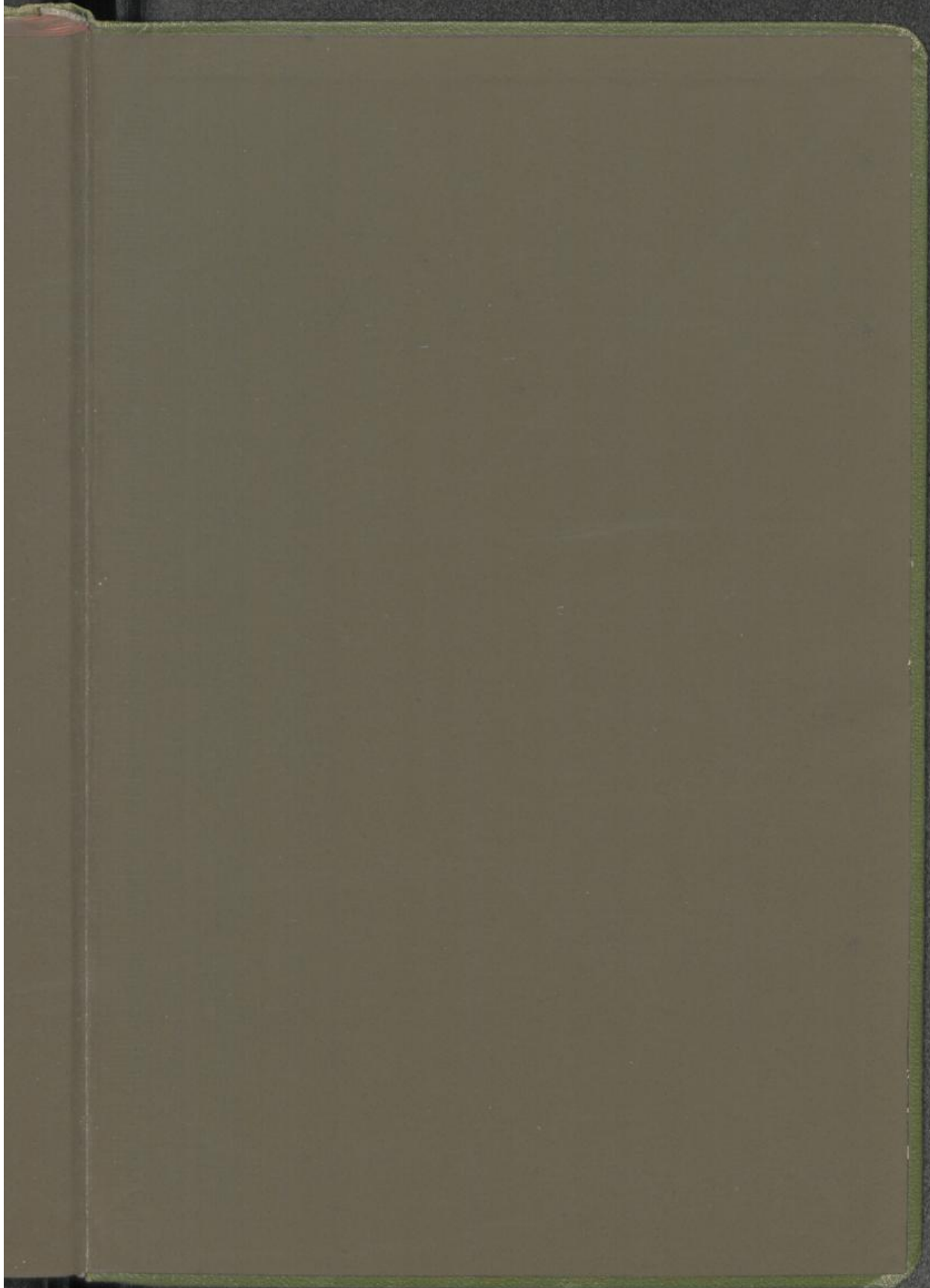
Das Büchlein will den oft mangelhaften Kenntnissen der jungen Ärzte in der Arzneiverordnungslehre, Drogenlehre und Arzneimittellehre zu Hilfe kommen und ihnen eine Anleitung zur Ordination geben. Durch Angabe der Preise bei den Drogen und eine Pharmacopoea oeconomica ist den Sparsamkeitsrücksichten Rechnung getragen, dabei aber die Pharmacopoea elegans nicht vergessen . . . Papier, Druck und Einband sind vorzüglich. Die 7. Auflage beweist, daß das Büchlein ein Bedürfnis in vortrefflicher Weise erfüllt.

(**Sächs. Korrespondenzblatt.**)

Druck von Hesse & Becker in Leipzig.







UNIVERSITÄTS- und  
LANDESBIBLIOTHEK  
DÜSSELDORF

