I. Abteilung.

# Physik.*)

Die **Physik** ist derjenige Teil der Naturlehre, welcher über solche Vorgänge in der Körperwelt handelt, bei denen keine **stoffliche** Veränderung stattfindet.

## A. Die Kräfte der Materie.

### 1. Die allgemeinen Eigenschaften der Körper. Mass und Gewicht.

**§ 1.** Welches sind die allgemeinen Eigenschaften der Körper? In der gesamten Körperwelt finden wir gewisse Eigenschaften an einem jedem Körper, die zu seiner Wesenheit gehören. Sie heissen: Ausdehnung, Undurchdringlichkeit, Porosität, Teilbarkeit, Beharrungsvermögen, Schwere.

*1. Ein jeder Körper nimmt einen bestimmten Raum ein, den zur selben Zeit kein anderer erfüllen kann.*

In diesem Satze vereinigen wir die beiden erstgenannten allgemeinen Eigenschaften. Ein jeder Körper nimmt einen bestimmten Raum ein — hierdurch charakterisiert er sich als etwas im Raume Bestehendes, als etwas Materielles; fehlte ihm diese Eigenschaft, so gehörte er nicht mehr in das Reich des Körperlichen. Es kann aber ein Raum nicht von zwei verschiedenen Körpern zugleich erfüllt sein (Undurchdringlichkeit). Wir sehen zwar, dass in einem Badeschwamme auch Luft enthalten ist; aber hier ist die Luft neben und zwischen der Materie des Schwammes, nicht mit derselben gleichzeitig in denselben Raumteilen.

*2. Ein jeder Körper besitzt Poren, d. i. leere Zwischenräume.*

Dieselben sind nicht von der Materie des Körpers, sondern von dem ihn umgebenden Medium (Luft, Wasser u. a.) erfüllt. Diese Poren sind häufig mit blossen Augen sichtbar, wie beim Brot, Badeschwamm; in anderen Fällen überzeugen wir uns von ihrer Gegenwart durch gewisse Erscheinungen: so dringt z. B.

*) Physik = Naturlehre, von φύσις (Natur).

eine Flüssigkeit beim Filtrieren durch die Poren des Papiers. Wir können durch die unsichtbaren Poren des Leders Quecksilber pressen; auch tierische und pflanzliche Membrane (Häute) sind für Flüssigkeiten durchdringlich, z. B. Pergamentpapier, Schweinsblase. (Endosmose.) Diese Durchdringbarkeit gilt für Salzlösungen, nicht aber für leimige und gummöse Flüssigkeiten. Man kann daher die krystallisierbaren Stoffe durch Tierblase oder Pergamentpapier von den amorphen Substanzen trennen; jene gehen durch die Membran hindurch, diese werden von ihr zurückgehalten. (Dialyse.)

Eine Folge der Porosität ist die Zusammendrückbarkeit und Ausdehnbarkeit der Körper, welche freilich sehr verschieden gross ist. Flüssigkeiten besitzen diese Eigenschaft in höchst geringem Grade; Wasser lässt sich kaum zusammenpressen. Ist ein Körper bestrebt, nach erlittener Ausdehnung oder Zusammendrückung seine ursprüngliche Grösse wiederzuerlangen, so nennen wir ihn elastisch. Während Kautschuk, Stahl u. a. diese Eigenschaft in hohem Grade besitzen, die Gase sogar jeder Veränderung des Raumes folgen, finden wir bei den Flüssigkeiten auch die Elastizität nur sehr gering.

*3. Die Körper sind einer fortgesetzten Teilung fähig.*

Durch mechanische Hilfsmittel sind wir imstande, einen Körper stetig zu verkleinern. Die neuere Wissenschaft hat der Teilbarkeit jedoch eine Grenze gesetzt, indem sie annimmt, dass ein jeder Körper aus kleinsten Masseteilchen, die man Moleküle*) nennt, und welche mechanisch nicht mehr teilbar seien, bestehe. Wir sind freilich noch niemals durch Teilung zu solchen Molekülen gelangt; durch ihre Kleinheit entziehen sie sich jeder menschlichen Beobachtung und Behandlung.

*4. Ein Körper verharrt in seinem Zustande, sei es Ruhe oder Bewegung, bis eine äussere Kraft denselben ändert.*

Dieses Beharrungsvermögen erklärt uns die ewige Bewegung der Erde um sich selbst, wie um die Sonne. Dass ein ruhender Körper so lange in Ruhe bleibt, bis eine Kraft ihn in Bewegung versetzt, ist uns nach allen irdischen Vorgängen klar; dass aber ein bewegter Körper auf der Erde nicht immerwährend sich fortbewegen kann, vielmehr über kurz oder lang von selbst zum Stillstand kommt, liegt in der Reibung, die der bewegte Körper mit seiner Umgebung, Unterlage u. dgl. ausführt. Eine abgeschossene Kugel reibt sich mit der Luft, ein rollendes Rad mit der Bodenfläche. Je glatter die Oberflächen, um so geringer die Reibung. Darauf beruht das Schmieren der Achsen, wobei aber zu beachten ist, dass Schmiermittel, die in den

*) molecula, Masseteilchen.

Körper einziehen, die Reibung nicht mindern; daher schmiert man Holz mit Talg oder harter Seife, nicht mit Öl.

Das Beharrungsvermögen verursacht, dass ein an einem Faden geschwungener Stein diesen Faden straff anzieht, weil er stetig gezwungen wird, seine Richtung zu ändern und sich im Kreise zu drehen. Diesen Widerstand, den das Beharrungsvermögen eines rotierenden Körpers äussert, um ihn in gerader Richtung fortzubewegen, nennt man Centrifugalkraft. Man bedient sich ihrer in der Technik, um feuchte Körper zu trocknen, indem man sie auf einer schnell drehbaren Kreisplatte, sog. Centrifugalmaschine, rotieren lässt; die leichter bewegliche Flüssigkeit trennt sich dabei, zufolge der Centrifugalkraft, von den festen Teilen und fliesst am Rande ab.

5. *Ein jeder Körper besitzt Schwere.*

Absolut gewichtslose Materie giebt es nicht. Wir bezeichnen das Verhältnis des Gewichtes zur Masse eines Körpers als seine Dichte. Je grösser das Gewicht eines Gegenstandes bei gleicher räumlichen Ausdehnung, um so spezifisch schwerer ist der Körper, um so grösser seine Dichte. Je mehr Raum ein Pfund einnimmt, um so weniger dicht ist der betreffende Körper.

**§ 2.** Vom Mass der Körper. Wir messen einen Körper nach drei Richtungen: nach seiner Linear-, seiner Flächen- und Körperausdehnung. Hiernach giebt es dreierlei Mass: ein Längenmass, ein Flächenmass und ein Körpermass.

Bei der grossen Mannigfaltigkeit der gebräuchlichen Masse hat die Wissenschaft, später auch die deutsche Gesetzgebung, als Einheit des Längenmasses das französische Meter*) (*m*) angenommen.

*Das Meter ist der zehnmillionste Teil eines Erdquadranten***).*

Man teilt das Meter nach der Zehnteilung in 10 Decimeter (*dm*), 100 Centimeter (*cm*), 1000 Millimeter (*mm*) ein.

Das Meter ist gleich $38^1/_4$ rheinischen Zollen.

Als Flächenmass bildet das Quadratmeter (*qm*), als Körpermass das Kubikmeter (*cbm*) die Einheit. Für Flüssigkeiten bedient man sich der Hohlmasse, deren Einheit das Liter***) (*l*) ist.

*Das Liter ist gleich 1 Kubikdecimeter oder 1000 Kubikcentimeter.*

**§ 3.** Vom Gewicht der Körper. Den Druck, den ein Körper auf seine Unterlage ausübt, nennen wir sein Gewicht und zwar sein absolutes Gewicht, im Gegensatz zum spezifischen Gewichte. Letztere Bezeichnung drückt die Dichte eines Körpers aus, d. i. das Verhältnis seiner Schwere zu seiner Ausdehnung.

*) μέτρον, Massstab.
**) Erdquadrant = der 4. Teil e. Meridians (Entfern. des Pols vom Äquator).
***) λίτρα (Pfund), ein Mass der Griechen.

*Das absolute Gewicht ist der Druck eines Körpers auf seine Unterlage; das spezifische Gewicht zeigt an, um wieviel schwerer oder leichter der Körper ist, als eine gleich grosse Menge eines anderen, zur Vergleichung dienenden Körpers.*

Bei festen und flüssigen Körpern nimmt man zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes das Wasser zum Vergleich und bezeichnet dessen Dichte mit 1,00. Bei den Gasen dient die atmosphärische Luft als Einheit. Hiernach besagt also das spezifische Gewicht des Quecksilbers = 13,5, dass das Quecksilber 13,5 mal schwerer sei als eine gleichgrosse Wassermenge.

Als Einheit des absoluten Gewichtes hat man an Stelle des früher gebräuchlichen Pfundes, in Übereinstimmung mit dem Hohlmass, das Gramm (*g*) angenommen.

*Das Gramm ist das Gewicht von 1 Kubikcentimeter (ccm) Wasser im Zustande seiner grössten Dichte (bei + 4°).*

Da nun 1000 *ccm* ein Liter bilden, so geht hieraus hervor, dass ein Liter Wasser bei + 4° genau 1000 *g* d. i. 1 Kilogramm (*kg*) wiegt.

Ein Pfund = ½ Kilogramm = 500 *g*.

Früher bediente man sich eines besonderen Medizinalgewichtes, bei dem
das Pfund (*libra*) in 12 Unzen (*uncia*),
die Unze in 8 Drachmen (*drachma*),
die Drachme in 3 Skrupel (*scrupulus*),
der Skrupel in 20 Gran (*granum*) zerfiel.

1 Skrupel = 20 Gran.
1 Drachme = 3 Skrupel = 60 Gran.
1 Unze = 8 Drachmen = 24 Skrupel = 480 Gran.

Das Gramm beträgt etwa 16¾ Gran.

Nach der amtlich festgestellten Reduktion beträgt

| | |
|---|---|
| eine Unze (℥i) . . . . . | 30,00 g |
| eine Drachme (ʒi) . . . . . | 7,75 „ |
| ein Skrupel (℈i) . . . . . | 1,25 „ |
| ein Gran (gr. i) . . . . . | 0,06 „ |

Fig. 1.

**Versuche.**

1. Endosmose. (Fig. 1.) Ein Medizinglas mit abgesprengtem Boden (b) oder einen Lampencylinder verschliesse man unten mit feuchter Schweinsblase oder Pergamentpapier und verbinde die obere Öffnung mittelst eines durchbohrten Korkes luftdicht mit einer offenen Glasröhre (a). Man fülle das Glas mit einer Kupfervitriollösung bis zum Halse an, hänge es in der Weise, wie die Figur zeigt, in ein grösseres Gefäss (Becherglas) und fülle letzteres mit Wasser (bis n) an, sodass beide Flüssigkeitsschichten gleich hoch stehen. Nach Verlauf eines Tages findet man die Kupferlösung (bis r) in die Glasröhre gestiegen, andrerseits auch das äussere Wasser bläulich gefärbt. Es hat also ein

wechselseitiger Austausch stattgefunden, aber mehr in der Richtung nach der dichteren Kupfervitriollösung zu, weshalb diese an der Menge zunahm.

2. Dialyse. Man überbinde die eine Öffnung eines Lampencylinders mit feuchter Schweinsblase oder Pergamentpapier, fülle ihn dann mit einer Zuckerlösung teilweise an, gebe Gummischleim hinzu und hänge ihn so in ein Gefäss mit reinem Wasser, dass beide Flüssigkeiten gleichhoch stehen. Allmählich geht der Zucker in das äussere Wasser über und erteilt demselben einen süssen Geschmack, während die Flüssigkeit im Cylinder ihre Süssigkeit verliert, aber schleimig bleibt.

**Fragen.**

1. Wieviel wiegt ein Liter Quecksilber, wenn dieses 13,5 mal schwerer als das Wasser ist? — Antw. 13,5 *kg*.

2. Woher kommt es, dass ein umgekehrt in Wasser eingetauchtes leeres Medizinglas sich nicht mit Wasser anfüllt? — Antw. Weil die im Glase eingeschlossene Luft es verhindert; erst beim Neigen desselben entweicht die Luft in Blasen und macht dem Wasser Platz.

3. Weshalb wird eine Axt am Stiele befestigt, wenn man denselben aufschlägt? — Antw. Beim Aufschlagen stösst der plötzlich in Ruhe gebrachte Stiel sich in die Axt ein, welche sich noch in Bewegung befindet.

4. Woher kommt es, dass beim Anlanden eines Kahnes die Insassen einen Stoss nach vorn erhalten? — Antw. Die Insassen, welche die Bewegung des Kahnes teilen, befinden sich noch in Bewegung, während der Kahn zur Ruhe gelangt.

---

## 2. Die Anziehungskräfte.

Kohäsion, Adhäsion, Schwerkraft, Aggregatzustände.

**§ 4.** Was nennt man Kohäsion? Die Ursache des Zusammenhaltens der einzelnen Teilchen eines Körpers führt man auf eine Kraft, die Kohäsion, zurück, welche zwischen den Molekülen anziehend wirkt. Ihr entgegen denken wir uns eine andere Kraft, welche die Moleküle von einander zu entfernen strebt und Repulsivkraft genannt wird.

Kohäsion und Repulsivkraft heissen, da sie zwischen den Molekülen eines und desselben Körpers wirken, Molekularkräfte. Je nach der Stärke der beiden besitzt ein Körper die feste, flüssige oder Gas-Form. Man nennt diese drei Formen die Aggregatzustände und definiert sie folgenderweise:

*1. Ein fester Körper besitzt ein bestimmtes Volumen und eine bestimmte Form, die er nicht freiwillig verändern kann.*

Wir vermögen die Teilchen eines festen Körpers nur durch äussere Gewalt von einander zu trennen; die Kohäsion herrscht in ihnen vor und verhindert möglichst jeden Zerfall der Moleküle, auch jede Verschiebung und Änderung der Form.

Wir nennen einen Körper, je nachdem er äusserem Drucke nachgiebt, weich oder hart. Lässt er sich leicht ausdehnen, ohne dabei zu zerreissen, so ist er dehnbar, wie z. B. die

Metalle; den Gegensatz dazu bildet ein spröder Körper, wie das Glas, welcher bei äusserer Gewalt leicht zerbricht. Elastisch nennen wir solche Körper, welche ihre frühere Form wieder annehmen, sobald diese durch äussere Kraft verändert worden ist. Die Festigkeit eines Körpers beurteilen wir nach dem Widerstande, den er leistet a) beim Zerreissen (absolute Festigkeit), b) beim Zerbrechen (relative Festigkeit), c) beim Zerdrücken (rückwirkende Festigkeit), d) beim Zerdrehen (Torsions-Festigkeit).

*2. Ein tropfbarflüssiger Körper besitzt ein bestimmtes Volumen, aber unbestimmte Form, die er dem Gefässe anpasst.*

Die Teilchen einer tropfbaren Flüssigkeit lassen sich mit Leichtigkeit verschieben, sodass dieselbe stets die Form des Gefässes annimmt, worin sie sich befindet. Kohäsion und Repulsivkraft halten sich hier das Gleichgewicht; letztere macht die Teilchen leicht trennbar, erstere verhütet ihren Zerfall. An der Tropfenbildung lässt sich erkennen, dass die Flüssigkeiten noch Kohäsion besitzen.

*3. Ein gasförmiger Körper besitzt unbestimmte Form und Volumen, den ihm gestatteten Raum völlig ausfüllend.*

Die Teilchen der Gase lassen sich nicht allein mit grösster Leichtigkeit verschieben, sondern fliehen geradezu einander. Die Repulsivkraft ist bei den Gasen übermächtig und veranlasst dieselben, jeden Raum, in dem sie sich befinden, auszufüllen. Nur äusserer Druck hält sie zusammen und giebt ihnen Form. Man hat sie deshalb auch elastische Flüssigkeiten genannt, weil sie in hohem Grade elastisch und jederzeit bemüht sind, ihr Volumen zu vergrössern. Dieses Bestreben, Tension (Spannung) genannt, wird in demselben Masse grösser, in welchem man das Volumen vermindert (Mariottesches Gesetz). Drückt man ein Gas auf ein halbes Volumen zusammen, so verstärkt sich die Tension, d. i. der Druck auf die Gefässwandung, aufs Doppelte; bei einer Zusammenpressung auf den vierten Teil des Volumens erhöht sich die Tension auf das Vierfache u. s. f.

Gase, welche durch starken Druck resp. Volumverminderung, oder durch starke Abkühlung tropfbarflüssig werden, nennt man coërcibile*) Gase; die übrigen, nicht kondensierbaren, permanente Gase. Zu den coërcibilen Gasen gehört z. B. die Kohlensäure, das Chlor; zu den permanenten zählte man bisher die atmosphärische Luft, den Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff. Seitdem es jedoch neuerdings gelungen ist, Sauerstoff-, Wasserstoff- und Stickstoffgas durch gleichzeitige Anwendung von Druck und Kälte zu verflüssigen, lässt sich die Ansicht nicht mehr abweisen, dass es wirklich permanente Gase gar nicht gebe.

---

*) Bezwingbar, von coërceo bezwingen.

Solche Gase, welche erst durch Erhitzung aus Flüssigkeiten oder festen Körper entstehen und bei Abkühlung zur gewöhnlichen Temperatur wieder flüssig oder fest werden, nennt man Dämpfe. Sie gehorchen nicht dem Mariotteschen Gesetz; drückt man sie zusammen, so verdichtet sich ein Teil, während der gasförmig bleibende Rest die frühere Spannung bewahrt.

§ 5. Was ist Adhäsion? Bei der Berührung zweier Körper findet Anziehung statt, zufolge deren sie aneinander haften bleiben. Diese Äusserung der Anziehungskraft nennt man Adhäsion. Sie ist um so stärker, je glatter die sich berührenden Flächen sind, je mehr Berührungspunkte sie sich also bieten. Zwei polierte Glasscheiben (Spiegelscheiben), frische Schnittflächen von Kautschuk, haften so stark an einander, dass sie sich oft kaum mehr trennen lassen. Da durch Benetzen, Ölen u. dgl. die Berührung inniger wird, so vermehrt sich dadurch die Adhäsion.

Wenn Flüssigkeiten an festen Körpern adhärieren, so tritt Benetzung ein; wir bemerken hierbei eine Hebung des Flüssigkeitsniveaus am festen Körper. Tauchen wir einen Stab in Wasser, so zieht sich dasselbe an dem Stabe etwas in die Höhe. In einer Röhre bildet das Wasser eine konkave Kurve. Hierauf gründet sich die Kapillarität, Haarröhrchen-Anziehung, die Kraft, mit welcher sehr enge Glasröhrchen das Wasser hoch in sich emporsteigen lassen und zwar um so höher, je enger sie sind. Diese Eigenschaft feiner Röhrchen äussert sich bei vielen bekannten Erscheinungen, z. B. beim Aufsaugen von Flüssigkeiten durch einen Badeschwamm, einen Lampendocht, durch Zucker, Fliesspapier, deren feine Porengänge als Haarröhrchen wirken.

Zwischen Quecksilber und Glas findet keine Benetzung statt, d. h. die Kohäsion des Quecksilbers übertrifft seine Adhäsion an festen Körpern. Daher bildet dieses Material überall, wo es die Gefässwand berührt, Tropfenform und in einer Glasröhre eine konvexe Kurve; wir nennen diese Erscheinung, zufolge deren das Quecksilber an der Gefässwand niedriger steht, seine Depression; wir sehen sie sehr deutlich beim Barometer. Aus demselben Grunde steigt das Quecksilber auch nicht in die Haarröhrchen empor.

Zwischen zwei Flüssigkeiten bewirkt die Adhäsion allmähliche Mischung, wenn sie auch vorsichtig übereinander geschichtet werden. Dasselbe beobachten wir bei Gasen (Diffusion der Gase), welche sich in kurzer Zeit gleichmässig durchdringen und mischen. Nicht alle Flüssigkeiten adhärieren an einander; die Adhäsion zwischen fettem Öl und Wasser ist sehr gering, erhöht sich aber durch Zusatz eines schleimigen Stoffes. Wird Öl mit einer Lösung arabischen Gummis zusammengeschüttelt oder anhaltend gerührt, so zerteilt es sich in sehr feine Tröpfchen, welche sich

in der wässerigen Flüssigkeit gleichmässig verteilen und eine milchähnliche Mischung, Emulsion, geben. Die Milch ist eine derartige Emulsion des Butterfettes.

Auf der Adhäsion beruht auch die Auflösung fester Stoffe in Flüssigkeiten, sowie die Absorption der Gase durch Flüssigkeiten und poröse Körper. Holzkohle, Platinschwamm u. a. verdichten viele Gase an ihrer Oberfläche zum vielfachen (oft hunderfachen) Volumen. Die Auflöslichkeit der Gase in Flüssigkeiten wird durch erhöhten Druck verstärkt, durch Erhitzen aber vermindert. Wasser verschluckt bei gewöhnlicher Temperatur etwa sein gleiches Volum Kohlensäure, bei doppeltem Atmosphärendruck sein doppeltes, bei fünffachem Drucke sein fünffaches Volum, in der Siedhitze verliert es aber alles gelöste Gas. Den Luftgehalt des Wassers erkennt man an den Gasbläschen, welche beim Vermischen desselben mit Weingeist entweichen.

**§ 6.** Wo greift die Schwerkraft an? Der Erdkörper übt auf alle in seinem Bereiche befindlichen Gegenstände Anziehung aus, zufolge deren sie auf ihre Unterlage drücken und, wenn ihnen diese Unterlage entzogen wird, fallen. Unterstützt man aber den Körper in seinem Schwerpunkte d. i. in demjenigen Punkte, um welchen alle Moleküle sich im Gleichgewicht gelagert befinden, so ruht er.

*Der Schwerpunkt eines Körpers ist derjenige Punkt, bei dessen Unterstützung er vor dem Fallen bewahrt wird.*

Wir finden den Schwerpunkt eines Körpers, wenn wir ihn nacheinander an zwei verschiedenen Punkten seiner Masse aufhängen und jedesmal die Vertikallinie ziehen; wo beide Linien sich schneiden, liegt der Schwerpunkt. Regelmässige Körper von gleichmässiger Beschaffenheit (Kugel, Scheibe etc.) haben ihren Schwerpunkt im mathematischen Mittelpunkte.

Je nach der Art, wie wir den Schwerpunkt eines Körpers unterstützen, befindet sich derselbe im stabilen, labilen oder indifferenten Gleichgewichte. Hängen wir einen Körper auf, so liegt der Schwerpunkt unterhalb des Unterstützungspunktes und nimmt, aus seiner Lage gebracht, nach einigen Schwingungen wieder seine frühere Stellung ein — das Gleichgewicht ist stabil. Stellen wir aber den Körper auf eine Unterlage, so liegt sein Schwerpunkt über dem Unterstützungspunkt und er kann durch Neigen dauernd aus seiner Lage gebracht werden (umfallen); ein solches Gleichgewicht ist labil. Je breiter die Grundfläche des stehenden Körpers, um so geringer ist die Gefahr des Umfallens. Unterstützen wir aber den Körper in seinem Schwerpunkt selbst, wie das Wagenrad in seiner Achse, so befindet er sich im indifferenten Gleichgewichte, da dasselbe niemals gestört werden kann.

Bei den tropfbarflüssigen Körpern äussert sich die Schwerkraft

im gleichen Niveau; wenn eine Flüssigkeit sich in zwei kommunizierenden Röhren befindet, so ist auch hierin ihr Niveau gleich hoch, bei ungleichartigen Flüssigkeiten aber für die schwerere Flüssigkeit um so tiefer, je schwerer sie ist, wie die andere. Die Höhen der Flüssigkeitssäulen verhalten sich umgekehrt wie ihre spezifischen Gewichte. Auf diesem Gesetze des gleichen Niveaus beruht der Springbrunnen; jedoch erreicht der springende Wasserstrahl niemals die Höhe des anderen Schenkels, sowohl wegen der Reibung mit der Gefässwand, als auch wegen des Widerstands der Luft.

**Versuche.**

1. Tropfenbildung. In einem Becherglase schichte man gleiche Volumina Weingeist und Wasser mit der Vorsicht über einander, dass sie sich nicht sofort mischen, darauf lasse man einige Tropfen Olivenöl langsam einfallen. Das Öl wird in der Mitte der Flüssigkeit in kugeligen Tropfen schwimmen. — Spritzt man Wasser auf eine mit Bärlapp bestreute Glasscheibe, so bildet es kugelige Tropfen auf derselben.

2. Stabiles Gleichgewicht. In einen Korkstopfen steche man zwei Gabeln unter schiefen Winkeln einander gegenüber: alsdann kann man ziemlich sicher den Kork auf einer Nadelspitze balancieren lassen, da der Schwerpunkt unter den Unterstüzungspunkt fällt.

3. Kommunizierende Röhren. In einen mit Wasser gefüllten Glascylinder stelle man eine offene Glasröhre: sie wird sich gleichhoch mit Wasser anfüllen. Giesst man dann Äther in die innere Glasröhre, so drückt derselbe das Wasser so tief in ihr herab, dass die Höhe der ganzen Ätherschicht sich zur Differenz des Wasserniveaus in und ausser der Röhre verhält, wie 11 : 8, d. i. umgekehrt wie das spezifische Gewicht des Äthers (0,72) zu dem des Wassers (1,00).

**Fragen.**

1. Worauf beruht das Leimen und Kitten? — Antw. Darauf, dass man durch eine flüssige Materie die Adhäsion zwischen zwei festen Körpern verstärkt, welche Materie durch nachfolgendes Erhärten die Flächen dauernd verbindet.

2. Wie verhalten sich zwei Flüssigkeiten, welche keine Adhäsion zu einander besitzen, z. B. Äther und Wasser? — Antw. Die schwerere Flüssigkeit (Wasser) bildet eine Schicht unter der leichteren (Äther); nach dem Schütteln trennen sie sich alsbald wieder.

3. Welches Niveau zeigt das Wasser, welches dagegen das Quecksilber in einer Glasröhre? — Antw. Wasser zeigt ein konkaves Niveau, Quecksilber ein konvexes.

4. Woher rührt das starke Aufschäumen, wenn man Zuckerpulver in kohlensäurehaltigem Wasser auflöst? — Antw. Von der Adhäsion des aufgelösten kohlensauren Gases an die Zuckerpartikel, bei deren Schmelzen es in Bläschen entweicht.

5. Wo liegt der Schwerpunkt einer Kugel, einer Walze, eines Ringes? — Antw. Im Centrum der Kugel; im Mittelpunkt des die Walze halbierenden Querschnitts; im Mittelpunkte des Kreises, dessen Peripherie der betreffende Ring darstellt.

6. Wie hoch stellen sich in einer zweischenkligen Röhre Wasser und Quecksilber? — Antw. Das Quecksilber steht in dem einen Schenkel 13mal niedriger als das Wasser in dem andern Schenkel.

## 3. Krystallbildung und Krystallformen.

**§ 7. Was ist ein Krystall?***) Wenn ein Körper aus dem flüssigen oder dampfförmigen Zustande in den festen übergeht, so nimmt er entweder bestimmte Formen an, er krystallisiert, oder er scheidet sich formlos, amorph, aus. Ersteres thun die meisten Salze, letzteres die leimartigen, gummösen, gallertigen Körper.

*Ein Krystall ist ein von ebenen Flächen und geraden Kanten begrenzter Körper.*

An jedem Krystalle lassen sich mehrere Richtungen erkennen, nach denen er jedesmal in zwei symmetrische Hälften geteilt werden kann; alsdann liegt jeder Fläche, Kante und Ecke eine entsprechend gestaltete Fläche, Kante und Ecke gegenüber. Diese Richtungen nennt man die Achsen des Krystalls. In der Regel zeigt jeder Krystall drei Achsen: eine Höhen-, Längen- und Breitenachse. Stellen wir ihn aufrecht vor uns, so verlaufen die beiden letzteren Achsen in einer Horizontalebene, auf der die Höhenachse steht. Dieser horizontale Schnitt, in welchem die Längen- und Breitenachse verläuft, heisst die Grundfläche des Krystalls.

Die Flächen, welche einen Krystall begrenzen, sind bald Dreiecke, bald Quadrate, Rhomben, Parallelogramme, auch wohl Trapeze, Fünfecke (Pentagone) und Sechsecke (Hexagone).

**§ 8. Wann bilden sich die Krystalle?** Es giebt zwei Wege der Krystallbildung:

1. durch Verdampfung aufgelöster Körper,
2. durch Erstarrung flüssiger oder dampfförmiger Körper.

Während die Schneebildung ein Beispiel des zweiten Falles ist, begegnen wir dem ersten Falle ungemein häufig, zumal bei chemischen Operationen in den Laboratorien.

Jedes Lösungsmittel kann bei einer und derselben Temperatur nur eine gewisse Menge des festen Körpers lösen; ist diese Grenze erreicht, so nennt man die Lösung eine gesättigte. In den meisten Fällen nimmt ein Lösungsmittel in der Wärme mehr von dem Körper auf, als in der Kälte; darum scheidet eine heissgesättigte Lösung beim Abkühlen einen Teil des Körpers in Krystallen ab.

Ein wesentliches Moment zur Erzielung grösserer, schön ausgebildeter Krystalle ist Ruhe; je langsamer die Lauge erkaltet, je weniger sie dabei bewegt wird, um so grösser und regelmässiger fallen die Krystalle aus. Bewegt man dagegen die erkaltende Lauge lebhaft durch Quirlen mit einem Stabe, so entsteht ein Haufenwerk kleinster Kryställchen, ein sog. Krystallmehl.

---

*) κρύσταλλος, der Krystall, d. i. das durchsichtig Erstarrte.

In der Zusammensetzung und Form stimmen beide völlig überein, das Krystallmehl ist aber in der Regel reiner, da es weniger von dem Lösungsmittel (Mutterlauge) einschliesst, als die grösseren Krystalle.

Körper, welche sich in der Wärme kaum leichter lösen, wie in der Kälte, z. B. das Kochsalz, lassen sich nicht durch Abkühlen krystallisieren, sondern nur durch Abdampfen der Lösung.

Viele Krystalle besitzen Krystallwasser d. i. Wasser, welches in die Krystallgestalt mit eingegangen ist. Dieses Krystallwasser entweicht in vielen Fällen schon in gewöhnlicher Temperatur an trockner Luft, was aber stets mit dem Zerfalle der Krystalle verbunden ist — die Krystalle verwittern. So verwittert die Soda, das Glaubersalz, das Bittersalz, unter Verlust ihres halben Gewichtes zu einem weissen Pulver. In der Siedhitze des Wassers verlieren die meisten Krystalle ihr Krystallwasser, in einigen Fällen wird aber ein Rest festgehalten und erst in schwacher Glühhitze fahren gelassen, z B. beim Alaun, Zink- und Eisenvitriol.

Auch finden wir den Fall nicht selten, dass der Krystallwassergehalt verschieden ist, je nach der Temperatur, in welcher die Krystallisation stattfindet. So krystallisiert das Glaubersalz bei $+ 10^0$ mit 10 Molekülen Krystallwasser, bei $+ 33^0$ ohne Wasser.

§ 9. Wie teilt man die Krystalle ein? Als Hauptformen, welche in allen Systemen wiederkehren, betrachtet man:

1. die Doppelpyramide oder das Oktaëder, aus zwei mit ihren Grundflächen auf einander gestellten Pyramiden gebildet und durch Dreiecksflächen begrenzt;

2. die Säule oder das Prisma, aus Parallelogrammflächen zusammengesetzt, von denen die gegenüberstehenden parallel laufen.

Die verschiedenen Doppelpyramiden und Prismen lassen sich nach der Stellung und Länge ihrer Achsen unterscheiden. So ist der Würfel eine vierseitige Säule mit senkrecht sich kreuzenden und gleichlangen Achsen; durch Verkürzung oder Verlängerung seiner Höhenachse wird er zur quadratischen Säule, welche im ersteren Falle tafelförmig, im letzteren langgestreckt erscheint. Kreuzen sich die horizontalen Achsen schiefwinklig, so wird die Grundfläche zum Rhombus, der Würfel zur rhombischen Säule, bei schräger Höhenachse zur schiefen rhombischen Säule.

*Beim Oktaëder endigen die Achsen in den Ecken, bei der Säule in den Mittelpunkten der beiden Endflächen und der Längskanten.*

Sämtliche Krystallformen lassen sich in sechs Krystallsysteme ordnen, welche sich durch die Stellung und Länge ihrer Achsen unterscheiden. Bezeichnen wir nach § 7 den Querschnitt durch den Krystall als Grundfläche, so stellen Längen- und Breitenachse deren Diagonallinien dar.

Unterscheidung der sechs Krystallsysteme.

A. Drei Achsen vorhanden: eine vertikale Hauptachse und zwei horizontale Nebenachsen.

a) Grundfläche ein Quadrat. (Die beiden Nebenachsen schneiden sich rechtwinklig und sind gleich lang.)

α) Die senkrechte Hauptachse ist mit den Nebenachsen gleich lang . . . . . *I. reguläres System.*

β) Die senkrechte Hauptachse ist länger oder kürzer als die Nebenachsen: *II. quadratisches System.*

b) Die Grundfläche ist ein Rhombus. (Die beiden Nebenachsen schneiden sich rechtwinklig, sind aber ungleich lang.

α) Die Hauptachse steht senkrecht auf den Nebenachsen . . . . . *III. rhombisches System.*

β) Die Haupachse steht geneigt auf den Nebenachsen: *IV. klinorhombisches System.*

c) Die Grundfläche ist ein geschobenes Rechteck (Rhomboid). Die beiden Nebenachsen sind ungleich lang und schiefwinklig zu einander. Die Hauptachse steht ebenfalls geneigt zur Grundfläche: *V. rhomboidisches System.*

B. Vier Achsen vorhanden: eine vertikale, senkrechte Hauptachse und drei horizontale, gleichlange Nebenachsen, die sich unter gleichem Winkel (60°) schneiden.

Grundfläche ein regelmässiges Sechseck (Hexagon) . . . . . *VI. Hexagonalsystem.*

Die Hauptformen des regulären Systems sind:

1. das reguläre Oktaëder oder der Achtflächner (Fig. 2.) aus acht gleichseitigen Dreiecksflächen gebildet;
2. der Würfel, Kubus oder Hexaëder (Fig. 3), aus sechs Quadratflächen gebildet.

Ihnen schliessen sich an: der Rhombendodekaëder mit zwölf rhombischen Flächen, der Pentagondodekaëder mit zwölf fünfseitigen Flächen u. a. m.

Da im regulären System alle drei Achsen gleichlang und senkrecht zu einander sind, so besitzen diese Formen gleiche Höhe, Länge und Breite, sodass man eine Kugelfläche um sie beschreiben kann. Das Oktaëder finden wir beim Alaun, den Würfel beim Kochsalz, Jodkalium u. a.

Die Oktaëder und Säulen (Prismen) der andern Systeme: Vom regulären Oktaëder und Würfel weicht das quadratische Oktaëder und die quadratische Säule nur durch die ungleichlange Vertikalachse (Hauptachse) ab; ist dieselbe länger als

die Nebenachsen, so erscheint das Oktaëder resp. die Säule verlängert, ist sie kürzer, so wird die Form verkürzt, die Säule zur Tafel. Die (gerade) rhombische Säule unterscheidet sich von der quadratischen Säule durch die rhombische Grundfläche; die klinorhombische oder schiefe rhombische Säule (Fig. 4) besitzt eine schiefgestellte Hauptachse. In jener Form krystallisiert das Bittersalz, in dieser die Soda, das Glaubersalz, der Zucker. Die rhomboidale Säule ähnelt der schiefen rhombischen Säule, unterscheidet sich aber durch die Grundfläche, welche kein Rhombus, sondern ein Rhomboid (gestreckter Rhombus) darstellt. Wir finden sie beim Kupfervitriol.

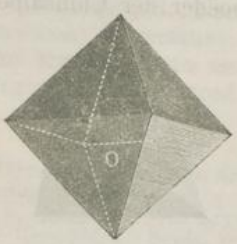

Fig. 2.

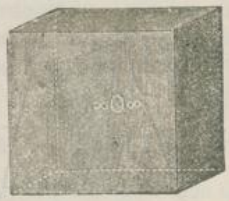

Fig. 3.

Fig. 4.

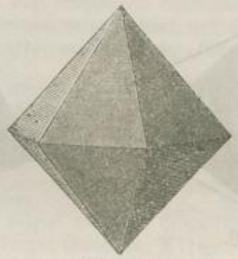

Fig. 5.

Fig. 6.

Im Hexagonalsystem finden wir als Hauptformen:

1. die sechsseitige Doppelpyramide (Fig. 5);
2. die hexagonale oder sechsseitige Säule (Fig. 6) mit sechs Rechtecks- und zwei Hexagonal-Flächen. In diesen Formen krystallisiert der Quarz (Bergkrystall).

Die Krystalle zeigen häufig Abstumpfungen von Kanten und Ecken durch Flächen, Zuspitzungen von Flächen durch Pyramiden. Diese Abänderungen finden an den gegenüberliegenden Stellen gleichzeitig und gleichmässig statt. Die Säulen erhalten in dieser Weise oben und unten sehr häufig pyramidale Zuspitzungen oder an je zwei Kanten Flächen-Abstumpfungen. So sehen wir beim Salpeter die rhombische Säule

durch Abstumpfung zweier Längskanten in eine sechsseitige verwandelt, welche sich jedoch leicht dadurch von der hexagonalen Säule unterscheidet, dass ihre Endflächen keine regulären Sechsecke sind.

Besondere Formen sind die Halbflächner (Hemiëder), welche man aus dem Oktaëder dadurch bilden kann, dass man die Hälfte seiner Flächen auswachsen, die zwischenliegenden verschwinden lässt. So entsteht aus dem Oktaëder (Fig. 7) das vierflächige Tetraëder (Fig. 8), aus der zwölfflächigen Doppelpyramide (Fig. 9) das sechsflächige Rhomboëder (Fig. 10), dessen sämtliche Flächen Rhomben darstellen.*) Als Tetraëder krystallisiert der Brechweinstein, als Rhomboëder der Chilisalpeter.

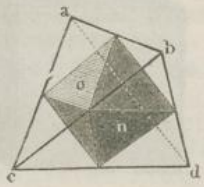


Fig. 7.

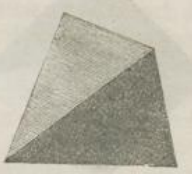

Fig. 8.

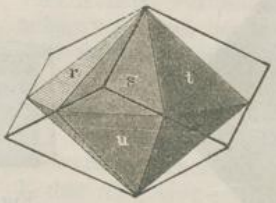


Fig. 9.

Fig. 10.

Man giebt daher dem Tetraëder die aufrechte Lage, indem man es auf eine Kante stellt; das Rhomboëder stellt man auf eine der beiden Ecken, welche der sechsseitigen Doppelpyramide entlehnt sind. Im Tetraëder verbinden die Achsen die Mitten der Kanten; im Rhomboëder thun dies nur die Nebenachsen.

**§ 10.** Wie lautet das Krystallisationsgesetz? Der krystallisierende Körper kann sämtliche Formen annehmen, welche dem System angehören, worin er krystallisiert. Im allgemeinen lässt sich der Satz aufstellen:

*) In Fig. 7 wachsen die Flächen o, n und eine auf der anderen Seite, die übrigen verschwinden; in Fig. 8 wachsen r, t, u und drei auf der anderen Seite, die nicht mit ihnen zusammenstossen.

*Ein jeder Körper krystallisiert nur in den Formen eines und desselben Systems.*

Ausnahmen sind nicht häufig. Vermag ein Körper in zwei verschiedenen Systemen zu krystallisieren, so nennt man ihn dimorph. Der Schwefel krystallisiert z. B. im rhombischen und klinorhombischen System, die Kohle als Diamant im regelmässigen, als Graphit im Hexagonalsystem.

Es giebt Körper, die im gleichen Systeme krystallisieren und sich gegenseitig in ihren Verbindungen vertreten, ohne die Krystallform zu ändern. Solche heissen isomorph. Beispiele: die Alaune von Thonerde, Chromoxyd und Eisenoxyd; die Salze von Zinkoxyd, Eisenoxydul und Magnesia, die der Phosphorsäure und Arsensäure. Thonerdealaun, Chromalaun und Eisenalaun krystallisieren als reguläre Oktaëder und können sich gegenseitig auswechseln und mischen, ohne die äussere Form zu ändern.

**Fragen.**

1. Wie bestimmt man das System, zu welchem ein vorliegender Krystall gehört?

Antw. Man halte den Krystall so vor sich hin, dass sein Querschnitt resp. seine Grundfläche genau in die Horizontale zu liegen kommt; dann konstruiere man die Form dieser Grundfläche, wobei etwaige Abstumpfungen von Ecken und Zuschärfungen von Seiten zu berücksichtigen sind, und sehe zu, ob die Vertikalachse senkrecht oder schief auf ihr stehe.

A. Die Vertikalachse steht senkrecht auf der Grundfläche;
  a) Grundfläche quadratisch:
    α) Vertikalachse mit den Horizontalachsen gleichlang: alle Dimensionen des Krystalls sind sich gleich: . Reguläres System.
    β) Vertikalachse verkürzt oder verlängert; die Krystalle sind niedergedrückt oder langgezogen: . . . Quadratisches System.
  b) Grundfläche rhombisch: . . . . . Rhombisches System.
  c) Grundfläche ein reguläres Sechseck: . . Hexagonales System.

B. Die Vertikalachse steht schief auf der Grundfläche;
  a) Grundfläche ein geschobenes Quadrat: Klinorhombisches System.
  b) Grundfläche ein geschobenes Rechteck: Rhomboidales System.

2. Wie unterscheiden sich die Flächen des Rhomboëders von denen des Würfels?

Antw. Die Flächen des Rhomboëders sind 6 Rhomben, die des Würfels sind 6 Quadrate.

---

## B. Erscheinungen des Gleichgewichts und der Bewegung.

### 4. Hebel und Wage.

**§ 11.** Was nennt man einen Hebel? Unter einem Hebel versteht man jede unbiegsame Stange, an welcher zwei entgegengesetzte Kräfte, Kraft und Last, wirken, während jene an einem

Punkte unterstützt ist. Je nachdem die beiden Kräfte auf zwei verschiedenen oder auf derselben Seite vom Stützungspunkte angreifen, unterscheiden wir zwei Arten Hebel:

a) Beim zweiarmigen Hebel liegt der Stützpunkt zwischen Kraft und Last. Liegt er genau in der Mitte zwischen beiden, sodass die sog. Hebelarme gleich lang sind, dann wird der Hebel ein gleicharmiger genannt; wir finden ihn bei der gewöhnlichen Wage. Befindet sich der Stützpunkt nicht in der Mitte zwischen Kraft und Last, so ist der Hebel ein ungleicharmiger. Einen solchen, an welchem der eine Arm zehnmal länger ist als der andere, finden wir bei der Dezimalwage.

b) Beim einarmigen Hebel liegt der Stützpunkt auf der einen Seite, Kraft und Last auf der anderen. Suchen wir mit dem Hebebaum oder Brecheisen etwas zu heben, mit dem Schneidemesser etwas zu durchschneiden, so wenden wir einarmige Hebel an.

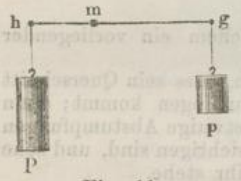

Fig. 11.

**§ 12.** Wie lautet das Gesetz des Hebels?

Fig. 11 stellt einen ungleicharmigen Hebel hg vor, dessen Stützpunkt in m liegt; am längeren Hebelarm mg wirkt die kleinere Kraft p, am kürzeren Arm mh hängt die grössere Last P. Der Hebel befindet sich dann im Gleichgewicht, wenn die Last P um so viel grösser ist als die Kraft p, wie der Hebelarm mg länger ist als der Arm mh. Wir drücken dies aus durch die Proportion

$p : P = mh : mg$; daraus folgt die Gleichung: $p \cdot mg. = P \cdot mh.$

*Der Hebel befindet sich im Gleichgewicht, wenn Kraft und Last sich umgekehrt verhalten wie ihre Hebelarme. Alsdann ist das Produkt der Kraft mit ihrem Hebelarm gleich dem Produkte der Last mit ihrem Hebelarm.*

Die Produkte der Kraft resp. Last mit ihren Hebelarmen nennt man auch wohl die statischen*) Momente. Der Hebel befindet sich also dann im Gleichgewicht, wenn seine statischen Momente einander gleich sind.

An einem längeren Hebelarm bedarf man einer kleineren Kraft, an einem kürzeren Arm einer grösseren Kraft, um eine gewisse Last zu heben. Diese Kraftersparnis ist aber mit einem grösseren Zeitaufwand verbunden, da ein längerer Hebelarm grössere Räume durchwandern muss. »Was beim Hebel an Kraft gewonnen wird, geht an Zeit verloren.« Wir sehen dies sehr deutlich am Wellrade, mit dem wir bedeutende Lasten, welche an einer Walze hangen, mittelst geringer Kraftäusserungen

*) στάσις, das Stillstehen, Gleichgewicht.

an einem grösseren Rade oder nur an dessen Speichen zu heben vermögen. Je mehr der Halbmesser des Rades (resp. die Länge der Speichen) denjenigen der Walze übertrifft, eine um so geringere Kraft genügt zur Hebung der Last, aber auch um so mehr Zeit ist dazu erforderlich.

**§ 13.** Gleicharmige Wage. Die gewöhnliche Wage ist ein gleicharmiger Hebel, bestehend aus dem Wagebalken mit der Zunge; sie ruht mit dem Zapfen auf den Pfannen, welche wie jener aus poliertem Stahl gearbeitet sind. An den Enden des Wagebalkens hängen die Bügel mit den Wageschalen. Die einzelnen Teile müssen folgende Bedingungen erfüllen, wenn die Wage brauchbar und gut sein soll:

1. Die Arme des Balkens müssen genau gleiche Länge besitzen.
2. Zapfen und Bügel müssen in einer geraden Linie liegen.
3. Der Ruhepunkt soll etwas über dem Schwerpunkt der ganzen Wage sich befinden. Wenn der Schwerpunkt in den Unterstützungspunkt hinein fällt, so herrscht indifferentes Gleichgewicht; liegt er über ihm, so ist das Gleichgewicht ein labiles. Es soll aber stabiles Gleichgewicht herrschen, d. i. die Wage muss aufgehängt sein. Je tiefer der Schwerpunkt unter den Stützpunkt rückt, um so weniger empfindlich wird die Wage, was man bei stärkerer Belastung beobachten kann, denn:

*Je mehr die Wage belastet wird, um so weniger empfindlich ist sie.*

Man bestimmt die Empfindlichkeit einer Wage nach dem kleinsten Gewichte, womit sie bei völliger Belastung einen merkbaren Ausschlag giebt.*) In den Apotheken dürfen nur sog. Präzisionswagen zur Anwendung gelangen, welche bei 20 *g* Maximalbelastung noch mit 0,08 *g*, bei 200 *g* Maximalbelastung noch mit 0,4 *g* einen deutlichen Ausschlag geben.

**§ 14.** Ungleicharmige Wagen. Die Dezimalwage, welche man auch als Brückenwage gebraucht, besitzt einen ungleicharmigen Wagebalken; der Arm, woran die Gewichte wirken, ist zehn-

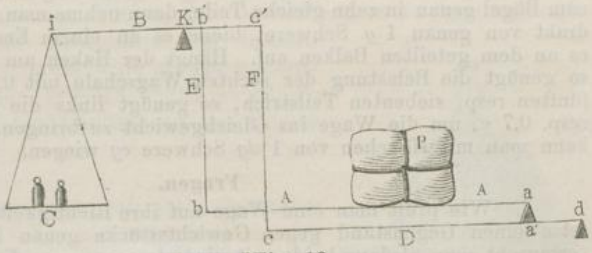

Fig. 12.

*) Ist dieses kleinste Gewicht p, die volle Belastung Q, so drückt man den Grad der Empfindlichkeit durch den Bruch p/2Q aus.

mal länger als derjenige, woran die Last hängt; Ki = 10 Kb′ (Fig. 12). Die auf ab ruhende Last drückt sowohl durch den Punkt b auf b′, als durch den Punkt a auf c resp. c′; da nun a′d : cd = Kb′ : Kc′, so wird der bei a resp. c′ drückende Teil der Last durch den einarmigen Hebel D wirken, als ob er auch in b′ angriffe. Das Resultat dieser Verbindung der drei Hebel A, B, D ist also, dass die gesamte Last in b′ angreifend gedacht werden kann, d. i. zehnmal schwächer wirkt, als die Kraft C.

Ähnlich ist die Anwendung des ungleicharmigen Hebels bei der sog. Schnellwage, an deren kürzerem Balken die zur Aufnahme der Last bestimmte Schale hängt, während am längeren Balken ein Gewichtstück, der sog. Läufer, wirkt und durch seine Entfernung vom Ruhepunkt der Wage das Gewicht der Last anzeigt. Übereinstimmend hiermit ist die, jedoch gleicharmige, Sattelwage, deren Sattel auf den verschiedenen Teilstrichen des Balkens Decigramme anzeigt, wenn er selbst 1 *g* schwer ist.

### Praktische Regeln beim Gebrauche der Rezepturwagen.

1. Man beachte vor dem Wägen, dass die Schalen richtig mit dem Bügel einhangen. Es trifft sich nicht selten, dass die Schnüre der Handwagen sich am Bügel verstricken, oder dass die Bügel der Tarierwagen ausgehakt u. dgl. sind.

2. Man halte die Handwagen mit der linken Hand so, dass die Zunge zwischen zwei Fingern spielt; bei der Tarierwage lege man den Zeigefinger der linken Hand sanft auf die schwebende Wageschale; alsdann fühlt man das Herannahen des Gleichgewichts und kann sich vor zu starkem Übergewicht hüten.

3. Bei genauen Wägungen arretiere man die Wage vor der Beurteilung. Handwagen senke man zu diesem Behufe mit ihren Schalen auf die Tischplatte.

4. Gefässe tariere man nie mit Gewichtstücken. Auch ist der Gebrauch der Reiter hierzu nicht zu empfehlen.

### Versuche.

1. Man teile die linke Balkenseite einer Wage von dem Zapfen bis zum Bügel genau in zehn gleiche Teile, dann nehme man ein Stück Messingdraht von genau 1 *g* Schwere, biege es an einem Ende um und hänge es an dem geteilten Balken auf. Hängt der Haken am ersten Teilstriche, so genügt die Belastung der rechten Wagschale mit 0,1 *g*, hängt er am fünften resp. siebenten Teilstrich, so genügt links die Belastung mit 0,5 resp. 0,7 *g*, um die Wage ins Gleichgewicht zu bringen. In dieser Weise kann man mit Häkchen von 1 *dg* Schwere *cg* wiegen.

### Fragen.

1. Wie prüft man eine Wage auf ihre Richtigkeit? — Antw. Man setze einen Gegenstand gegen Gewichtsstücke genau ins Gleichgewicht; vertauscht man alsdann beide mit einander, so muss die Wage im Gleichgewicht bleiben. Neigt sich dagegen eine Seite nieder, so ist dieser Arm etwas länger als der andere.

2. Wie prüft man eine Wage auf ihre Genauigkeit? — Antw. Man gebe der Wage ihre Maximalbelastung, stelle sie genau ein und sehe zu, welches kleinste Gewichtsstück sie zum bemerkbaren Ausschlag veranlasst.

3. Wie kann man auf einer Wage mit ungleichem Balken dennoch richtig wiegen? — Antw. Man tariere den Gegenstand genau mit Schrot u. dgl. und ersetze ihn dann durch Gewichtsstücke; diese geben das richtige Gewicht des Gegenstandes an.

4. Wenn auf einer Wage 100 *g* einerseits und 99 *g* andrerseits sich das Gleichgewicht halten, um wie viel ist jener Arm kürzer als dieser? — Antw. Um $^1/_{100}$ des längeren Armes.

---

## 5. Das spezifische Gewicht und seine Bestimmung.

**§ 15.** Worauf gründet sich die Bestimmung des spezifischen Gewichtes? Das spezifische Gewicht ist die Zahl, welche angiebt, um wie viel leichter oder schwerer ein Körper ist als die gleiche Masse eines andern zur Vergleichung dienenden Körpers. Als solchen nimmt man für die festen und flüssigen Stoffe das Wasser, für die Gase die atmosphärische Luft. Wenn also das spezifische Gewicht des Quecksilbers = 13,5 ist, so will das sagen, dass das Quecksilber 13,5 mal mehr wiegt als ein gleiches Volumen Wasser; ist das spezifische Gewicht des Weingeistes = 0,83, so bedeutet dies soviel, dass der Weingeist nur $^{83}/_{100}$ so viel wiegt als ein gleiches Volumen Wasser.

Die Bestimmung des spezifischen Gewichtes vergleicht also die Gewichte gleicher Volum-Mengen des fraglichen Körpers und des Wassers resp. der Luft. Für die Pharmazie hat die Bestimmung für Flüssigkeiten einen besonderen praktischen Wert.

Will man das spezifische Gewicht einer Flüssigkeit bestimmen, so muss man also zunächst feststellen, wie viel gleiche Volumquantitäten Wassers und der fraglichen Flüssigkeit wiegen, und alsdann das Gewicht des Wassers in das der Flüssigkeit dividieren. Die verschiedenen Bestimmungsmethoden unterscheiden sich durch die Art und Weise, das Gewicht gleicher Volumquanta Wassers und der Flüssigkeit zu finden. Einer jeden muss aber eine gewisse Temperatur zu Grunde liegen: 12° R = 15° C, weil die Wärme verändernd auf die Dichte einwirkt.

**§ 16.** Bestimmung des spezifischen Gewichtes der Flüssigkeiten.

1. Durch das Pyknometer. Die der Theorie nach einfachste und sicherste Bestimmung des spezifischen Gewichtes der Flüssigkeiten geschieht durch ein Glas, welches bei 15° C genau 10 resp. 100 *g*

Fig. 13.

destilliertes Wasser fasst und Pyknometer*) genannt wird. (Fig. 13.) Entweder fasst das Glas die betreffende Wassermenge bis zu einer Marke im Halse oder bei völliger Anfüllung. Füllt man das genau tarierte oder in seiner Tara bekannte Glas mit der zu prüfenden Flüssigkeit an und wägt dieselbe genau, so erhält man mittelst Division des gefundenen Gewichtes durch 10 resp. 100 das gewünschte spezifische Gewicht.

Beispiel. Fasst ein Pyknometer bei 15° C 10 *g* Wasser, dagegen 8,30 *g* Weingeist, so ist das spezifische Gewicht des letzteren = 0,830.

Sehr bequem sind Pyknometer mit eingesetztem Thermometer.

2. Bestimmung durch Mohrs hydrostatische Wage. An eine Tarierwage, deren rechte Wagebalkenhälfte genau in zehn gleiche Teile eingeteilt ist, hängt mittelst Platindraht ein kleines, mit Quecksilber oder Schrot beschwertes Senkgläschen. Wird es in Wasser untergetaucht, so kommt die Wage aus dem Gleichgewicht, indem die Seite, woran das Senkglas hängt, gehoben wird. Die Ursache beruht in dem von Archimedes (250 v. Chr. in Syrakus) gefundenen und nach ihm benannten Satze:

*Ein in eine Flüssigkeit untergetauchter Körper verliert so viel an seinem Gewichte, als die verdrängte Flüssigkeitsmenge schwer ist.*

Wenn wir also das Senkgläschen in Wasser untertauchen, so wird es um so viel leichter, als das verdrängte Wasser wiegt. Um die Wage wieder ins Gleichgewicht zu bringen, müssen wir die Seite, woran das Senkglas hängt, mit einem Stück Messingdraht beschweren, und dieses Stück besitzt dann genau das Gewicht des durch das Glas verdrängten Wassers.

Lassen wir das Senkgläschen in eine andere Flüssigkeit untertauchen, so haben wir abermals eine Belastung nötig, um das gestörte Gleichgewicht herzustellen. Ist die Flüssigkeit leichter als Wasser, so genügt eine geringere Belastung; ist sie schwerer, so wird eine grössere Belastung erforderlich.

Bei leichteren Flüssigkeiten stellen wir das Gleichgewicht wieder her, indem wir den Messinghaken auf einen der Teilstriche des Balkens aufhängen, und erhalten alsdann die erste Dezimalstelle; die zweite Stelle finden wir durch ein zehnmal leichteres, die dritte durch ein hundertfach leichteres Häkchen. Beim Weingeist, dessen spezifisches Gewicht = 0,830 ist, hängt also der erste Haken auf dem achten Teilstrich, die beiden leichteren Häkchen auf dem dritten Teilstrich.

Bei schwereren Flüssigkeiten verfährt man ebenso, nur dass ein zweiter, dem ersten gleich schwerer Haken am Bügel neben dem Senkglase aufgehängt werden muss. Beim Chloroform, dessen spezifisches Gewicht = 1,486 ist, wird also der eine Haupt-

*) Pyknometer = Dichtigkeitsmesser (πυκνός, dicht).

haken am Bügel, der andere am vierten Teilstrich, die leichteren Häkchen am achten und sechsten Teilstrich aufgehängt.

Während Dr. Mohr zu seiner Wage eine gewöhnliche Tarierwage benutzte, deren rechte Wageschale durch das Senkgläschen ersetzt wird, weicht die Westphalsche Wage, die im übrigen auf den nämlichen Prinzipien beruht, dadurch ab, dass der linke Wagebalken keine Schale trägt und gegen eine Spitze spielt, dadurch die Gleichgewichtslage anzeigend. Bei ihr fehlt darum auch die Zunge.

3. Bestimmung durch das Aräometer. Der Gebrauch des Aräometers oder der Senkwage gründet sich ebenfalls auf das Archimedische Gesetz. Ist ein Körper leichter als Wasser, so schwimmt er und taucht dabei so weit unter, dass die verdrängte Wassermenge genau so viel wiegt wie der ganze Körper.

*Ein schwimmender Körper verdrängt soviel Flüssigkeit, als er selber wiegt.*

Senkt man einen schwimmenden Körper in eine schwerere Flüssigkeit, so taucht er darin weniger tief ein wie in eine leichtere, weil er immer nur so viel Flüssigkeit verdrängt, als sein eigenes Gewicht beträgt. Hierauf beruht das Aräometer, eine gläserne, hohle Spindel, unten mit Quecksilber oder Schrot beschwert und in Flüssigkeiten schwimmend. Wie tief es in eine Flüssigkeit eintaucht, erkennt man an einer Skala, welche das spezifische Gewicht direkt anzeigt. Für den Weingeist gebraucht man häufig sog. Alkoholometer, d. h. Aräometer mit direkter Angabe des Weingeistgehaltes. Ist das Aräometer nicht mit einer Skala verbunden, sondern wird es durch Gewichte beschwert, dass es bis zu einer gewissen Marke eintaucht, so stellt es das sog. Nicholsonsche Aräometer (Fig. 14) dar. Man legt die Gewichtsstücke auf einen Teller (A), den das Instrument (B) oben trägt. Je spezifisch schwerer die Flüssigkeit, um so mehr Gewicht muss aufgelegt werden.

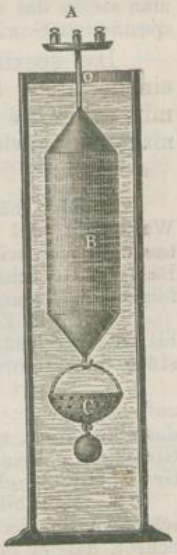

Fig. 14.

**§ 17.** Wie bestimmt man das spezifische Gewicht der festen Körper und Gase? Für feste Körper bedient man sich der hydrostatischen Wage, einer Tarierwage, an welcher der zu prüfende Körper aufgehängt wird. Zuerst wägt man ihn in der Luft genau ab, dann lässt man ihn in untergestelltes Wasser völlig untertauchen und gleicht den entstehenden Gewichtsverlust durch Auflegen von Gewichtsstücken aus. Dieser Gewichtsverlust ist das Gewicht des

vom Körper verdrängten Wassers (nach dem oben angegebenen Archimedischen Gesetz); dividiert man denselben in das absolute Gewicht des Körpers, so erhält man dessen spezifisches Gewicht.

Man hat also nur nötig, festzustellen, wie viel der Körper unter Wasser leichter wird, um das Gewicht der ihm gleich grossen Wassermenge zu finden. Letzteres, in das absolute Gewicht des Körpers dividiert, ergiebt dessen spezifisches Gewicht. Ein 50 *g* schweres Stück Blei verliert unter Wasser 4,5 *g*, also ist das spezifische Gewicht des Bleies $= {}^{5}/_{4,5} = 11$.

Man kann sich zur Bestimmung des spez. Gew. fester Körper auch mit Vorteil des Nicholsonschen Aräometers (Fig. 14) bedienen. Man legt den Körper zuerst oben auf den Teller und beschwert denselben dann noch so stark, dass das Instrument bis zur Marke untertaucht; nimmt man ihn dann weg und ersetzt ihn durch Gewicht, so zeigt letzteres das absolute Gewicht desselben an. Dann legt man den Körper unten in das Körbchen und sieht zu, wie viel Gewicht man nun auflegen muss; es wird weniger sein. Diese Differenz ist das Gewicht des verdrängten Wassers; dividiert man sie in das absolute Gewicht des Körpers, so resultiert daraus dessen spezifisches Gewicht.

Das spezifische Gewicht der Gase wird bestimmt, indem man einen luftleer tarierten Ballon zuerst mit Luft erfüllt wägt, dann mit dem Gas anfüllt und abermals wägt; schliesslich dividiert man das Gewicht der Luft in das des Gases.

### Versuche.

1. Man hänge ein Zwanziggrammstück mit einem Faden an eine Wagschale und lasse es in ein mit Wasser gefülltes Becherglas untertauchen; man wird bemerken, dass es alsdann nur noch 17,6 *g* wiegt. — Dass das Gewichtsstück genau 2,4 *g* Wasser verdrängt, erkennt man durch folgenden Versuch:

Einen in Zehntel-Kubikcentimer abgeteilten Glascylinder fülle man bis zu einer bestimmten Höhe mit Wasser. Lässt man das Zwanziggrammstück in letzteres hineinfallen, so steigt das Wasser genau um 2,4 *ccm*.

2. Tariert man ein mit Wasser teilweise gefülltes Becherglas genau auf einer Wage und taucht an einem Faden ein Zwanziggrammstück in dasselbe unter, so senkt sich der Wagebalken. Es tritt erst dann wieder Gleichgewicht ein, wenn auf der anderen Seite 2,4 *g* aufgelegt werden. Was das Gewichtsstück selbst an Schwere verliert, erhöht das Gewicht des Wassers.

3. Man fülle einen weiten Reagiercylinder mit Weingeist, tauche einen schmalen Reagiercylinder in denselben ein und beschwere ihn mit so viel Schrot, dass er gerade bis zum Halse untertauche. Wechselt man dann den Weingeist mit Wasser, so taucht der enge Cylinder nur zu ${}^{4}/_{5}$ seiner Länge darin unter. In einer Kochsalzlösung oder in Zuckerwasser taucht er noch weniger tief ein.

### Aufgaben.

1. Welches spezifische Gewicht besitzt eine Flüssigkeit, von welcher 100 *g* den Raum von 120 *g* Wasser einnehmen, also in einem graduierten Cylinder 120 *ccm* Raum füllen? — Antw. ${}^{100}/_{120} = 0{,}833$.

2. Welches spezifische Gewicht besitzt ein fester Körper, von welchem ein 20 *g* wiegendes Stück, in einen graduierten und mit Wasser gefüllten Cylinder gebracht, das Wasser um 8 *ccm* steigen macht? — Antw. ${}^{20}/_{8} = 2{,}5$.

3. Wenn das spezifische Gewicht des Goldes = 19, das des Silbers = 10 angenommen wird, wieviel verliert eine aus reinem Golde, wieviel eine halb aus Gold, halb aus Silber gefertigte Krone unter Wasser?*) — Antw. Eine Krone aus reinem Golde verliert $^1/_{19}$ ihres Gewichtes, eine solche halb aus Gold, halb aus Silber verliert $^1/_2$ ($^1/_{19} + {}^1/_{10}$) = $^{29}/_{380}$.

4. Mischt man 50 Volumteile Weingeist, dessen spezifisches Gewicht 0,79 ist, mit 50 Volumteilen Wasser, so verdichtet sich die Mischung zu 96 Volumteilen. Wie gross ist das spezifische Gewicht dieses 50 volumprozentigen Branntweins? — Antw. $\frac{50 + (50 \times 0{,}79)}{96} = 0{,}93$.

---

## 6. Vom Fall der Körper.

**§ 18.** Der freie Fall. Wird einem ruhenden Körper seine Unterstützung entzogen, so fällt er. Die dabei innegehaltene Richtung hat den Erdmittelpunkt zum Ziel. Im luftleeren Raum fallen alle Körper gleich schnell; in der Luft finden sie aber durch die stattfindende Reibung und Überwindung des Luftwiderstandes eine Verzögerung, die um so grösser ist, je voluminöser und leichter der fallende Körper.

1. *Die Fallbewegung ist eine gleichmässig beschleunigte.*

Ein fallender Körper fällt mit jedem Zeitabschnitt schneller, so dass seine Geschwindigkeit am Ende der zweiten Sekunde zweimal so gross, am Ende der dritten dreimal so gross ist, wie nach der ersten Fallsekunde.

Der Raum, den ein fallender Körper in der ersten Sekunde zurücklegt, d. i. der Fallraum der ersten Sekunde, beträgt 4,9 Meter ($15^5/_8$ rhein. Fuss); er wächst im weiteren Verlauf des Falles, sodass er in zwei Sekunden 4mal 4,9 *m*, in drei Sekunden 9mal 4,9 *m*, in vier Sekunden 16mal 4,9 *m* beträgt. Allgemein ausgedrückt lautet das zweite Fallgesetz:

2. *Die Fallräume wachsen mit den Quadratzahlen der Sekunden.*

Man findet daher den Fallraum für n Sekunden Fallzeit, wenn man den Fallraum der ersten Sekunde (4,9 *m*) mit dem Quadrate von n multipliziert. Daraus ergiebt sich die Fallzeit, wenn man den gesammten Fallraum durch den Fallraum der ersten Sekunde (4,9 *m*) dividiert und aus dem Quotienten die Quadratwurzel zieht.

Die Anfangsgeschwindigkeit der ersten Sekunde ist = 0, die Endgeschwindigkeit derselben = g, alsdann ist $\frac{1}{2}$g der Fallraum

---

*) König Hiero in Syrakus liess eine Krone aus Gold anfertigen und übergab sie Archimedes zur Untersuchung. Da sie unter Wasser $^1/_{14}$ ihres Gewichtes verlor, so wurde sie von Archimedes als eine Legierung aus 11 Teilen Gold und 9 Teilen Silber erkannt. (Erste Anwendung des „Archimedischen Prinzips“).

der ersten Sekunde (4,9 *m*), denn er ist das arithmetische Mittel zwischen der Anfangs- und der Endgeschwindigkeit. Da nun die Endgeschwindigkeit der zweiten Fallsekunde doppelt so gross ist als die der ersten Sekunde, so beträgt sie 2 g, daraus folgt der Fallraum der zweiten Sekunde = 1,5 g, d. i. das Mittel zwischen Anfangs- (g) und Endgeschwindigkeit (2 g). Da die Endgeschwindigkeit der dritten Fallsekunde 3 g, die Anfangsgeschwindigkeit 2 g ist, so ist der Fallraum derselben = 2,5 g. Wir finden den Fallraum der vierten Sekunde = 3,5 g, als Mittel aus der Anfangsgeschwindigkeit (3 g) und der Endgeschwindigkeit (4 g).

Addieren wir, um die gesamten Fallräume am Schlusse der Sekunden zu finden, so ist

der Fallraum der ersten Sekunde . . . . . $\frac{g}{2}$
der ersten zwei Sekunden $\frac{g}{2} + 3\frac{g}{2} =$ . . . . . $4\frac{g}{2}$
der ersten drei Sekunden $\frac{g}{2} + 3\frac{g}{2} + 5\frac{g}{2} =$ . . . $9\frac{g}{2}$
der ersten vier Sekunden $\frac{g}{2} + 3\frac{g}{2} + 5\frac{g}{2} + 7\frac{g}{2} =$ $16\frac{g}{2}$
nach n Sekunden . . . . . $n\frac{g}{2}$

Hieraus folgt das Gesetz:

*Die gesamten Fallräume wachsen mit den Quadratzahlen der Fallsekunden.*

Bezeichnet h den gesamten Fallraum in n Sekunden, so ist demnach:

$$\text{I. } h = \frac{g}{2} \cdot n^2;$$

und hieraus folgt:

$$\text{II. } n = \sqrt{\frac{h}{\frac{1}{2}g}}.$$

**§ 19.** Der Fall auf der schiefen Ebene. Rollt ein Körper auf einer gegen den Horizont geneigten Ebene herab, so erlangt er nicht dieselbe Geschwindigkeit wie beim freien Fall. Je kleiner der Neigungswinkel der Ebene, um so langsamer die Bewegung, aber um so grösser der Druck des rollenden Körpers auf die Ebene selbst. Bewegung und Druck stehen also im entgegengesetzten Verhältnis zu einander, und zwar, genauer ausgedrückt, verhält sich die Fallgeschwindigkeit zum Drucke wie die Höhe der schiefen Ebene zu ihrer Basis.

Die Fallgeschwindigkeit auf der schiefen Ebene ist gleich dem Produkte aus der Fallgeschwindigkeit beim freien Fall mit dem Sinus des Neigungswinkels; der Druck auf die schiefe Ebene ist gleich dem Produkt aus dem Gewicht des Körpers mit dem Cosinus des Neigungswinkels. Der Sinus verhält sich zum Cosinus wie die Höhe der schiefen Ebene zu ihrer Basis.

Das Gesetz der schiefen Ebene finden wir beim Keil und der Schraube. Der Keil stellt eine zweifache schiefe Ebene

dar, deren Höhe dem halben Rücken, und deren Länge einer Seitenfläche gleich ist. Treibt man einen Keil ein, so zwingt man den Gegenstand, die schiefe Ebene desselben emporzusteigen. Je schmaler der Keil, um so kleiner der Neigungswinkel, um so geringer die Kraft, die zu seiner Handhabung nötig ist.

Die Schraube lässt sich betrachten als eine um eine Walze gezogene schiefe Ebene, deren Länge der Umfang der Walze, deren Höhe die Entfernung zweier Schraubengänge ist. Je näher die letzteren bei einander stehen, um so geringere Kraftäusserung ist nötig, die Last die Schraubenlinie hinaufzuwinden. Daraus folgt, dass eine Schraube um so leichter sich anziehen lässt, je enger ihre Windungen und je grösser ihr Durchmesser ist, aber zugleich erfordert auch ihre Arbeitsleistung mehr Zeit.

**§ 20.** Das Pendel. Das Pendel ist ein um seinen Aufhängepunkt schwingender schwerer Punkt (mathematisches Pendel); in der Wirklichkeit existieren nur physische Pendel d. i. an einem Faden oder einer Stange aufgehängte Körper, deren Schwerpunkt den obengenannten Schwingungspunkt darstellt. Ein Pendel, dessen Schwingung genau eine Sekunde währt, heisst ein Sekundenpendel; es misst in Europa, am Meeresufer, nahezu ein Meter. Da die Schwingungsdauer von der Fallgeschwindigkeit abhängt, und diese eine Folge der Anziehungskraft der Erde ist, so wird ein Pendel um so langsamer schwingen, je entfernter es vom Erdmittelpunkt ist (auf hohen Bergen). Man benutzt daher ein Sekundenpendel zur Höhenbestimmung der Gebirge, wie man auch durch die Verschiedenheit seiner Schwingungsdauer wahrgenommen hat, dass der Erdkörper an den Polen abgeplattet ist.

Für das Pendel gelten folgende Gesetze*):

1. *Kleine Schwingungen eines Pendels besitzen gleiche Dauer.* Das in Bewegung gesetzte Pendel vollzieht seine ersten Schwingungen in derselben Zeit, wie die späteren, schwächer werdenden.

2. *Mit der Länge des Pendels nimmt die Schwingungsdauer zu.* Ein viermal längeres Pendel schwingt doppelt so langsam, ein neunmal längeres dreimal so langsam. Die Schwingungszeiten wachsen wie die Quadratwurzeln aus den Pendellängen. Man reguliert eine Pendeluhr, deren Gang zu sehr beschleunigt ist, durch Verlängerung des Pendels.

**Versuche.**

1. Alle Körper fallen gleich schnell. Man schneide eine Scheibe aus Papier, etwas kleiner als eine Münze, lege sie auf dieses Geldstück und lasse beide wagerecht auf den Tisch fallen; das Papier kommt mit der

*) Die Gesetze des freien Falles und des Pendels wurden von Galilei, Professor in Florenz, zu Ende des 16. Jahrhunderts entdeckt.

Münze zugleich auf der Tischplatte an, da der Luftwiderstand durch erstere überwunden ist.

2. Fallmaschine. Einen über eine Rolle laufenden Bindfaden belaste man beiderseitig mit Gewichtsstücken oder dgl., sodass das eine bei gelindem Anstoss heruntersinkt und das andere emporhebt. Lässt man nun das erstere an einem längeren Massstabe herablaufen, während man gleichzeitig zu zählen beginnt, so nimmt man wahr, dass, wenn der sinkende Körper zur Zurücklegung des ersten Decimeters 1 Sekunde gebraucht, er in der zweiten Sekunde 3 Decimeter, in der dritten Sekunde deren 5 zurücklegt.

**Aufgaben.**

1. Wie tief steht das Wasser eines Brunnens unter dessen Rande, wenn man einen herabgefallenen Stein erst nach 3 Sekunden ins Wasser fallen hört? — Antw. $4{,}9 \times 9 = 44{,}1$ *m*.

2. In wieviel Sekunden fällt ein Stein von einer 78 *m* hohen Felswand herab? — Antw. $\sqrt{\frac{78}{4{,}9}} = 4$ Sekunden.

3. Wie verhalten sich die Geschwindigkeiten, mit denen ein und derselbe Körper zwei verschieden geneigte, aber gleichhohe schiefe Ebenen herabrollt? — Antw. Umgekehrt wie die Längen derselben.

4. Wenn ein Sekundenpendel 1 *m* misst, wie lang muss ein Pendel sein, dessen Schwingung eine halbe Sekunde währen soll? — Antw. $^1/_4$ *m*.

---

## 7. Der Luftdruck und das Barometer.

**§ 21.** Wie äussert sich die Schwere der Luft? Wie jeder irdische Körper, so besitzt auch die atmosphärische Luft Gewicht. Mit Luft gefüllt wiegt ein Ballon schwerer als im luftleeren Zustande. Infolge dieser Schwere übt die Atmosphäre auf 1 Quadratcentimeter einen Druck von 1 *kg* aus. Dieser Druck kommt aber nur dort zu sichtbarer Erscheinung, wo er einseitig wirkt. Vermöge des einseitigen Luftdrucks sind wir imstande, mit dem Stechheber aus einem Gefässe Flüssigkeit herauszuziehen; wir tauchen ihn völlig darin unter und saugen ihn voll, verschliessen alsdann die obere Öffnung mit dem Finger und heben ihn heraus. Die von unten drückende Luft verhindert das Auslaufen; beim Wegnehmen des Fingers fliesst der Inhalt aus, weil der von unten wirkende Luftdruck durch den nun auch von oben wirkenden ausgeglichen wird. Aus demselben Grunde vermag sich ein Medizinglas, welches wir mit Wasser völlig anfüllen und verschlossen in umgekehrter Lage unter Wasser öffnen, nicht zu entleeren, da der auf das äussere Wasser wirkende Luftdruck den Druck der im Glase befindlichen Flüssigkeit überwindet. — Die Luft drückt vermöge ihrer Spannkraft (Tension) von allen Seiten auf einen Körper; sie findet daher, wenn sie allerseits Zugang zu demselben hat, in der eigenen Festigkeit des Körpers den nötigen

Widerstand, um ihn nicht zusammenzudrücken, und vermag ihn wegen ihres allseitigen Angriffes auch nicht von der Stelle zu rücken. Hat die Luft aber nur von einer Seite her Zugang zu einem Körper, so nimmt man ihren Druck wahr; ruht die Luft von oben auf dem Körper, so vereinigt sich ihr Druck mit der Wirkung der Schwerkraft; drückt sie aber von der Seite oder von unten her auf den Körper, so wirkt sie der Schwerkraft entgegen und hebt sie mehr oder weniger auf.

**§ 22.** Was ist das Barometer? Das Barometer*) ist ein Instrument, womit man den Luftdruck misst; eine zweischenklige Glasröhre, deren längerer Schenkel gegen 1 *m* lang und oben verschlossen, deren kurzer Schenkel dagegen offen ist. Früher benutzte man auch Gefässbarometer, bei welchen eine meterlange, oben geschlossene Glasröhre in ein mit Quecksilber gefülltes Gefäss eintauchte.

Wird das Barometer mit Quecksilber völlig angefüllt, so findet sich letzteres beim Umwenden der Röhre durch den Luftdruck am Ausfliessen gehindert. Das Quecksilber steht in dem Instrumente nur 760 Millimeter (28 Pariser Zoll) über dem Niveau des andern Schenkels; somit vermag die Luftsäule einer 760 *mm* hohen Quecksilbersäule das Gleichgewicht zu halten. Über dem Quecksilber befindet sich im Barometer ein völlig luftleerer Raum, die sog. Toricellische Leere.**)

*Der Luftdruck ist am Meeresufer gleich dem Gewichte einer 760 mm hohen Quecksilbersäule.*

Man benutzt das Barometer als Messer des Atmosphärendrucks. Da derselbe je nach dem Wasserdampfgehalt und der Erwärmung des Luftmeers schwankt, so ist auch der Stand des Quecksilbers nie konstant. Je kälter die Luft ist, je weniger Wasserdampf sie enthält, um so stärker ist der Druck auf das Quecksilber, um so höher der Stand des Barometers. Wir finden ihn in unseren Gegenden am höchsten, wenn der kältere und trocknere Nordostwind weht; er ist am niedrigsten beim wärmeren, feuchten Südwestwind. Daher dient das Barometer zur Wetterbeobachtung. Hat die Luft sich mit Wasserdampf gesättigt und das Barometer seinen tiefsten Stand erreicht, so ist baldiger Regen in Aussicht; nach stattgefundener Verdichtung des Wasserdampfes zu Regenwolken steigt aber das Quecksilber im Barometer.

Da mit der örtlichen Erhebung über den Meeresspiegel der Luftdruck abnimmt, so zeigt das Barometer in höher gelegenen

*) Schweremesser, von βαρύς (schwer) und μέτρον (Mass).

**) Toricelli in Bologna konstruierte 1644 das erste Barometer und erklärte die Erscheinungen des Luftdrucks, die man vordem auf einen „horror vacui“ (Abneigung vor der Leere) zurückgeführt hatte.

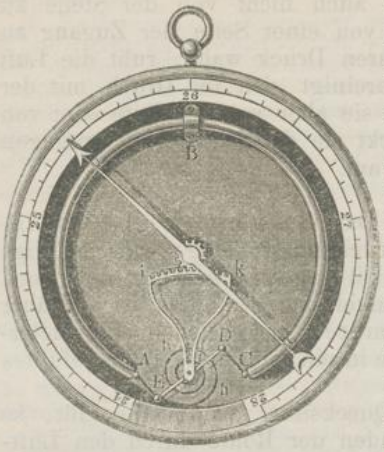

Fig. 15.

Gegenden sowie beim Emporsteigen im Luftballon ein um so stärkeres Fallen, in je höhere Luftschichten man sich begiebt. Das Barometer dient daher auch allgemein zu Höhenmessungen.

Das Aneroïdbarometer*) (Fig. 15) besitzt eine kreisförmig gebogene, luftleere Metallröhre (A B C), welche bei stärkerem Druck der äusseren Luft sich mehr krümmt, bei schwächerem Drucke sich mehr streckt. Diese Bewegung überträgt die Röhre durch einen Hebel (E D) und ein Zahnrad (i k) auf einen Zeiger, der an einer Skala den Atmosphärendruck anzeigt. Der Skala giebt man die Einteilung des gewöhnlichen Barometers. So lange die Metallröhre völlig luftleer bleibt, bewahrt das Aneroïdbarometer seine Empfindlichkeit. Es lässt sich durch seine handliche Form sehr bequem zu Höhenmessungen verwenden.

**§ 23.** Wie benutzt man den Luftdruck? Man benutzt den Luftdruck zu einer Reihe von Instrumenten, von denen folgende Erwähnung verdienen:

1. Der Saugheber, eine zweischenklige Röhre, deren kürzerer Schenkel in eine Flüssigkeit eingetaucht wird, während man an dem längeren saugt. Sowie sich der Heber völlig mit der Flüssigkeit angefüllt hat, lässt er sie so lange ununterbrochen aus dem längeren Schenkel ausfliessen, bis ihr Niveau an beiden Schenkeln gleich steht oder der kürzere Schenkel nicht mehr in sie eintaucht. Diese Wirkung des Instrumentes gründet sich darauf, dass die Flüssigkeitssäule des längeren Schenkels, als die schwerere, den Luftdruck überwindet und die Flüssigkeit des kürzeren Schenkels sich nachzieht.

2. Die Saug- und die Druckpumpe. Sie beruhen auf dem Emporheben einer Wassersäule mittelst des Luftdrucks. Da das Wasser 13,5 mal leichter ist als das Quecksilber, so vermag der Atmosphärendruck einer Wassersäule von 10 Meter (32 Fuss) das Gleichgewicht zu halten. Auf eine grössere Höhe kann daher eine einfache Pumpe das Wasser nicht heben.

Die Saugpumpe besteht aus einem (eisernen) Cylinder, dem sog. Stiefel, in welchem sich ein durchbohrter Kolben luftdicht auf- und abbewegt. Sowohl der Kolben, als auch die Basis des Stiefels, welche durch ein Leitungsrohr mit einem Wasser-

*) ἀναεροειδής = luftleer.

behälter in Verbindung steht, besitzen eine nach oben bewegliche Klappe. Beim Emporziehen des Kolbens steigt das Wasser aus dem Behälter in den Stiefel, die Klappe hebend, um den im Stiefel entstehenden luftleeren Raum auszufüllen, da die über dem Kolben befindliche Luft durch die Kolbenklappe, welche sich nur nach oben öffnen kann, abgesperrt ist. Beim Niederdrücken presst sich das im Stiefel vorhandene Wasser, da die an seinem Grunde befindliche Klappe mittlerweile sich wieder geschlossen hat, durch den Kolben und dessen Klappe hindurch, steigt über den Kolben und wird beim nächsten Hube bis zur Ausflussröhre gehoben.

Die Druckpumpe unterscheidet sich von der Saugpumpe dadurch, dass der Kolben nicht durchbohrt, der Stiefel aber an seinem unteren Teile mit einer seitlichen, durch eine Klappe abgeschlossenen Steigröhre versehen ist, in welche das Wasser beim Niederdrücken des Kolbens gehoben wird.

Auf der Erscheinung des Saugens beruht auch der Inhalationsapparat. Zwei fein ausgezogene Glasröhren stossen in einem rechten Winkel mit ihren Spitzen auf einander; während die senkrecht stehende Röhre in eine Flüssigkeit eintaucht, wird durch die wagerecht laufende Röhre aus einem Wasserkessel Wasserdampf oder aus einem Kautschukballon ein anhaltender Luftstrom geleitet. Durch letzteren wird der auf der senkrecht stehenden Röhre lastende Atmosphärendruck geschwächt, infolge dessen die Flüssigkeit durch dieselbe emporgesogen und durch den anhaltenden Dampfstrom in einen Sprühregen verwandelt wird.

Einen künstlich erzeugten Luftdruck benutzt man bei der Spritzflasche (Fig. 16). Sie ist eine Glasflasche mit doppelt durchbohrtem Stopfen, durch welchen zwei gebogene Glasröhren geführt sind. Die eine derselben endigt dicht unter dem Stopfen und dient dazu, Luft in die Flasche zu blasen; die andere reicht bis gegen den Boden der Flasche, in die darin befindliche Flüssigkeit. Bläst man nun in die erstere Röhre, so steigt die Flüssigkeit in der letzteren empor und fliesst daraus im Strahle aus. Man benutzt die Spritzflasche zum Abspülen von Krystallen, zum Sammeln und Auswaschen eines Niederschlages auf dem Filter u. a. m.

Fig. 16.

**Versuche.**

1. Man gebe in eine zweischenklige Glasröhre Wasser; es wird, sofern beide Schenkel offen sind, in beiden gleichhoch stehen. Verschliesst man

dann den einen Schenkel mit dem Finger und neigt denselben derartig, dass alles Wasser in ihn eintritt, so wird bei aufrechter Stellung das Wasser in dem Schenkel zurückgehalten, sofort aber wieder in den leeren Schenkel übertreten, wenn man den Finger wegzieht. Man kann denselben Versuch mit Quecksilber wiederholen; wendet man dann aber eine meterlange Röhre an, so sinkt das Metall in dem verschlossenen Schenkel bis zur Höhe von 760 *mm* und lässt über sich einen luftleeren Raum.

2. In ein 200 *g* fassendes Medizinglas gebe man 1 *g* Äther, schwenke ihn darin um, damit sein Dampf das Glas ganz erfülle, füge dann 10 bis 15 *g* Wasser hinzu und schüttele das Glas, mit dem Daumen fest verschlossen, um; öffnet man es alsdann in umgewendeter Lage unter Wasser, so stürzt dasselbe geradezu hinein und füllt es zum grossen Teile an. (Das Wasser hatte den Ätherdampf absorbiert und einen luftverdünnten Raum geschaffen, der darauf vom eindringenden Wasser eingenommen wird.)

**Fragen.**

1. Warum fühlen wir an unserem Körper den Luftdruck nicht? — Antw. Weil die in unserem Körper allenthalben vorhandene Luft dieselbe Spannung hat wie die äussere Luft und ihr das Gleichgewicht hält. — Auf sehr hohen Bergen, wo die äussere Luft verdünnter ist, drängt die im Körper befindliche Luft das Blut aus Mund, Nase und Haut.

2. Worauf beruht das Atmen und Saugen? — Antw. Beim Einatmen erweitern wir den Brustkorb und verdünnen dadurch die in der Brusthöhlung befindliche Luft, infolge dessen die äussere Luft durch Mund und Nase hereindringt; beim Ausatmen pressen wir einen Teil der eingeschlossenen Luft aus der Brusthöhlung, indem wir das Zwerchfell und die Rippen emporziehen. — Beim Saugen verdünnen wir die Luft im Munde, wodurch der äussere Luftdruck zur Geltung gelangt.

3. Wenn bei gewöhnlichem Druck (einem Atmosphärendruck) 1 *l* Luft 1,2 *g* wiegt, wie viel wiegt dasselbe Quantum unter fünffachem Atmosphärendruck? — Antw. Da unter fünffachem Druck die Dichte fünfmal grösser ist, so wiegt 1 *l* Luft unter solchem Druck $5 \times 1{,}2 = 6$ *g*.

4. Worauf hat man bei genauen Barometermessungen stets Rücksicht zu nehmen? — Antw. Dass sich mit der Veränderung des Quecksilberstandes auch das untere Niveau ändert, von dem ab die Höhe der Quecksilbersäule gemessen wird.

---

## 8. Die Luftpumpe.

**§ 24.** Welches sind die Teile der Luftpumpe? Die Luftpumpe, im 17. Jahrhundert von Otto v. Guerike, Bürgermeister von Magdeburg, zuerst konstruiert, beruht auf dem Prinzipe, in einem geschlossenen Raume die Luft nach Art des Saugens nach und nach zu verdünnen. Es gelingt aber damit nicht, einen Raum vollständig luftleer zu machen. Ihre wesentlichen Teile sind folgende: 1. der Stiefel, ein metallener Cylinder, in welchem ein durchbohrter Kolben sich luftdicht auf- und abbewegt, der mit einer nach oben sich öffnenden Klappe geschlossen ist; 2. die Verbindungsröhre, welche den Stiefel verbindet mit

3. dem Teller, auf welchem 4. der Rezipient, eine Glasglocke, steht, dessen Luft ausgepumpt werden soll.

Je nachdem die Verbindungsröhre mit dem Stiefel durch ein sich nach oben öffnendes Ventil oder durch einen drehbaren Hahn verbunden ist, bezeichnet man die Luftpumpe als eine Ventil- oder als eine Hahnenluftpumpe.

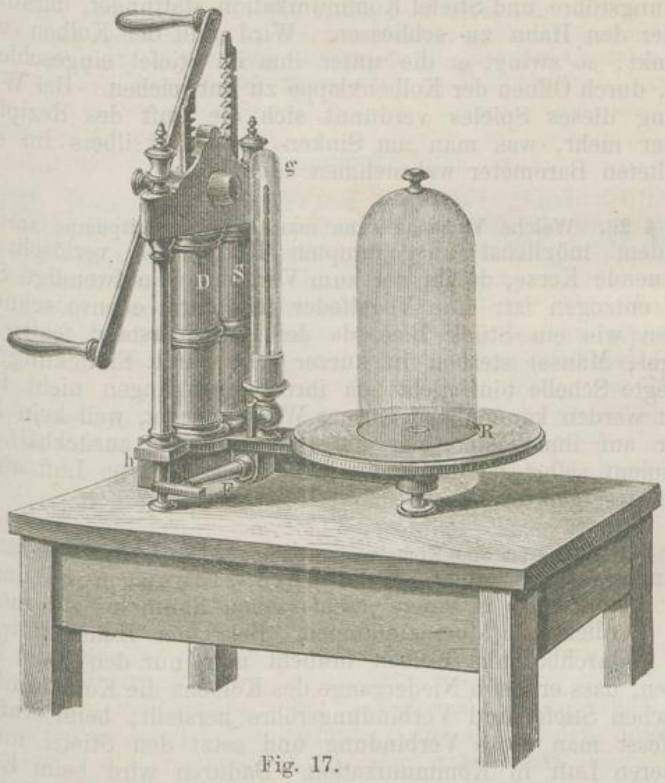


Fig. 17.

Fig. 17 stellt eine doppelstiefelige Ventilpumpe vor. D und S sind ihre beiden Stiefel, deren Kolben beim Hin- und Herdrehen der Handhaben abwechselnd auf- und niederbewegt werden; F ist ein Hahn, welcher die Verbindungsröhre öffnet und schliesst, sie auch mit der äusseren Luft in Kommunikation setzen kann; R der Rezipient und g ein eingeschaltetes Barometer, zur Beobachtung des Verdünnungsgrades der Luft.

§ 25. Wie wird die Luftpumpe gehandhabt? Nachdem der Rezipient mittelst Talg fest auf den Teller aufgesetzt ist, hebt und senkt man

abwechselnd den Kolben. Beim Emporziehen desselben entsteht unter ihm im Stiefel ein luftleerer Raum, so dass die im Rezipienten befindliche Luft die Klappe der Verbindungsröhre hebt; nachdem sie eingetreten, senkt sich diese Klappe wieder durch ihr eigenes Gewicht. Bei der Hahnenluftpumpe hat man nach jedem Kolbenhube den Hahn so zu stellen, dass zwischen Verbindungsröhre und Stiefel Kommunikation stattfindet, darauf aber wieder den Hahn zu schliessen. Wird nun der Kolben wieder gesenkt, so zwingt er die unter ihm im Stiefel eingeschlossene Luft, durch Öffnen der Kolbenklappe zu entweichen. Bei Wiederholung dieses Spieles verdünnt sich die Luft des Rezipienten immer mehr, was man am Sinken des Quecksilbers im eingeschalteten Barometer wahrnehmen kann.

**§ 26.** Welche Versuche kann man mit der Luftpumpe anstellen? In dem möglichst ausgepumpten Rezipienten verlöscht eine brennende Kerze, da ihr der zum Verbrennen notwendige Sauerstoff entzogen ist; eine Vogelfeder fällt darin ebenso schnell zu Boden wie ein Stück Blei, da der Luftwiderstand fehlt; Tiere (Vögel, Mäuse) sterben in kurzer Zeit durch Erstickung; eine bewegte Schelle tönt nicht, da ihre Schwingungen nicht fortgeleitet werden können; lauwarmes Wasser siedet, weil kein Druck mehr auf ihm lastet, der die Dampfbildung zurückhält. Der Rezipient selbst ist durch den Druck der äusseren Luft auf den Teller fest gepresst.

**§ 27.** Was ist eine Kompressionspumpe? Die Luftpumpe in etwas veränderter Form dient als Kompressionspumpe, um Luft oder andere Gase in einen geschlossenen Raum bis zur möglichsten Verdichtung hineinzupumpen. Bei einer Hahnenluftpumpe mit undurchbohrtem Kolben braucht man nur den Hahn so zu stellen, dass er beim Niedergange des Kolbens die Kommunikation zwischen Stiefel und Verbindungsröhre herstellt; beim Aufgange schliesst man diese Verbindung und setzt den Stiefel mit der äusseren Luft in Kommunikation. Dadurch wird beim Emporziehen des Kolbens von aussen Luft aufgesogen und diese beim Niedergange desselben in den Rezipienten gedrückt. — Eine Ventilkompressionspumpe unterscheidet sich von der Ventilluftpumpe durch entgegengesetzte Richtung der Klappen, sodass beim Emporziehen des Kolbens die äussere Luft in denselben eintritt, beim Niedergange in den Rezipienten gedrückt wird.

**Fragen.**

1. Warum vermag man nicht den Rezipienten der Luftpumpe völlig luftleer zu machen? — Antw. Weil in der Durchbohrung des Kolbens beim tiefsten Stande desselben immerhin noch etwas Luft von der Dichte

der Atmosphäre zurückbleibt, sodass sich diese beim Emporziehen des Kolbens im Stiefel verbreitet. Über diesen Grad der Verdünnung lässt sich auch für den Rezipienten nicht hinausgehen. In einem gut ausgepumpten Rezipienten bleibt etwa fünfhundertfach verdünnte Luft zurück.

2. Wieweit kann eine Ventilluftpumpe die Luft im Rezipienten verdünnen? — Antw. Bis zu dem Grade, dass die Spannung der Luft nicht mehr hinreicht, die Ventile zu heben. Daher leistet eine Hahnenluftpumpe mehr.

3. Mit welcher Kraft werden Halbkugeln, deren Durchmesser 1 *dcm* beträgt, zusammengehalten, nachdem sie luftleer gemacht wurden?*) — — Antw. Die Oberfläche beider Halbkugeln ist (nach der Formel $4 \pi r^2$) = 31,25 *qcm*; daher der Luftdruck auf beide = 31,25 *kg*.

## 9. Die Dampfmaschine.

**§ 28.** Worauf gründet sich die Dampfmaschine? Durch den Druck erhöht sich die Spannkraft der Dämpfe nicht, da sie unter Druck sich zum Teil verdichten, wobei der restierende Dampf die Spannung wie zuvor behält; aber durch Erhitzung vermehrt sich ihre Tension und zwar in zunehmender Progression. Der Wasserdampf, welcher bei 100° C die Spannung eines Atmosphärendrucks besitzt, erlangt schon bei 121° die doppelte (von zwei Atmosphären), bei 135° bereits die dreifache (von drei Atmosphären), bei 145° C die vierfache Spannung (von vier Atmosphären).

Eine grossartige Anwendung dieser Dampfspannung macht man bei der Dampfmaschine. Man entwickelt Wasserdampf, dem man durch Erhitzung in einem geschlossenen Kessel eine höhere Temperatur und dadurch eine erhöhte Tension giebt, und leitet diesen erhitzten Wasserdampf bald über, bald unter einen sich auf- und niederbewegenden Kolben, dessen Bewegung man in geeigneter Weise auf ein Rad überträgt.

**§ 29.** Welches sind die wesentlichen Teile einer Dampfmaschine?

1. Der Dampfkessel, in welchem das Wasser zum Sieden erhitzt wird. Da derselbe völlig geschlossen ist, so erhöht sich der Druck des entwickelten Dampfes, und das Sieden findet in einer 100° C übersteigenden Temperatur statt. Zur Sicherheit ist der Kessel mit einem Sicherheitsventil versehen, einer Öffnung, welche durch einen einarmigen, am Ende stark beschwerten Hebel geschlossen gehalten wird. Die Beschwerung ist derartig bemessen, dass sie gehoben wird, wenn der eingeschlossene Dampf eine dem Kessel bedrohliche Spannung annehmen würde.

*) Otto v. Guerike machte auf dem Regensburger Reichstag 1654 zwei kupferne Halbkugeln von 20 Zoll Durchmessr (bekannt als Magdeburger Halbkugeln) luftleer, welche alsdann von 8 Paar Pferden nicht auseinander gerissen werden konnten, da die Luft sie mit einer Kraft von 50 Centnern zusammenhielt.

Bei den Lokomobilen und Lokomotiven befindet sich die Feuerung nicht unterhalb des Kessels, sondern vor demselben; es führt eine Anzahl wagerechter Röhren durch den Kessel hindurch, welche die von der Feuerung erhitzte Luft empfangen und das sie umspülende Wasser zum Sieden bringen.

2. Der Cylinder mit dem Kolben, welcher sich in jenem luftdicht auf- und niederbewegt. Bevor der Dampf in den Cylinder eintritt, passiert er das Schieberventil, um abwechselnd über und unter den Kolben zu gelangen und diesen dadurch bald herauf-, bald herabzudrücken. Der Schieber dieses Ventils wird von der Maschine selber geführt, in der Weise, dass er den oberen Zugang zum Cylinder gerade beim höchsten Stande des Kolbens öffnet, ihn aber wieder verschliesst, wenn der Kolben unten anlangt, und zugleich den unteren Zugang öffnet, um nun den Dampf unter den Kolben treten zu lassen.

3. Die Übertragung der geradlinigen Bewegung des Kolbens auf die Kurbel, welche ein Rad umdreht, ist verschieden. Bei den stehenden Dampfmaschinen geschieht sie durch einen zweiarmigen Hebel, den sog. Balancier. Bei den Lokomotiven ist die Kolbenstange direkt mit der Kurbel verbunden.

**§ 30.** Wie unterscheidet man die Dampfmaschinen? Man konstruierte die älteren, sog. atmosphärischen Dampfmaschinen*) in der Weise, dass man den Dampf unter den Kolben treten liess und nach dessen Hebung kaltes Wasser einspritzte, wodurch eine Verdichtung des Dampfes und ein verdünnter Raum im Cylinder entstand, infolge dessen der Atmosphärendruck den Kolben hinabschob. Später verbesserte man sie durch abwechselnde Dampfleitung, bald über, bald unter den Kolben. Je nachdem der verbrauchte Dampf in einen besonderen Behälter, den Kondensator, abgeleitet und daselbst verdichtet oder in die Atmosphäre abgelassen wird, unterscheidet man Niederdruck- und Hochdruckmaschinen. Erstere besitzen einen Kondensator, einen kalten Raum, worin der verbrauchte Dampf zu Wasser abgekühlt wird; sie bedürfen keiner so hohen Spannung des Dampfes, da durch die Kondensation dessen Widerstand mehr aufgehoben wird, als bei den Hochdruckmaschinen, wo die atmosphärische Luft, in die man den verbrauchten Dampf leitet, der Kolbenbewegung entgegenwirkt. Da letztere Maschinen weniger Raum beanspruchen, werden sie bei den Lokomotiven benutzt.

**§ 31.** Wie misst man die Spannung des Dampfes? Man misst die

*) Savari baute 1688 die erste Dampfmaschine, später konstruierte Newkomen die atmosphärische Maschine, James Watt verbesserte sie 1765 zur Niederdruckmaschine und übertrug die Kolbenbewegung auf eine Kurbel.

Dampfspannung mittelst des Manometers, welches verschieden konstruiert sein kann. Die Metallmanometer besitzen eine gebogene und luftleere Röhre, welche bei geringerem Dampfdruck sich streckt, bei stärkerem Drucke sich mehr krümmt. Ein Zeiger, der mit den beiden Enden der Röhre in Kommunikation steht, zeigt den Druck an. Auch benutzt man als Metallmanometer elastische Metallplatten, die durch den Dampfdruck emporgehoben werden und durch einen Hebel mit einem Zeiger in Verbindung stehen. — Die Quecksilbermanometer sind doppelt gebogene, einerseits geschlossene, und mit Quecksilber versehene Glasröhren, die mit ihrem offenen Ende mit dem Dampfkessel in Verbindung stehen; ohne Druck steht das Quecksilber in beiden Schenkeln gleichhoch, es steigt aber in dem geschlossenen Schenkel um so höher, je stärker der Dampfdruck auf es einwirkt.

Man berechnet den Dampfdruck nach dem Drucke der Atmosphäre und redet von einem zweifachen u. s. w. Atmosphärendrucke. Die Leistung der Dampfmaschine drückt man gewöhnlich in Pferdekräften aus; eine Pferdekraft gilt gleich 500 Fusspfund = 75 Kilogrammmeter (*kgm*) d. i. der Kraft, welche 500 Pfund 1 Fuss resp. 75 *kg* 1 *m* hoch in der Sekunde hebt.

Man erteilt den stossweisen Bewegungen der Dampfmaschine Gleichmässigkeit teils durch ein Schwungrad, teils durch Vereinigung zweier Cylinder, in denen die Kolben einen verschiedenen Stand haben.

Zur Regulierung des Dampfes bringt man im Zuleitungsrohr eine Klappe an, durch deren teilweises Schliessen weniger Dampf in den Cylinder eintritt. Man lässt die Maschine selbst diese Klappe handhaben, und zwar mittelst eines Regulators aus 2 Kugeln, welche vermöge der Centrifugalkraft um so weiter auseinanderweichen, je schneller die Umdrehung stattfindet, und in diesem Masse die Klappe schliessen.

**Fragen.**

1. Wonach berechnet man die Leistung einer Dampfmaschine? — Antw. Nach dem Durchmesser und der Höhe des Cylinders, wodurch die Grösse der dem Dampfe ausgesetzten Kolbenfläche, sowie der Hub bedingt ist.

2. Wie gross ist der Dampfdruck auf den Kolben, wenn die Spannung 4 Atmosphären und der Durchmesser des Kolbens 1 *m* beträgt? — Antw. Die Kolbenfläche beträgt 7853,15 *qcm*, der Druck des Dampfes auf 1 *qcm* = 4 *kg*, also der Gesamtdruck auf den Kolben = 31415 *kg*.

---

## C. Erscheinungen der Wärme.

### 10. Von der Wärme.

**§ 32.** Wie entsteht die Wärme? Die Quellen der Wärme sind:

1. Das Sonnenlicht. Das Licht besitzt Wärmestrahlen, welche um so mehr von den Körpern verschluckt werden, je senkrechter sie auffallen, und je dunkler und unebener die Oberfläche der Körper ist. Auf dem Neigungswinkel beruht eine der Hauptursachen der Wärmedifferenz der Jahreszeiten, nächst der Dauer der Bescheinung. Wie sehr die Farbe Einfluss auf die Wärmeabsorption besitzt, erkennen wir bald daran, dass unter einem schwarzen Tuche sich im Sonnenlichte die Körper schneller und stärker erhitzen als unter einem weissen.

2. Mechanische Kraftäusserungen. Überall, wo eine Kraft verbraucht wird, zumal bei der Reibung, beim Zusammenpressen oder wenn eine Bewegung gestört wird, wie beim Anprall eines fortbewegten Körpers, entsteht ein entsprechendes Quantum Wärme. Bekanntlich erzeugen wilde Völkerschaften ihr Feuer durch Zusammenreiben von Hölzern. Wasser kann man zum Sieden erhitzen, wenn darin eine Kurbel längere Zeit rasch umgedreht wird. Auf der Erhitzung zusammengepresster Luft beruht das pneumatische Feuerzeug.

*Wärme ist gehinderte Bewegung.*

Genaue Untersuchungen haben das Verhältnis des Kräfteverbrauchs zur Wärmebildung — das sogenannte Wärmeäquivalent — festgestellt. Als Wärmeäquivalent gilt 425 *kgm*, d. h. die Kraft, welche 425 *kg* 1 *m* hoch hebt, vermag sich in diejenige Wärmemenge überzusetzen, welche 1 *kg* Wasser um 1° C höher erhitzt. Eine solche Wärmemenge nennt man eine Kalorie.

3. Chemische Vereinigung. Verbinden sich zwei Körper chemisch miteinander, so tritt Erwärmung ein, welche sich bei der Verbrennung zur Lichtentwicklung steigert.

*Feuer ist eine bis zur Lichtentwickelung gesteigerte Erhitzung.*

Wärmeentwicklung durch chemische Vereinigung erzeugt sich auch beim Kalklöschen, wobei der Kalk sich mit Wasser zu Kalkhydrat verbindet.

4. Elektrizität. Sowohl bei der Vereinigung der beiden entgegengesetzten Elektrizitäten (beim Blitz, elektrischen Funken), als bei der Störung der elektrischen Leitung wird Wärme frei. Je schlechter ein Metall den elektrischen Strom leitet, um so stärker erhitzt es sich; die verschwundene Elektrizität geht in Wärme über.

**§ 33.** Welches sind die Wirkungen der Wärme? Die Wärme äussert sich in zweifacher Weise: a) durch räumliche Ausdehnung, b) durch Veränderung des Aggregatzustandes.

a) Je mehr ein Körper sich erhitzt, um so mehr dehnt sich sein Volumen aus; bei Wärmeabnahme verringert es sich wieder. Diese Ausdehnung ist nicht bei allen Körpern gleich; sie findet sich am schwächsten bei den festen, am stärksten bei den gasförmigen. Die Vergrösserung, die ein Körper bei Zunahme seiner Temperatur um 1° erleidet, nennt man seinen Ausdehnungskoëffizient. (So ist der lineare Ausdehnungskoëffizient des Eisens = 0,0000123, d. i. eine eiserne Stange verlängert sich um $^1/_{123000}$ beim Erwärmen um 1°. Der kubische Ausdehnungskoëffizient des Olivenöls ist = 0,0008, der Luft = 0,0036). Die Ausdehnung des Wassers wird von der der weingeistigen und ätherischen Flüssigkeiten bedeutend übertroffen. Es zeichnen sich der Äther, Schwefelkohlenstoff, namentlich aber das Petroleum, Benzin und der Petroleumäther durch grosse Volumvermehrung beim Erwärmen aus. Daraus geht die für den Apotheker sehr wichtige Regel hervor, die Standgefässe mit solchen Flüssigkeiten nur zu $^4/_5$ anzufüllen, andernfalls bei einem Temperaturwechsel die Gefahr des Zerspringens naheliegt.

Mit der Zunahme der Temperatur hält die Abnahme des spezifischen Gewichtes gleichen Schritt; der Körper behält bei erhöhter Wärme sein Gewicht, nimmt aber an Volumen zu, wird also relativ leichter.

*Je mehr ein Körper sich erwärmt, um so spezifisch leichter wird er.*

Die Abnahme des spezifischen Gewichtes beim Erwärmen sehen wir deutlich am Aufsteigen der unteren Schichten von Flüssigkeiten, welche wir über eine Flamme halten, am Emporsteigen des Rauches in den Kaminen u. s. f. Eine Kerzenflamme, in die schwach geöffnete Thür einer geheizten Stube gehalten, neigt sich dicht über dem Fussboden nach der Stube hin, weiter oben aber nach aussen, indem die kalte Luft unten herein-, die warme oben hinausgeht.

Eine Ausnahme von dieser allgemeinen Regel bildet eigentümlicherweise das Wasser, dessen grösste Dichte bei nahe 4° Wärme liegt. Sowohl unter, wie über dieser Temperatur nimmt das spezifische Gewicht des Wassers ab. Folge davon ist, dass es beim Gefrieren völlig damit angefüllte Gefässe sprengt; dass ferner, wenn Wasser erkaltet, der stetige Wechsel in der Lagerung der sich abkühlenden Schichten eine Grenze findet, sobald die unterste Schicht 4° Wärme erlangt hat. Wir finden daher diese Temperatur auf dem Grunde tiefer Gewässer, welcher Umstand

dieselben vor dem vollständigen Gefrieren sichert. Eis schwimmt stets auf kaltem Wasser.

b) Bekanntlich werden die festen Körper bei zunehmender Wärme flüssig, d. h. sie schmelzen. Der Schmelzpunkt ist für jeden Körper ein bestimmter, sich stets gleichbleibender. Bei weiterem Erhitzen geraten die Flüssigkeiten ins Sieden, d. i. sie werden gasförmig. Da beim Sieden der Luftdruck überwunden werden muss, so folgt daraus, dass bei vermindertem Luftdruck (auf hohen Gebirgen, unter dem Rezipienten der Luftpumpe) das Sieden früher eintritt.*)

*Eine Flüssigkeit siedet in der Temperatur, in welcher ihr Dampf den Druck der über ihr lastenden Luft überwindet.*

Daher tritt das Sieden viel später in einem festverschlossenen Kessel ein, z. B. im Dampfkessel der Dampfmaschine, oder im sog. Papinschen Topf, worin man Knochen gar kochen kann.

Der Übergang in Gasform findet übrigens in Gestalt der Verdunstung bei jeglicher Temperatur, sogar in der Kälte statt. Eis und Schnee verdunsten wie das flüssige Wasser. Das Mass dieser Erscheinung hängt von der Grösse der Oberfläche, sowie von dem Grade der Sättigung der darüber liegenden Luftschicht ab. Je mehr wir die Oberfläche einer Flüssigkeit vergrössern und je weniger gesättigt die über ihr lagernde Luftschicht ist, eine um so stärkere Verdunstung findet statt.

**§ 34.** Was nennt man latente Wärme? Soll ein fester Körper schmelzen, ein flüssiger Körper sieden oder verdampfen, so ist dazu Wärme notwendig. Diese Wärme verschwindet für das Gefühl, wie für das Thermometer, man nennt sie daher latente oder gebundene Wärme.

*1. Beim Übergange in einen weniger dichten Aggregatzustand wird Wärme gebunden (latent).*

Eis beansprucht zum Schmelzen soviel Wärme, wie hinreichen würde, eine gleiche Wassermenge von 0° auf 80° zu erhitzen.

Zum Sieden erfordert das Wasser eine siebenmal grössere Wärmemenge als zum Schmelzen.

Diejenige Wärme, welche beim Verdunsten gebunden wird, entzieht sich der Umgebung und kühlt sie ab. Man nennt diese durch Verdunstung eintretende Temperaturerniedrigung Verdunstungskälte und nimmt sie wahr beim Besprengen der Strassen, nach einem Regen, beim Heraussteigen aus dem Bade u. a. m. Sehr flüchtige Körper, z. B. Äther, rufen ein so starkes Erkalten hervor, dass die Gefässe sich wie mit Thau beschlagen.

Wenn man lösliche Substanzen, z. B. Kochsalz, Salpeter,

*) Auf dem St. Bernhardhospiz, bei einem Barometerstande von 504 *mm* (20 par. Zoll) siedet das Wasser schon bei 92°.

Salmiak, in Wasser auflöst, so tritt ebenfalls Abkühlung ein; dieselbe wird noch grösser, wenn man statt des Wassers Schnee oder Eis anwendet, da diese alsdann beim Schmelzen ebenfalls Wärme binden. Solche Kältemischungen sind z. B. 1 Teil Kochsalz und 3 Teile Schnee, welche von $0^0$ bis $-17^0$ erkalten; 5 Teile Salmiak, ebensoviel Salpeter und 19 Teile Wasser, welche sich um 22 Grade abkühlen. Auch Glaubersalz mit Salzsäure ruft eine grosse Kälte hervor. Man gewinnt mittelst solcher Mischungen zur Sommerzeit künstliches Eis.

*2. Beim Übergang in einen dichteren Aggregatzustand wird Wärme frei.*

Wenn der Dampf sich wieder verdichtet, so tritt dieselbe Wärmemenge, welche zur Dampfbildung verwendet wurde, wieder frei auf. Daher die Erhitzung des Kühlwassers bei der Destillation. Das nämliche findet beim Gefrieren und Krystallisieren statt; da aber zum Schmelzen nicht soviel Wärme verbraucht wurde als zum Sieden, so ist auch die beim Erstarren frei auftretende Wärme geringer als bei der Verflüssigung des Dampfes.

**§ 35.** Was nennt man spezifische Wärme? Zur Erwärmung um 1 Grad bedürfen die verschiedenen Stoffe verschiedener Wärmemengen. Man nennt dies ihre Wärmekapazität oder spezifische Wärme und nimmt die des Wassers zur Einheit, welche = 1 gesetzt wird. Hiernach wurde gefunden: die spezifische Wärme des Quecksilbers = 0,03, des Eises = 0,50, des Wasserdampfes = 0,47, der Luft = 0,24 u. s. f. Es will dies also besagen: Wenn man gleiche Gewichtsmengen Wasser und Quecksilber um $1^0$ höher erwärmt, so bedarf man dazu beim Quecksilber nur $^3/_{100}$ = 0,03 so viel Wärme als beim Wasser; oder was dasselbe ist, man kann mit derselben Wärmemenge 100 *g* Quecksilber ebenso hoch erhitzen als 3 *g* Wasser. Das Wasser besitzt die grösste Wärmekapazität.

Die Bestimmung der spezifischen Wärme geschieht mit Hilfe des Kalorimeters, entweder in der Weise, dass man eine bestimmte Menge des auf eine bestimmte Temperatur erwärmten Körpers mit einer gewissen Menge Wasser mischt und dessen Wärmezunahme beobachtet; oder dass man die Menge Wasser bestimmt, welche eine gewisse Quantität Eis liefert, nachdem es mit dem erwärmten Körper zusammengebracht worden.

Je grösser die spezifische Wärme eines Körpers, um so langsamer erkaltet er und giebt ein um so grösseres Quantum Wärme beim Verkühlen ab. Daher erhitzt sich bei der Destillation von Wasser das Kühlfass viel stärker als bei derjenigen von Weingeist oder Äther.

**§ 36.** Wie pflanzt sich die Wärme fort? Die Fortpflanzung der Wärme geschieht auf zweifache Weise:

1. Durch Leitung von einem wärmeren Körper zu kälteren, die er berührt. Es tritt ein Austausch zwischen beiden ein, bis in ihnen ein gleicher Wärmegrad herrscht.

Die Leitung ist verschieden nach den einzelnen Stoffen. Es giebt gute und schlechte Wärmeleiter; zu den ersten gehören vornehmlich die Metalle, zu den letzteren Glas, Holz, Seide, Stroh, Papier, Federn, Wasser, Luft u. a. m. Bringen wir einen guten Wärmeleiter, z. B. einen eisernen Draht, an einem Ende in eine Flamme, so vermögen wir ihn nicht lange in der Hand zu halten, da er sich auch auf grössere Entfernung hin erhitzt; umwickeln wir ihn aber mit Papier, Stroh u. dgl., oder geben wir ihm einen hölzernen Griff, so empfinden wir keine Erwärmung. Eine andere Nutzanwendung der schlechten Wärmeleiter besteht in dem Schutze der Eiskeller durch Stroh, sowie in der Bekleidung unseres Körpers, wozu wir Wolle, Baumwolle, Seide gebrauchen und dadurch den Haar- und Wollpelz der Tiere ersetzen. Das spröde Glas macht durch seine schlechte Wärmeleitung beim Erhitzen besondere Vorsicht nötig. Giessen wir siedendes Wasser in eine leere, kalte Glasflasche, so zerspringt sie, wärmen wir sie aber zuvor durch lauwarmes Wasser an, so beugen wir der Gefahr des Zerspringens vor; auch darf man die Flasche, in welche man heisse Flüssigkeiten giessen will, nicht auf eine Unterlage von Stein u. dgl., sondern auf einen schlechten Wärmeleiter (Holz) stellen. Beim Erhitzen gläserner Gefässe über direkter Flamme ist aus demselben Grunde grosse Vorsicht geboten. Je dünner die Glaswandung, um so geringer die Gefahr; Ungleichheiten in der Dicke sind gewöhnliche Ursachen des Zerspringens beim Erwärmen. Um die Erhitzung durch direktes Feuer gleichmässiger zu verteilen, stellt man das Glasgefäss auf ein Drahtnetz oder in heissen Sand (Sandbad). Glas- und Porzellangefässe zerspringen aber nicht allein, wenn ohne Vorwärmung heisse Flüssigkeiten eingegossen werden, sondern auch, wenn sie erhitzt plötzlich mit einer kalten Flüssigkeit gefüllt werden. — Poröse Körper, wie Asche, sind vermöge der vielen Luft, die sie einschliessen, sehr schlechte Wärmeleiter. Der schlechteste Wärmeleiter ist eine ruhige Luftschicht (Nutzanwendung bei den Doppelfenstern).

2. Durch Strahlung. Dieser Weg ist ein unmittelbarer Übergang der Wärme auf entfernte Körper; ein in den Weg gestelltes Hindernis hält die Wärmestrahlen ab. Nähern wir uns einem geheizten Ofen, so fühlen wir dessen Strahlung nicht mehr, wenn wir einen Schirm dazwischenschieben.

Die Wärmestrahlen pflanzen sich geradlinig fort. Glatte

Flächen absorbieren sie zum kleineren Teil und reflektieren sie zumeist; rauhe, unebene Flächen verschlucken aber mehr Wärme, als sie reflektieren. In gleichem Masse strahlen nun auch warme Flächen die Wärme um so weniger leicht aus, je glätter sie sind. (Geschliffene Öfen heizen nicht so gut wie rauhe.) Russ und berusste Flächen nehmen die Wärmestrahlen am leichtesten an und geben sie auch am leichtesten wieder ab.

### Versuche.

1. Ausdehnung durch die Wärme. a) Eine kleine Retorte spanne man, mit dem Halse abwärts gerichtet, in einen Retortenhalter, lasse sie einige Linien tief in ein Schälchen mit Wasser münden und erwärme den bauchigen Teil durch eine Weingeistflamme; die Luft dehnt sich dabei so stark aus, dass ein Teil derselben in Blasen entweicht. Nach der Entfernung der Flamme zieht sie sich wieder zusammen, das Wasser wird durch den äusseren Luftdruck in den Retortenhals getrieben und nimmt den Raum der entwichenen Luft ein.

b) Von zwei Probiercylindern, welche in *ccm* eingeteilt sind, fülle man bis genau 10 *ccm* den einen mit Wasser, den anderen mit Weingeist, und bringe beide in erwärmtes Wasser. Beträgt dessen Temperatur 20° mehr als die ursprüngliche der Flüssigkeiten, ist jene z. B. 40°, diese 20°, so steigt das Volumen des Wassers um 0,1 *ccm*, das des Weingeistes um 0,2 *ccm*. Benzin dehnt sich dabei um 0,3 *ccm* aus.

2. Dichte des Wassers. Ein grösseres Glas fülle man halb mit Wasser, die obere Hälfte mit kleinzerschlagenem Eis, und halte zwei Thermometer hinein, den einen bis zum Boden, den andern nur bis zur Mitte des Eises: nach kurzer Zeit zeigt jenes + 4°, dieses 0°.

3. Sieden unter vermindertem Druck. Ein Kölbchen fülle man zum Drittel mit Wasser, lasse sieden und verschliesse es während des Siedens fest mit einem Kork. Kehrt man dann das Kölbchen um und giebt kaltes Wasser oder einen nassen Schwamm auf die Bodenfläche, so beginnt das Sieden wieder (infolge der durch die teilweise Kondensation des Wasserdampfes eingetretenen Druckverminderung).

4. Verdunstungskälte. In ein Becherglas gebe man Äther, stelle ein Thermometer hinein und blase durch eine rechtwinklig gebogene Glasröhre kräftig und anhaltend in die Flüssigkeit hinein. Man sieht das Thermometer sehr schnell sinken, sogar bis unter 0°; zugleich beschlägt sich das Glas aussen stark mit Feuchtigkeit.

5. Schlechte Wärmeleitung des Wassers. Einen ziemlich langen Reagiercylinder fülle man bis gegen den oberen Rand mit Wasser an, lasse ein Stückchen Eis, welches durch Umwickeln mit Draht schwer gemacht ist, auf den Boden gleiten und erwärme nun durch eine kleine Flamme den oberen Teil des Wassers; dieser wird ins Sieden geraten, während das Eis noch ungeschmolzen bleibt.

6. Gute Wärmeleitung der Metalle. In eine Flamme halte man der Quere nach ein feines eisernes Drahtnetz; jene wird wie abgeschnitten erscheinen, indem sie sich durch das Netz nicht fortzusetzen vermag, zufolge der starken Wärmeableitung desselben.

### Fragen.

1. Worauf gründet sich die Methode, einen festsitzenden Glasstöpsel durch Erwärmen oder Reiben des Flaschenhalses zu lockern? — Antw.

Auf der dabei stattfindenden Ausdehnung des Flaschenhalses, während der Stöpsel noch kalt bleibt.

2. Warum gelangt ein auf eine glühende Metallplatte gespritzter Wassertropfen nicht sofort zur Verdampfung, sondern fährt lebhaft zischend umher? (Leydenfrostscher Tropfen.) — Antw. Weil er sich sofort durch eine Dampfschicht von der Platte trennt und dadurch deren Wärme nur langsam annimmt.

3. Woher stammt der Tau und Reif? — Antw. Aus dem in der Luft enthaltenen Wasserdampf, der sich bei allmählicher Abkühlung der Luft an die festen Körper der Erdoberfläche in Tropfen oder Eisnadeln ansetzt. Bei bewölktem Himmel ist die Abkühlung der Luft geringer, es findet daher dann keine Taubildung statt.

4. Warum fassen sich metallische Gegenstände stets kalt an? — Antw. Weil sie die Wärme der Hand schnell wegleiten.

5. Wenn man 1 *kg* Wasser von 30° mit 3 *kg* Wasser von 10° mischt, welche Temperatur besitzt diese Mischung? — Antw. 15°.

---

## 11. Das Thermometer.

**§ 37.** Worauf gründet sich das Thermometer? Die Eigenschaft der Körper, beim Erwärmen sich auszudehnen, benutzt man zur Messung der Wärme, und bedient sich zu diesem Zwecke des Thermometers*). An der Ausdehnung einer in einer Glasröhre eingeschlossenen Flüssigkeit misst man den Grad der Erwärmung. Dabei ist vorzüglich dafür Sorge zu tragen, dass die zu wählende Flüssigkeit eine gleichmässige Ausdehnung zeige. Dies thun nun nicht alle Körper, zumal nicht Flüssigkeiten in der Nähe ihres Siedepunktes. Die gleichmässigste Ausdehnung besitzt die Luft, daher ist das Luftthermometer der genaueste Wärmemesser, aber weniger praktisch. Es besteht aus einem lufterfüllten Kolben, dessen Hals, mit einer engen Glasröhre verbunden, in ein mit gefärbter Flüssigkeit gefülltes Gefäss eintaucht und mit einer Skala versehen ist.

Das gewöhnlich gebrauchte Thermometer stellt eine feine gläserne Röhre dar, beiderseits geschlossen und unten in eine Kugel ausgeblasen, zum Teil mit Quecksilber oder gefärbtem Weingeist gefüllt und darüber luftleer**). Sie muss kalibriert d. h. überall von gleicher Weite sein.***) Das Quecksilberthermometer eignet sich sehr gut zur Messung der Wärme zwischen dem Gefrierpunkt und Siedepunkt des Wassers, da in diesen

*) Wärmemesser, von θερμός (warm) und μέτρον (Mass).

**) Man bewirkt dies, indem man die Röhre nach dem Füllen soweit erhitzt, dass der Inhalt überläuft, worauf man sie dann schnell zuschmilzt.

***) Ein Quecksilbertropfen muss beim Hindurchlaufen stets dieselbe Länge haben.

Temperaturen die Ausdehnung des Quecksilbers sehr gleichmässig verläuft. Für den Weingeist stimmt dies nur in den niedrigen Temperaturen, daher das Weingeistthermometer vorzugsweise zum Messen der Kältegrade dient.

§ 38. Wie ist das Thermometer eingeteilt? Die älteste Einteilung des Thermometers rührt vom Erfinder desselben, Fahrenheit in Danzig (1715), her, welcher sein Instrument in eine Mischung von (3 T.) Kochsalz und (1 T.) Schnee stellte und diesen Stand zum Nullpunkt der Einteilung machte, während er den Siedepunkt des Wassers mit 212 bezeichnete. Das Fahrenheitsche Thermometer ist jetzt noch in England und Nordamerika im Gebrauch.

In Deutschland und Frankreich bedient man sich noch sehr häufig des Réaumurschen Thermometers. Der Franzose Réaumur (gestorben 1757) nahm den Punkt, welchen das in schmelzendes Eis gestellte Instrument zeigt, welcher zugleich der Gefrierpunkt des Wassers ist, zum Nullpunkt und bezeichnete den Siedepunkt des Wassers mit 80°, weil er die Ausdehnung des Weingeistes, dessen er sich bediente, von 1000 Teilen auf 1080 Teile bestimmte. Gleiche Grade brachte er unter 0° an, nannte sie „Kältegrade“ und setzte ihnen das Zeichen (—), während er die „Wärmegrade“ über 0° mit dem Zeichen (+) versah.

In der Wissenschaft bedient man sich jetzt der Einteilung nach dem Schweden Celsius, welcher gleichfalls den Gefrierpunkt des Wassers zum Nullpunkt machte, den Abstand zwischen dem Gefrier- und Siedepunkt aber in 100 Grade einteilte. Diese Centesimaleinteilung gilt auch für die Angaben der Pharmakopöen.

Will man bezeichnen, welche Gradeinteilung man gebraucht, so setzt man hinter die Zahl das Zeichen F für Fahrenheitsche, R für Réaumursche, C für Celsiussche Grade. Die Umrechnung derselben ist nicht schwierig, wenn man bedenkt, dass 4 Réaumursche Grade = 5 Celsiusschen sind, da 80° R = 100° C. Daraus gehen die Regeln hervor:

*1. Man verwandelt Réaumursche Grade in Celsiussche, wenn man sie mit 5 multipliziert und durch 4 dividiert.*

*2. Man verwandelt Celsiussche Grade in Réaumursche, wenn man sie mit 4 multipliziert und durch 5 dividiert.*

Die Umrechnung der Fahrenheitschen Grade erfordert die weitere Berücksichtigung, dass der Nullpunkt des Fahrenheitschen Thermometers nicht mit dem Nullpunkte des Réaumurschen und Celsiusschen zusammenfällt. Der Nullpunkt von Réaumur und Celsius liegt bei 32° F. Von da ab giebt es bis zum Siedepunkt des Wassers (212° F) 180 Grade nach Fahrenheit. Es sind also 9 Fahrenheitsche

Grade = 5 Celsiusschen und 4 Réaumurschen. Will man daher Fahrenheitsche Grade umrechnen, so gilt folgende Regel:

*3. Man verwandelt Fahrenheitsche Grade in Celsiussche resp. Réaumursche, indem man von jenen 32 substrahiert und den Rest mit $^5/_9$ resp. $^4/_9$ multipliziert. — Man verwandelt Celsiussche resp. Réaumursche Grade in Fahrenheitsche, indem man sie mit $^9/_5$ resp. $^9/_4$ multipliziert und schliesslich 32 dazu addiert.*

**Vergleichende Tabelle.**

| Réaumur | Celsius | Fahrenheit |
|---|---|---|
| — 32° | — 40° | — |
| — 14,2° | — 17,7° | 0° |
| 0° | 0° | 32° |
| + 8° | + 10° | 50° |
| + 16° | + 20° | 68° |
| + 24° | + 30° | 86° |
| + 32° | + 40° | 104° |
| + 40° | + 50° | 122° |
| + 80° | + 100° | 212° |

**§ 39.** Wie bestimmt man hohe Hitzegrade? Während man sehr niedrige Temperaturen durch das Weingeistthermometer richtig bestimmen kann, da der Weingeist noch nicht zum Gefrieren gebracht wurde (das Quecksilber gefriert bei $-40^0$ C = $32^0$ R), ist es dagegen äusserst schwierig, sehr hohe Hitzegrade annähernd genau zu bestimmen. Weil das Quecksilber bei $+360^0$ C siedet, kann man das Quecksilberthermometer nur bis $300^0$ mit Sicherheit gebrauchen. Für höhere Temperaturen ist man auf das Luftthermometer angewiesen. Auch bedient man sich der Platinstangen, deren lineare Ausdehnung die Hitze abschätzt, da das Platin erst in sehr hoher Temperatur schmilzt. Wedgwood hatte ein sog. Pyrometer konstruiert, indem er Thonstückchen zwischen zwei nach unten sich nähernden Linealen hinabgleiten liess. Der Thon sintert nämlich in der Hitze zusammen und gleitet um so tiefer herab, je höher die Temperatur steigt. ($1^0$ W ist anfangendes Glühen, etwa $500^0$ C; $5^0$ W ist Rotglühhitze, $9^0$ W Weissglühhitze.) Dieses Instrument giebt aber nur unsichere Resultate.

Nach der Farbe des glühenden Eisens unterscheidet man: 1. dunkle Rotglühhitze (Kirschrotglühhitze), etwa bei $500^0$; 2. helle Rotglühhitze und 3. Weissglühhitze, etwa bei $1000^0$ C.

**Versuche.**

Luftthermometer. Durch den Korkstopfen einer zur Hälfte mit Glycerin gefüllten Flasche werde eine beiderseits offene Glasröhre luftdicht bis nahe zum Boden geführt. Der Stopfen werde dann mit Siegellack überzogen, sodass die Flasche luftdicht verschlossen ist. Bei steigender Temperatur dehnt sich die in ihr eingeschlossene Luft aus und drückt das Glycerin in die Glasröhre empor. Die Erwärmung durch die Hand reicht

schon hin, dasselbe weit emporzutreiben. (Man färbe das Glycerin durch etwas Kupferlösung blau, um seinen Stand besser beobachten zu können.)

**Aufgaben.**

1. Wie lange zeigt das Thermometer 0°, wenn man es in schmelzendes Eis resp. Schnee bringt? — Antw. Bis alles Eis geschmolzen ist.

2. Wieviel Celsiussche Grade besitzen die heissen Quellen von Gastein und Ems, wenn erstere 38° R, letztere 45° R zeigen? — Antw. Erstere 47,5° C, letztere 56,25° C.

3. Wieviel Réaumursche Grade besitzen die heissen Quellen von Wiesbaden und Wildbad, wenn erstere 70° C, letztere 37° C zeigen? — Antw. Erstere 56° R, letztere 29,6° R.

4. Wieviel Réaumursche Grade sind 59° F? — Antw. (59—32) $^4/_9 = +$ 12° R.

5. Wieviel Celsiussche Grade sind 12° F? — Antw. (12—32) $^5/_9 = -$ 10° C.

---

## 12. Destillation und Sublimation.

**§ 40.** Destillation und Sublimation. Lassen wir die Verflüchtigung eines Körpers in geschlossenen Gefässen vor sich gehen, welche die Dämpfe desselben ableiten und durch Abkühlung wieder verdichten, so nehmen wir eine Destillation vor, sofern die Dämpfe sich zu einer Flüssigkeit verdichten, — dagegen eine Sublimation, wenn die Dämpfe in den festen Aggregatzustand übergehen.

Man vollzieht die Destillation zur Abscheidung flüchtiger Flüssigkeiten von nichtflüchtigen; häufig wird zum Zwecke der Reinigung die destillierte Flüssigkeit nochmals der Destillation unterworfen. Man nennt alsdann diese zweite Destillation eine Rektifikation und spricht von einer rektifizierten Flüssigkeit.

Bei jeder Destillation kommen folgende Gerätschaften in Anwendung:

1. Ein Gefäss, worin die Flüssigkeit zum Sieden erhitzt wird. Bei metallenen Geräten bedient man sich der sog. Destillierblase (*vesica*), deren Mündung mit dem sog. Hut oder Helm (*alembicus*) verschlossen wird; jene besteht aus Kupfer, wenn die Destillation über freiem Feuer stattfindet; sonst ist Zinn das für Blase und Helm angewandte Metall. Bei gläsernen Geräten verwendet man Retorten (*retortae*), gläserne Ballons mit seitlich zurückgebogenem Rohr; ist der Ballon mit einer verschliessbaren Öffnung (*tubulus*) versehen, so nennt man die Retorte eine tubulierte. (Fig. 18r.)

2. Eine Röhre, in welcher sich der Dampf durch Abkühlung verdichtet — das sog. Kühlrohr. Dasselbe verläuft durch einen mit kaltem Wasser gefüllten Behälter, das Kühlfass. Retorten verbindet man mit dem nach Liebig benannten Kühler (Fig. 18b),

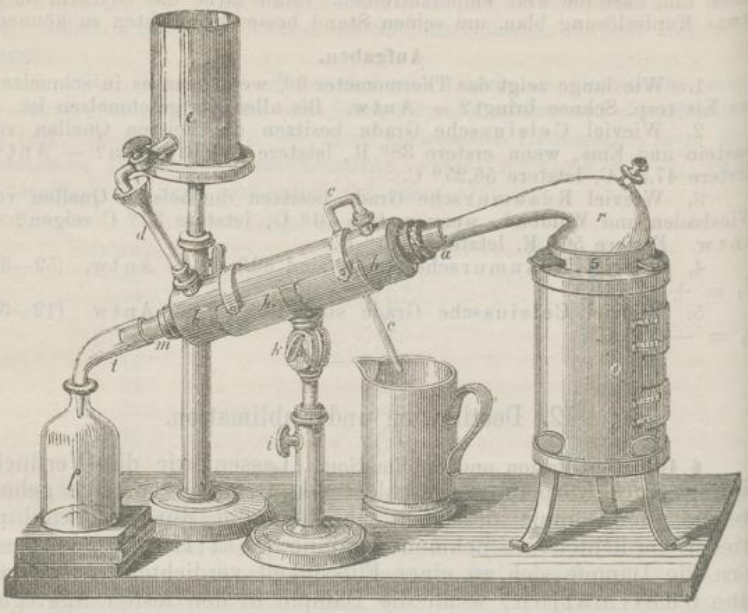

Fig. 18.

der unten mit einer Zuflussröhre (d) für kaltes Wasser, oben mit einer Abflussröhre (c) für das erhitzte Wasser versehen ist und dadurch einen anhaltenden Strom kalten Wassers empfängt. Leicht verdichtbare Dämpfe gestatten den Wegfall des Kühlgefässes, indem man die Retorte direkt mit einem Kolben (*cucurbita*) verbindet, den man kühl hält, wobei zwischen der Retortenröhre und dem Kolbenhalse kein luftdichter Verschluss stattfinden darf. (Fig. 19.)

Fig. 19.

3. Ein Gefäss zur Aufnahme der verdichteten Flüssigkeit, die sog. Vorlage (*excipulum*) (Fig. 18 f). Wird im Laufe der Destillation die Vorlage gewechselt, um eine Trennung des Destillates zu bewerkstelligen, so heisst die Destillation eine fraktionierte.

Die Erhitzung des Destillationsgefässes kann geschehen:

a) Über freiem Feuer, unbedenklich bei kupfernen Destil-

lierblasen, gefährlich bei Retorten. Man vermindert die Gefahr des Zerspringens, indem man die Retorte auf ein Drahtnetz setzt, welches die Wärme gleichmässig verteilt. Übrigens dürfen die Retorten nur dann über freiem Feuer erhitzt werden, wenn ihr Inhalt keine festen Substanzen besitzt.

b) Aus dem Sandbade, d. i. aus einer Schicht erhitzten Sandes, in welche man die Retorte teilweise einsenkt. Stets die sicherste, wennschon zeitraubendere Methode. (Fig. 18 d.)

c) Aus dem Wasser- oder Dampfbade, d. i. aus oder über siedendem Wasser, worin resp. worüber die Retorte, Destillierblase oder der Kolben gehängt ist. Hierbei kann die Erhitzung den Siedepunkt des Wassers nicht übersteigen, daher nur diejenigen Flüssigkeiten, welche leichter flüchtig sind als Wasser, aus dem Wasserbade sich destillieren lassen, z. B. Weingeist, Äther.

Der in pharmazeutischen Laboratorien gebräuchliche Beindorfsche Dampfapparat besteht aus einem grösseren Wasserkessel von Kupferblech, unter welchem die Feuerstätte sich befindet, die das Wasser in ihm zum Sieden bringt. In diesem Wasserkessel hängt eine zinnerne Destillierblase, die mit ihm durch ein Dampfleitungsrohr in Verbindung gesetzt werden kann. Dieses Dampfrohr endigt dicht über dem Boden der Blase, unter einem perforierten Zwischenboden, auf welchen bei der Bereitung der destillierten Wässer die Substanzen gebracht werden. Die im kupfernen Kessel entwickelten Wasserdämpfe gelangen durch das Rohr auf den Boden der Blase und sind gezwungen, die auf dem Zwischenboden lagernden Substanzen zu durchdringen und deren flüchtige Teile aufzunehmen. Der Blase ist ein zinnerner Helm aufgesetzt, der die Dämpfe in das Kühlrohr leitet. Wendet man das Dampfleitungsrohr und den Zwischenboden nicht an, so kann man die Blase zur Destillation von Flüssigkeiten aus dem Wasserbade benutzen; alsdann öffnet man eine besondere Ableitungsröhre für die Dämpfe des äusseren Wasserkessels, zur gleichzeitigen Gewinnung destillierten Wassers.

Zur Sublimation benutzt man bald, wie beim Jod, eine Retorte nebst Vorlage, an deren Wände das Sublimat sich ansetzt; bald, wie beim Kampfer und Salmiak, einen Kessel mit gewölbtem Deckel, an dessen Unterseite ein kompakter Kuchen ansublimiert. Beim Schwefel werden die in einem Kessel entwickelten Dämpfe seitwärts in eine grosse, kalte Kammer geleitet, an deren Wandungen sie sich als feiner Staub (Schwefelblumen) absetzen.

### Versuche.

1. In eine kleine Glasretorte bringe man eine Mischung von 20 *g* Spiritus aethereus und 30 *g* Wasser und verbinde sie lose mit einem kleinen Kolben nach Art der Fig. 19. Während man den Kolben mit einem nassen Tuche bedeckt, senke man die Retorte in lauwarmes Wasser; es wird

eine kleine Quantität Äther überdestillieren und sich im Kolben verdichten. Wenn keine Tropfen mehr übergehen, entleere man den im Kolben angesammelten Äther und erneuere die Destillation, jedoch mit dem Unterschiede, dass man nun die Retorte in oder über siedendes Wasser hänge. Es werden nun neue Quantitäten übergehen, die sich als Weingeist erweisen. Nach einiger Zeit hört die Destillation wieder auf und in der Retorte finden wir reines Wasser als Rückstand vor.

2. In einem trocknen Kölbchen erhitze man eine Messerspitze Schwefelblumen gelinde. Der Schwefel gerät zuerst in Fluss, dann verdampft er und beschlägt die obere Kolbenwandung mit einem gelben, feinen Sublimate. Wiederholt man den Versuch mit Jod, so bemerkt man, wie der violette Jodkampf im kälteren Teile des Kölbchens sich in dunklen Kryställchen ansublimiert.

**Fragen.**

1. Was bezwecken Destillation und Sublimation? — Antw. Die Reindarstellung eines flüchtigen Körpers. Somit lassen sich Destillation und Sublimation mit der Krystallisation vergleichen, jene bewirken bei den flüchtigen Stoffen dasselbe, was die letztere bei den krystallisierbaren.

2. Wie trennt man zwei Flüssigkeiten von verschiedener Flüchtigkeit? — Antw. Man erhitzt die Retorte resp. Destillierblase vorsichtig in der Weise, dass die leichter flüchtige Flüssigkeit vollständig abdestilliert, bevor die schwerer flüchtige zum Sieden gelangt. Aus dem Wasserbad kann man z. B. den Weingeist vom Weine vollständig abdestillieren, während die wässerigen Teile in der Blase zurückbleiben.

3. Ist aber diese Scheidung eine vollständige und wie kann sie zu einer vollständigen gemacht werden? — Antw. Da beim Übergehen der leichter flüchtigen Flüssigkeit stets ein Teil der schwerer flüchtigen zugleich verdampft, so enthält das Destillat stets mehr oder weniger von der schwerer flüchtigen Flüssigkeit. Nur durch eine (oft mehrfach) wiederholte Destillation (Rektifikation) kann letztere abgetrennt werden.

---

# D. Erscheinungen der Schwingung.

## 13. Vom Schall.

**§ 41.** Wodurch entsteht der Schall? Die Ursache des Schalles liegt in der Schwingung der Körper; um aber einen Schall hervorzurufen, muss die schwingende Bewegung eine gewisse Geschwindigkeit besitzen. Zur Erzeugung eines Tones ist erforderlich, dass der tönende Körper in der Sekunde mindestens 15 Schwingungen macht.

Die Schwingungen eines Körpers verbreiten sich nach Art von Wellen; die Schallschwingungen nennt man Schallwellen. Sie pflanzen sich teils wie die Wellen des bewegten Wassers fort (transversale Schwingungen), wobei wir Wellenberge und Wellenthäler unterscheiden, teils schwingen die Teilchen in der Schallrichtung selber hin und her (longitudinale Schwingungen). Ersterer Art sind die Schallwellen bei den festen und flüssigen Körpern, letzterer Art die der Luft. Bei dieser finden wir daher

keine Wellenberge und Wellenthäler, sondern abwechselnde Verdichtungen und Verdünnungen (der Luft).

Die Wellenbewegung ist an sich keine fortschreitende, sondern scheint nur fortzuschreiten; die einzelnen Körperteilchen schwingen hin und her, vollziehen dabei einen Kreis oder eine Ellipse, bei den transversalen Schwingungen senkrecht zur Schallrichtung, bei den longitudinalen dagegen in dieser Richtung selbst. Jedes schwingende Teilchen versetzt das nächstfolgende durch Anstoss ebenfalls in Schwingung, letzteres befindet sich aber wegen des späteren Beginnens nicht in demselben Schwingungsstadium wie das vorhergehende, sondern sein Schwingungsstadium folgt ihm etwas nach. Das geht so fort von Teilchen zu Teilchen, sodass in gewissen Abständen die schwingenden Teilchen im entgegengesetzten Stadium stehen, d. i. die einen am höchsten über der Schalllinie, die anderen am tiefsten unter derselben. Jene bilden dann den Wellenberg, diese das Wellenthal. Indem nun jedes Teilchen bald über, bald unter die Schalllinie gelangt, folgen sich die Wellenberge und Wellenthäler, wodurch das scheinbare Fortschreiten der Wellenbewegung entsteht; sie schreitet also an sich nicht fort, — wovon man sich auch leicht daran überzeugt, dass ein Stock, der in Wellen schlagendem Wasser schwimmt, kaum von der Stelle kommt, aber teilweise gehoben und gesenkt wird. — Bei den longitudinalen Schwingungen schallender Luft bewegen sich die Luftteilchen in der Schalllinie abwechselnd hin und her und erzeugen, wenn dieselben aufeinander zukommen, Luftverdichtungen, wenn sie sich aber von einander entfernen, Luftverdünnungen. Jene entsprechen den Wellenbergen, diese den Wellenthälern.

§ 42. Wovon hängt die Höhe des Tones ab? Die Dauer der einzelnen Schwingungen bedingt die Tonhöhe.

1. *Je schneller die Teilchen schwingen, um so höher tönen sie.* Wir können uns davon leicht überzeugen, wenn wir über eine gespannte Violinsaite streichen. Je gespannter die Saite, je dünner und leichter sie ist, um so höher klingt der Ton, weil ihre Teilchen dann vermöge grösserer Elastizität schneller die Schwingungen vollziehen. Desgleichen giebt eine Trompete einen um so höhern Ton, je kräftiger hineingeblasen wird.

2. *Jeder Ton besitzt die doppelte Schwingungszahl seiner tieferen Oktave.*

Das Verhältnis der Schwingungszahlen in den Tönen der Tonleiter ist folgendes: Nehmen wir an, der Ton C mache 40 Schwingungen in einem gewissen Zeitabschnitt, so machen die Töne: E 50, G 60 und C′ 80 Schwingungen in der nämlichen Zeit. Die Terz macht mithin den vierten Teil, die Quinte die Hälfte

der Schwingungen mehr als der Grundton, und die Oktave die doppelte Zahl.

**§ 43.** Wie wirken die verschiedenen Instrumente? Wir unterscheiden:

1. Saiteninstrumente, z. B. Violine, Guitarre, Laute, Zither, Harfe, Pianoforte. Bei ihnen wird der Ton hervorgerufen durch die transversalen Schwingungen der Saiten und fortgeleitet durch die longitudinalen Schwingungen der Luft.

2. Scheibeninstrumente, z. B. Glocke, Schelle, Trommel. Der Ton entsteht durch die transversalen Schwingungen von Flächen und wird fortgeleitet durch die longitudinalen Luftschwingungen.

3. Blasinstrumente, z. B. Flöte, Trompete, Klarinette, Orgel. Der Ton entsteht durch die longitudinalen Schwingungen der Luft, die man teils als schmalen Strom einbläst, wie bei der Flöte und Trompete, teils durch ein elastisches Metallplättchen, wie bei der Klarinette, ins Schwingen versetzt, der eingeblasene Luftstrom wird infolge der Schwingungen des Plättchens abwechselnd unterbrochen. Bei der Orgel wirken die Lippenpfeifen nach ersterer, die Zungenpfeifen nach zweiter Art.

Die menschliche Stimme lässt sich auf die Zungenpfeifen zurückführen und entsteht durch die Schwingungen der ausgeatmeten Luft, welche zwischen den in der Stimmritze straff angezogenen, elastischen Stimmbändern durchgeht. Die Artikulation der Sprache geschieht dann durch den Gaumen, die Zunge, Zähne und Lippen.

Zur Verstärkung des Tones sind die meisten Instrumente mit einem Resonanzboden versehen, dessen Mittönen die den Schall fortleitenden Luftschwingungen verstärkt. Bei den Saiteninstrumenten dient der elastische Holzkasten, bei der Trommel das Gestell, bei den Blasinstrumenten die Holz- resp. Metallröhre, bei den Kirchenglocken der Glockenturm als Resonanzboden.

**§ 44.** Wie wird der Schall fortgepflanzt? Der durch Schwingungen von Saiten, Flächen oder Luftschichten erzeugte Ton pflanzt sich in geradliniger Richtung durch die Luft fort. Ein luftleerer Raum leitet daher den Schall nicht. Die Schallwellen verbreiten sich vom tönenden Körper nach allen Seiten hin, aber mit stetig abnehmender Kraft, infolge der Zerstreuung.*)

Je dichter die Körper sind, um so besser leiten sie den Schall fort; am stärksten also thun dies die festen Körper, im geringeren Masse die Flüssigkeiten, am schlechtesten die Luft. Man kann sich hiervon durch einen einfachen Versuch überzeugen, indem

*) Die Intensität nimmt im quadratischen Verhältnis der Entfernung ab; ein Ton wird in doppelter Entfernung nur in Viertelstärke vernommen.

man einen eisernen Stab an dem einen Ende mit zwei Fäden versieht, die man mit dem Finger ins Ohr führt; wenn man den Stab durch Anstossen an eine Metallfläche ins Tönen versetzt, vernimmt man einen Ton wie den einer Glocke.

*Der Schall legt in der Luft 338 Meter (1080 Fuss) in der Sekunde zurück.*

Da das Licht die irdischen Entfernungen in kaum messbarer Geschwindigkeit durcheilt, so lässt sich die Entfernung einer abgefeuerten Kanone, eines Blitzes u. dgl. leicht an der Zeitdifferenz berechnen zwischen dem Aufleuchten und dem Wahrnehmen des Donners.

Durch das Mittönen von Flächen, gegen welche die Schallwellen anschlagen, entstehen Nachhall und Wiederhall. Ist nämlich die getroffene Fläche weniger als 19 *m* (60 Fuss) vom tönenden Körper und unserem Ohre entfernt, so vermischt sich der von ihr reflektierte Schall mit dem direkt vom tönenden Körper in unser Ohr gelangenden — es geht daraus eine Verstärkung des Tones, der sog. Nachhall, hervor. Befindet sich die reflektierende Fläche aber weiter als 19 *m* vom tönenden Körper und unserem Ohre entfernt, so vernehmen wir den reflektierten Ton gesondert und nennen ihn Wiederhall, Echo. Liegen mehrere Flächen an verschiedenen, je 19 *m* von einander entfernten Orten, so wiederholt sich das Echo. Je nach der Silbenzahl, welche das Echo wiedergiebt, unterscheiden wir ein einsilbiges und ein mehrsilbiges Echo; grössere Entfernungen verursachen ein mehrsilbiges Echo.

Zur Direktion des Schalles nach einer bestimmten Richtung, um ihn daselbst stärker wirken zu lassen, bedient man sich des Sprachrohrs, einer geraden, kegelig sich erweiternden Röhre.

**§ 45.** Wie hört man den Schall? Das Hören der Schallwellen ist ein Akt der Gehörnerven und geschieht durch das Ohr. Die wesentlichen Teile des menschlichen Ohres sind:

1. Das äussere Ohr, bestehend aus der Ohrmuschel und dem Hörgange, welcher kurz und gewunden ist.

2. Das innere Ohr, vom äusseren durch eine elastische, gespannte Haut, das Trommelfell, geschieden. In seiner Höhlung (Trommelhöhle) liegen drei mit einander und dem Trommelfell verbundene Knöchelchen, genannt Hammer, Amboss und Steigbügel. Die Innenseite der Höhlung nimmt das sogenannte Labyrinth ein, dessen Teile Vorhof und Schnecke heissen. Der Vorhof besteht aus drei Bogengängen und einer fensterähnlichen Öffnung, dem ovalen Fenster, an welches sich der Steigbügel anlehnt. Die Schnecke ist ein gewundener Kanal, dessen Innenfläche vom Hörnerven überkleidet wird. Das Labyrinth

findet sich mit einer Flüssigkeit erfüllt, welche die Schallwellen, die durch Trommelfell und Gehörknöchelchen zu ihr fortgeleitet werden, auf den Gehörnerven überträgt.

Schwerhörige Menschen bedienen sich des Höhrrohrs, einer ohrmuschelförmigen Röhre, zur besseren Auffangung der Schallwellen.

**Aufgaben.**

1. Wenn G anderthalbmal so viele Schwingungen in der Sekunde macht als C, welcher Ton macht dreimal so viele Schwingungen als C? — Antw. g'.

2. Wenn der tiefste musikalische Ton (des Contrabasses) 41, der höchste (der Piccoloflöte) 4752 Schwingungen in der Sekunde macht, wie viele Oktaven liegen dazwischen? — Antw. $41 \times 2x = 4752; x = \frac{\log 116}{\log 2} =$ nahezu 7.

3. Wieweit ist ein Gewitter von uns entfernt, dessen Blitz 14 Sekunden vor dem Donner gesehen wird? — Antw. $14 \times 338 = 4{,}7$ *km* (1 Wegstunde).

4. Nach wieviel Sekunden wird der Knall einer 2 *km* von uns entfernten Kanone nach dem Aufblitzen gehört? — Antw. Nach nahezu 6 Sekunden.

5. Wieviel Zeit gebraucht das Echo einer 19 *m* entfernten Wand, um nach dem ursprünglichen Tone gehört zu werden? — Antw. $\frac{2 \times 19}{338} = \frac{1}{2}$ Sekunde.

---

## 14. Das Licht.

**§ 46.** Was ist das Licht? Früher hielt man, nach Isaak Newton (1701), das Licht für eine äusserst feine, unwägbare (imponderabile) Materie (Emanationstheorie); später wurde es von Euler als Schwingungserscheinung, analog dem Schalle erkannt (Vibrationstheorie). Die Schwingungen des Lichtes sind aber nicht, wie die des Schalles, Schwingungen der wägbaren Moleküle der Materie, sondern solche eines, das ganze Weltall erfüllenden und alle Körper durchdringenden, unwägbaren Stoffes, den man den Äther genannt hat. Dieser sog. Weltäther umgiebt die Moleküle der Körperwelt wie das Meer die Inseln; er durchsetzt selbst die dichtesten Stoffe und ist an sich ein integrierender Bestandteil der Materie, deren feinste Verteilung.

*Das Licht besteht in den (transversalen) Schwingungen des die Moleküle umgebenden Äthers.*

Da der Äther auch den leeren Weltraum durchsetzt, so vermag das Licht sich in demselben fortzupflanzen. Die Geschwindigkeit des Lichtes ist eine ungeheure, da es in der Sekunde einen Weg von 42000 Meilen durchläuft. Seine Fortpflanzung ist geradlinig, seine Stärke nimmt aber, wie die des Schalles, mit der Entfernung ab.*)

*) Die Lichtstärke nimmt ab mit den Quadraten der Entfernungen. Eine Fläche empfängt in der doppelten Entfernung von der Lichtquelle nur $\frac{1}{4}$ so viel Licht.

**§ 47.** Wie verhalten sich die Körper zum Lichte? Trifft das Licht auf einen Körper, so tritt ein Dreifaches ein: ein Teil des Lichtes wird durchgelassen, ein zweiter Teil zurückgeworfen, das übrige verschluckt (absorbiert).

Je nachdem das eine oder andere in hervorragenderem Masse geschieht, bezeichnen wir die Körper als durchsichtig oder undurchsichtig, als spiegelnd oder nicht spiegelnd. Alle Materien strahlen mehr oder weniger Licht zurück — wodurch sie erst sichtbar werden. Was kein Licht reflektiert, wie die Luft, ist unsichtbar. Je öfter ein Lichtstrahl verschiedene Medien passieren muss, um so mehr wird er durch stattfindende Absorption geschwächt, bis er völlig verschwindet. Daher erscheint der Schnee oder zerstossenes Eis undurchsichtig, weil zwischen seinen einzelnen Partikeln Luftschichten sich befinden, sodass das Licht bei seinem Durchgange durch den Körper wiederholt aus Luft in Eis und wieder aus Eis in Luft treten muss, dabei aber immer mehr absorbiert wird.

**§ 48.** Wie geschieht die Reflexion des Lichtes? Je ebener die Oberfläche eines Körpers ist, um so mehr Licht wird von ihr reflektiert; polierte Flächen, die ruhige Oberfläche des Wassers, besonders aber des Quecksilbers, stellen daher gute Spiegel vor. Das Zurückwerfen des Lichtes geschieht nach folgendem Gesetz:

*Das Licht wird unter demselben Winkel reflektiert, unter welchem es auffällt.*

Errichtet man in dem Punkte n (Fig. 20), wo der Lichtstrahl fn die Spiegelfläche ss′ trifft, den Perpendickel pn, so nennt man den Winkel i den Einfallwinkel, den Winkel r, welchen der reflektierte Strahl nd mit der Lotrechten bildet, den Ausfallwinkel. Nach obigem Gesetze müssen beide Winkel einander gleich sein.

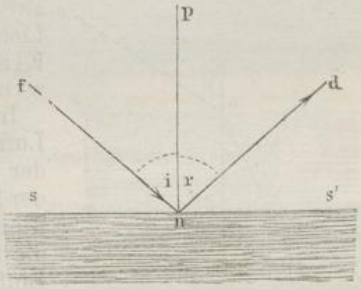

Fig. 20.

Aus diesem Reflexionsgesetz geht hervor, dass ein senkrecht auffallender Lichtstrahl in sich selbst zurückgeworfen wird; schräg auffallende Strahlen reflektieren sich unter gleicher Neigung nach der anderen Seite der Lotrechten.

Auf die Spiegelung eines leuchtenden Gegenstandes übt die Form der Spiegelfläche den grössten Einfluss aus. Ebene Spiegelflächen geben ein Bild des Gegenstandes, welches denselben höchst übereinstimmend kopiert. Der leuchtende Körper erscheint in getreuer Form und scheinbar ebensoweit hinter dem Spiegel,

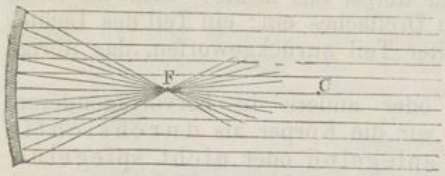

Fig. 21.

wie er sich in der Wirklichkeit vor demselben befindet.

Anders reflektieren konkave und konvexe Spiegelflächen. Konkave oder Hohlspiegel brechen die parallel mit der Krümmungsachse einfallenden Strahlen in einen einzigen Punkt, in den sog. Brennpunkt (Focus, F in Fig. 21) zusammen, welcher Punkt in der Achse selbst und zwar in der Mitte zwischen dem Krümmungsmittelpunkt (C) und der Spiegelfläche liegt.

Hält man einen Hohlspiegel gegen die Sonnenstrahlen, so lässt sich in seinem Brennpunkte Zunder entzünden.

Konvexe Spiegel lassen alle Gegenstände verkleinert erscheinen, wie man dies an hohlen, innen schwarz lackierten Glaskugeln sehr gut sehen kann.

**§ 49.** Wie nennt man die Brechung des Lichtes? Beim Eintritt des Lichtes in einen durchsichtigen Körper erleidet es eine Ablenkung von seiner Richtung, die man Brechung nennt; nur senkrecht auffallende Strahlen gehen ungebrochen durch.

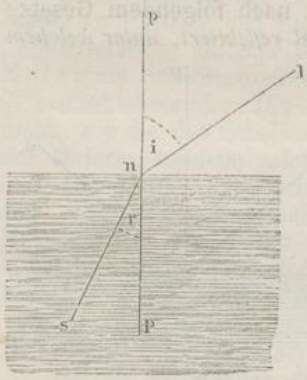

Fig. 22.

Bezeichnet in Fig. 22 pP die Lotrechte, das sog. Einfallslot, ln den auffallenden, ns den durchgehenden Lichtstrahl, so wird der Winkel i der Einfallswinkel, r der Brechungswinkel genannt.

Im Falle der Lichtstrahl ln aus der Luft in Wasser oder Glas übergeht, ist der Brechungswinkel (r) kleiner als der Einfallswinkel (i); geht aber der Strahl umgekehrt aus dem Wasser oder Glas in die Luft, sn in nl über, dann ist r der Einfallswinkel und grösser als der Brechungswinkel i. Allgemein ausgedrückt:

*1. Geht der Lichtstrahl aus einem dünneren in ein dichteres Medium über, so wird er nach dem Einfallslote zu gebrochen.*

*2. Geht der Lichtstrahl aus einem dichteren in ein dünneres Medium über, so wird er vom Einfallslote ab gebrochen.*

Ein durch ein offenes Fenster ins Zimmer dringender Lichtstrahl erlangt sofort eine etwas veränderte Richtung, wenn das Fenster geschlossen wird. Ein halb unter Wasser getauchter Stab erscheint wie gebrochen, und zwar unter der Wasserfläche

emporgebogen, weil das von diesem Teile kommende Licht beim Austritt aus dem Wasser in die Luft von der Lotrechten ab, nach der Horizontallinie zu gebrochen wird, wir aber den untergetauchten Teil des Stabes in der mehr wagerechten Richtung des gebrochenen Strahles erblicken.

Das Licht wird von den verschiedenen Medien nicht in gleicher Stärke gebrochen. Das Verhältnis vom Einfall- zum Brechungswinkel nennt man den Brechungsexponenten. Er ist für Luft und Wasser $^4/_3$, für Luft und Glas $^3/_2$.

Der Brechungsexponent ist gleich dem Quotient aus dem Sinus des Einfallswinkels durch den Sinus des Brechungswinkels.

Ist der Winkel, den ein Lichtstrahl beim Austritt aus einem dichteren Medium, z. B. aus Glas oder Wasser in Luft, bildet, so gross, dass der austretende Strahl in der Richtung der Horizontalebene verläuft, also der Ausfallswinkel = 90° ist, so nennt man ihn den „Grenzwinkel", weil bei einem noch grösseren Einfallswinkel die Strahlen nicht mehr in die Luft auszutreten vermögen, wie Fig. 23 zeigt, sondern nach innen reflektiert werden: totale Reflexion, eine Reflexion, welche an Vollständigkeit jede Reflexion auf Spiegelflächen übertrifft.

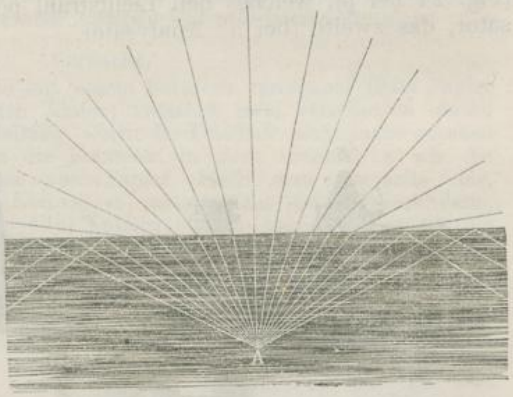

Fig. 23.

**§ 50.** Was ist polarisiertes Licht? Während ein gewöhnlicher Lichtstrahl seine Schwingungen in den verschiedensten Ebenen, die sich durch seine Richtung legen lassen, vollzieht, schwingt das polarisierte Licht nur in einer einzigen Ebene. Das Licht von glühenden festen Körpern (nicht von flammenden Gasen) ist polarisiert.

Gewöhnliches Licht kann auf zweierlei Weise in polarisiertes verwandelt werden: a) durch Brechung, b) durch Reflexion.

a) Alle Krystalle, welche nicht zum regelmässigen System gehören, brechen das Licht doppelt. Wenn man einen Punkt, eine Linie u. dgl. durch einen Kalkspatkrystall (isländischen Doppelspat) betrachtet, so erblickt man sie doppelt. Trifft ein Lichtstrahl einen solchen Krystall, so spaltet er sich in zwei

Strahlen, von denen einer der gewöhnlichen Brechung folgt (ordinärer Strahl), während der andere (der extraordinäre Strahl) abweicht. Beide Strahlen sind polarisiert.

Gewöhnlich benutzt man zur Polarisation die Turmalinzange, welche aus zwei parallel mit der Hauptachse geschnittenen Turmalin-Plättchen besteht. Das durch eines der Plättchen gegangene Licht ist polarisiert und vermag nur dann das zweite Plättchen zu durchdringen, wenn ihre Achsen parallel verlaufen; dreht man letzteres aber derartig, dass sich ihre Achsen kreuzen, so lässt es das polarisierte Licht nicht durch. — Man bedient sich zu grösseren Polarisationsapparaten zweier Kalkspatprismen (Nicolscher Prismen), welche eigentümlich geschliffen nur den extraordinären Strahl durchlassen. Das erstere Prisma (Fig. 24 bei p), welches den Lichtstrahl polarisiert, heisst Polarisator, das zweite (bei a) Analysator.

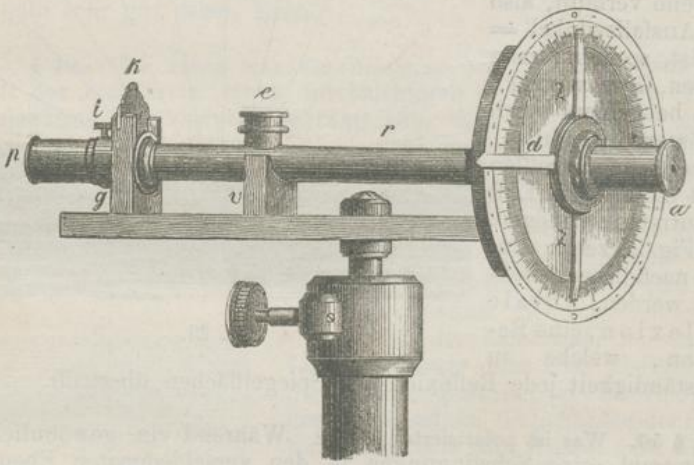


Fig. 24.

Viele Substanzen besitzen die Eigenschaft, das polarisierte Licht in farbige Strahlen aufzulösen und zugleich zu drehen d. i. seine Richtung zu verändern. Man unterscheidet rechts- und linksdrehende Stoffe; zu ersteren gehört z. B. der Rohrzucker, zu letzteren der Traubenzucker. Schaltet man ihre Lösungen in das Rohr (r) zwischen die beiden Nicolschen Prismen des Polarisationsapparates ein, so muss man, um die volle Stärke des polarisierten Lichtes zu erlangen, das analysierende Prisma (a) drehen, welches mit einem Zeiger (z) verbunden ist, der den

Grad der Drehung an einer Scheibe mit Kreiseinteilung anzeigt. Die Grösse dieser Drehung zeigt dann die Stärke der Lösung an. Zugleich mit der Drehung wird das polarisierte Licht in farbige Strahlen aufgelöst; man nimmt das blaue Licht als massgebend an.

b) Lässt man einen Lichtstrahl unter einem gewissen Winkel*) auf eine spiegelnde Fläche auffallen, so wird er als polarisiertes Licht zurückgeworfen und, auf einem zweiten Spiegel aufgefangen, je nach dessen Stellung, von demselben bald reflektiert, bald verschluckt (daher der Name: polarisiert). Hält man nämlich den zweiten Spiegel (Analysator) dem ersten (Polarisator) parallel, so reflektiert er den polarisierten Strahl und erscheint daher hell; dreht man ihn um 90°, so verschluckt er das polarisierte Licht und wird dunkel; bei der Drehung auf 180°, erleuchtet er sich wieder, um bei weiterer Umdrehung auf 270° abermals dunkel, bei Rückkehr zur ersten Stellung wieder hell zu werden.

Alles von festen Körpern reflektierte Licht ist unvollkommen polarisiert, d. i. es enthält mehr oder weniger viel polarisierte Strahlen.

### Versuche.

1. Photometer. Ein mit einem Fettfleck versehenes Blatt Papier halte man in einem dunklen Zimmer zwischen zwei verschieden starke Flammen, und suche die Stellung, worin der Fettfleck nicht mehr gesehen wird. Dann verhalten sich die Flammen in ihrer Lichtstärke wie die Quadrate ihrer Entfernungen vom Papier. Stellt man einerseits eine, andrerseits vier brennende Kerzen, so verschwindet der Fettfleck dann, wenn die vier Kerzen in doppelter Entfernung vom Papier stehen wie die andere Kerze. (Der Fettfleck wird dann unsichtbar, wenn er genau soviel Licht durchlässt, als seine Umgebung zurückstrahlt.)

2. Doppelte Spiegelung einer Glastafel. Hält man zur Seite einer Kerzenflamme eine blanke Glastafel in der Richtung eines halben rechten Winkels, so erblickt man deutlich zwei Flammen scheinbar hinter der Tafel. Das eine Bild rührt von der Spiegelung der vorderen, das andere von derjenigen der hinteren Fläche der Glastafel her. Da man durch dieselbe zugleich hindurchsehen kann, so erblickt man das Flammenbild in einem dahintergestellten Gegenstande, beispielsweise in einer mit Wasser gefüllten Flasche, an der Spitze einer nicht angezündeten Kerze u. dgl.

3. Brechung des Lichtes. Auf den Boden einer Schüssel lege man ein Geldstück und halte das Auge so, dass die Gefässwand es gerade verdeckt; wird dann Wasser in die Schüssel gefüllt, so tritt das Geldstück wieder sichtbar hervor, scheint aber höher zu liegen. (Der beim Austritt aus dem Wasser mehr horizontal gerichtete, vom Geldstück kommende Lichtstrahl trifft alsdann das Auge, verlegt den Gegenstand aber scheinbar in seine Verlängerung nach rückwärts.)

4. Totale Reflexion. Taucht man einen leeren Reagiercylinder

---

*) Dieser Winkel (Polarisationswinkel) ist für jeden Körper verschieden, für Glas beträgt der Einfallswinkel 56°. Bei der Polarisation durch Reflexion wird das in allen Ebenen schwingende gewöhnliche Licht beim Auffallen auf die Spiegelfläche in zwei Strahlen zerlegt, welche beide polarisiert d. i. in einer einzigen Ebene schwingend sind; der eine dieser Strahlen wird reflektiert; der andere geht gebrochen durch die Spiegelfläche hindurch. Die Polarisation tritt dann ein, wenn der reflektierte Strahl auf dem gebrochenen senkrecht steht.

in Wasser und blickt von oben herab, so erscheint der untergetauchte Teil glänzend, wie mit Quecksilber gefüllt. Bringt man etwas Wasser in den Cylinder, so erstreckt sich diese Erscheinung nicht mehr auf den untersten, das Wasser enthaltenden Teil, welcher durchsichtig geworden ist. (Das vom äusseren Wasser in den Cylinder eintretende Licht erleidet zum Teil totale Reflexion, wird in aufwärtsgehender Richtung wieder reflektiert und gelangt in unser Auge.)

**Fragen und Aufgaben.**

1. In wie viel Zeit gelangt das Sonnenlicht zu der 20 Millionen Meilen entfernten Erde? — Antw. In nahezu 8 Minuten.

2. Wie lang ist der Kernschatten der Erde, wenn der Sonnenhalbmesser 112 mal grösser als der Erdhalbmesser ist? — Antw. 180189 Meilen.

3. Weshalb erscheint ein Fettfleck auf Papier beim Daraufblicken dunkel, gegen ein Licht gehalten aber hell? — Antw. Weil er weniger Licht reflektiert als er durchlässt, das nichtgeölte Papier aber das Licht zumeist reflektiert und kaum durchlässt.

4. Wenn man zwei Spiegel unter einem Winkel zusammenstellt, wie oft sieht man dann einen zwischen ihnen befindlichen Gegenstand? — Antw. So oft, als der Neigungswinkel der beiden Spiegel in 360° enthalten ist. Beträgt dieser Winkel $^1/_2$ R, so sieht man den Gegenstand 8 mal, d. i. ausser ihm selbst noch 7 Bilder; dieselben bilden ein regelmässiges Achteck.

5. a. Woher rührt es, dass wir den Boden eines Wasserbehälters weniger tief erblicken, als er wirklich liegt? — Antw. Wir erblicken die Bodenfläche in der Richtung des beim Austritt in der Luft mehr horizontal gebrochenen Lichtstrahles.

b. Wie verhält sich die scheinbare Tiefe zur wirklichen? — Antw. Umgekehrt wie der Brechungsexponent, also beim Wasser wie 3 : 4.

---

## 15. Die Farben.

**§ 51.** Aus welchen Farben besteht das Sonnenlicht? Das weisse Licht der Sonne ist aus sieben farbigen Strahlen zusammengesetzt, was man erkennt, wenn man es durch ein dreiseitiges Glasprisma gehen lässt.

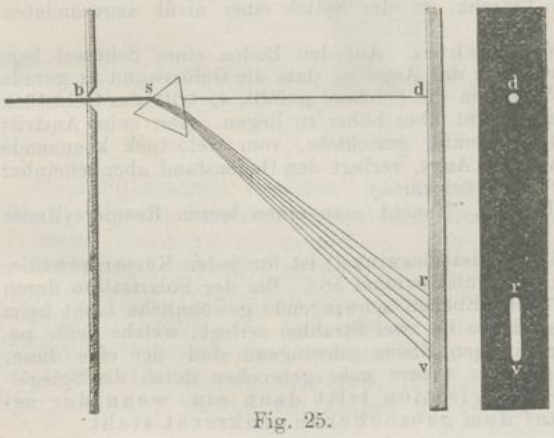

Fig. 25.

Tritt durch eine runde Öffnung b (Fig. 25), die im Fensterladen einer dunklen Stube angebracht ist, ein Sonnenstrahl in

dieselbe, so kann man ihn auf der entgegenstehenden Wand als weisses, rundes Sonnenbild d (Spektrum) auffangen. Sowie man aber hinter der Öffnung ein dreiseitiges Glasprisma anbringt, dann verlängert sich das Spektrum (rv) und erscheint nicht mehr weiss, sondern in sieben Farben, von oben nach unten in folgender Reihenfolge: rot, orange, gelb, grün, blau, indigo, violett.

Da diese Farben auch den Regenbogen zusammensetzen, so nennt man sie die sieben Regenbogenfarben. Lässt man ein solches Spektrum abermals durch ein Prisma treten, welches umgekehrt wie das erste gerichtet ist, so vereinigen sich die Regenbogenfarben wieder zu weissem Lichte und bilden ein rundes Spektrum.

Man nennt diese Farbenzerstreuung die Dispersion des Lichtes. Sie beruht darauf, dass das Sonnenlicht aus Strahlen von verschiedener Brechbarkeit zusammengesetzt ist. Das rote Licht ist das wenigst-brechbare, das violette das brechbarste. Je brechbarer ein Lichtstrahl, um so geringer seine Schwingungsdauer. Wir erkennen hieraus, dass je nach der Schwingungsgeschwindigkeit und dadurch bedingten Brechbarkeit die Lichtstrahlen in unserem Auge den Farbeneindruck hervorrufen. Die am schnellsten schwingenden und brechbarsten Strahlen erscheinen uns violett, die am wenigsten brechbaren und wenigst schnell schwingenden rot; zwischen beiden liegen die übrigen Farben.

Nicht allein ein Glasprima zerstreut das Sonnenlicht; wir vermögen die Dispersion auch durch viele andere Medien hervorzurufen. Wasser bewirkt nur eine schwache, Benzin, Anisöl Schwefelkohlenstoff dagegen eine kräftige Farbenzerstreuung. Füllt man ein Glaskästchen in Gestalt eines dreiseitigen Prismas mit Schwefelkohlenstoff, so kann man sehr schöne Spektra herstellen. Auch an vierseitigen Glasflaschen, die Benzin oder Schwefelkohlenstoff enthalten, bemerkt man eine starke Farbenzerstreuung; ebenso am Diamant.

Die Entstehung des Regenbogens erklärt sich durch die Dispersion der Sonnenstrahlen beim Durchgange durch die in der Luft schwebenden Dunstbläschen, deren hintere Wand sie reflektiert. Die Sonne befindet sich dabei stets hinter dem Beobachter, und dieser ist nach dem Mittelpunkte des Regenbogens gewendet.

§ 52. Woher rührt die Färbung der Körper? Wenn ein Körper das auf ihn fallende Sonnenlicht gleichmässig reflektiert, so erscheint er weiss; reflektiert er wenig Licht, sondern verschluckt es, so ist er schwarz. Daher sind Weiss und Schwarz keine eigentlichen Farben.

Farbig erscheint der Körper, welcher nur gewisse Lichtstrahlen reflektiert, die übrigen verschluckt. Ein roter Körper strahlt nur die roten Strahlen, ein blauer nur die blauen zu-

rück. Wir sehen einen Körper in der Farbe des von ihm reflektierten Lichtes.

Das Wasser ist zwar in kleineren Quantitäten farblos, in grossen Massen aber wirft es das blaue Licht etwas mehr zurück wie die übrigen Strahlen; daher erscheint das Meer blau. Die Bläue des Himmels kommt nicht etwa von einer Färbung der Luft, sondern ist Folge der Reflexion der blauen Lichtstrahlen an dem Wasserdunst der Atmosphäre. In hohen Luftregionen, welche wenig Dünste enthalten, sieht man daher den Himmel nicht blau, sondern fast schwarz.

**§ 53.** Was ist Fluorescenz? Es giebt gewisse Flüssigkeiten, welche bei auffallendem Lichte eine andere Färbung zeigen wie bei durchgehendem. Man nennt sie schillernd, fluoreszierend. Die farblose, wässerige Lösung des schwefelsauren Chinins erscheint beim Daraufblicken bläulich, ebenso das Petroleum. Stark schillernd ist Wasser, worin frischgeschälte Rosskastanienrinde wenige Minuten gelegen hat.

Da im allgemeinen alle gefärbten durchsichtigen Körper dasselbe Licht reflektieren, wie durchlassen, daher die nämliche Färbung beim Daraufsehen wie beim Hindurchsehen zeigen, so leitet man die Fluorescenz von der Eigenschaft der schillernden Körper her, das reflektierende Licht in seiner Schwingungsdauer zu verändern und dadurch dessen Farbe zu wechseln.

**§ 54.** Spektralanalyse. Untersuchen wir die Spektra verschiedener Flammen, so nehmen wir drei Arten von Spektra wahr:

1. Feste und flüssige Körper geben ein zusammenhängendes Spektrum, ohne Unterbrechung durch dunkle Linien.
2. Glühende Gase liefern nur verschieden gefärbte helle Partieen, welche durch dunkle Zwischenräume getrennt sind.
3. Das Sonnenspektrum ist ein kontinuierliches, aber mit feinen, dunklen Linien quer durchsetztes Bild. Man nennt diese dunklen Linien nach dem Entdecker Frauenhofersche Linien. Sie sind konstant und werden mit den Buchstaben des Alphabets bezeichnet.*) An den Stellen ihres Verlaufs fehlen also dem Spektrum die betreffenden Strahlen.

Wir vermögen ein dem Sonnenspektrum ähnliches, mit dunklen Linien durchsetztes Spektrum hervorzurufen, wenn wir vor einen glühenden festen Körper die Flamme eines Gases oder Dampfes einschieben; das vorher kontinuierliche Spektrum des festen Körpers erhält alsdann an der Stelle, wo das Spektrum des Dampfes hinfällt, eine dunkle Linie. Die Flamme des letzteren absorbiert daher die Lichtstrahlen, die er selber aussendet, die eigenen zugleich vernichtend, bleibt aber für die übrigen

*) A, B, C liegen im Rot, D im Orange, E im Grün, F im Blau, G im Indigo, H im Violett.

Strahlen des glühenden festen Körpers durchsichtig. Schiebt man zwischen das Drummondsche Kalklicht oder elektrische Licht und das Glasprisma eine Kochsalzflamme ein, so tritt eine dunkle Linie (D) dort auf, wo die Kochsalzflamme für sich allein einen gelben (Natrium-) Streifen hinwirft. Daraus schliesst man, dass die Frauenhoferschen Linien im Sonnenspektrum daher rühren, dass der feste oder flüssige, leuchtende Sonnenkern von einer Dampfatmosphäre umgeben sei, welcher solche Stoffe angehören, die an den Stellen jener Linien eigene helle, farbige Streifen liefern. D in Orange gehört beispielsweise dem Natrium an; mithin ist dieses Metall in der Sonnen-Atmosphäre vorhanden.

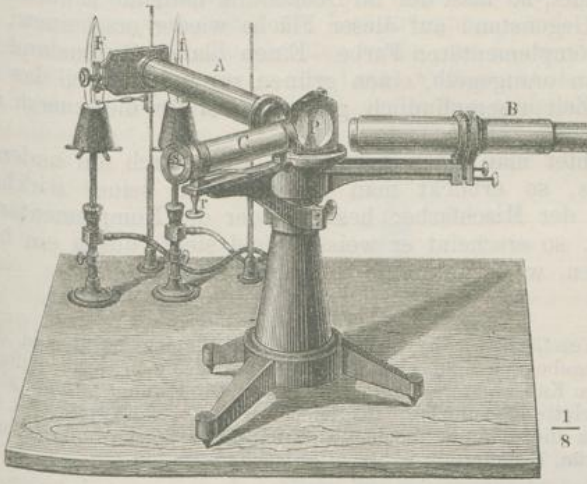


Fig. 26.

Die irdischen Körper besitzen im glühenden Zustande sämtlich ihr bestimmtes Spektrum. So zeigt die durch Kochsalz gelb gefärbte Gasflamme an Stelle der Frauenhoferschen Linie D zwei gelbe Linien; die durch Kalisalze violett gefärbte Gasflamme zeigt eine rote (in der Nähe der Linie A) und eine blaue Linie. Höchst geringe Mengen dieser Elemente und ihrer Verbindungen genügen, um die betreffenden Spektra hervortreten zu lassen, und verraten dadurch ihre Gegenwart.

Den gewöhnlich gebrauchten Spektralapparat zeigt Fig. 26. Die von den Flammen F, f durch einen feinen Spalt in die Röhre A gelangenden Lichtstrahlen erleiden durch das Glasprisma P eine Farbenzerstreuung und werden durch das Fernrohr B wahrgenommen. Die Röhre C führt eine Skala, dem Sonnenspektrum entsprechend, zur Vergleichung und Bestimmung der Lage der beobachteten Spektrallinien.

**§ 55.** Was nennt man komplementäre Farben? Da die Mischung der sieben Regenbogenfarben weisses Licht giebt, dem eine mittlere Schwingungsgeschwindigkeit zukommt, so müssen auch je zwei Farben, deren mittlere Schwingungsdauer die nämliche ist, weisses Licht geben. Solche Farben nennt man komplementäre (d. i. sich ergänzende); z. B. Rot und Grün, Orange und Blau, Gelb und Indigo.

Wenn man einige Zeit anhaltend auf einen Gegenstand von intensiver Färbung geblickt hat und darauf das Auge auf eine weisse Fläche wendet, so lässt der im Gedächtnis haftende Eindruck uns denselben Gegenstand auf dieser Fläche wieder erscheinen, aber in seiner komplementären Farbe. Einen blauen Gegenstand sieht man alsdann orangegelb, einen grünen rot u. s. f., weil das Auge für einige Zeit unempfindlich geworden ist für die zuerst angeschaute Farbe.

Betrachtet man einen farbigen Körper durch ein anders gefärbtes Glas, so erblickt man ihn nicht in seiner wirklichen, sondern in der Mischfarbe; besitzt jener die Komplementärfarbe des Glases, so erscheint er weiss. Gold sieht, durch ein blaues Glas gesehen, weiss aus, eine Silbermünze aber blau.

**Versuche.**

Flammenfärbungen. In eine Weingeistflamme halte man das zu einer Öse umgebogene Ende eines Platindrathes, das man vorher befeuchtet in gepulverten Kalisalpeter eingetaucht hatte. Die Flamme nimmt alsdann eine blass-violette Färbung an. In gleicher Weise verfahre man mit Kochsalz, welches die Flamme hochgelb färbt; Chlorbaryum oder Borsäure färben sie grün, salpetersaurer Strontian schön karminrot.

**Fragen.**

1. Warum können wir beim Kerzenlicht Grün von Blau nur sehr schwierig unterscheiden? — Antw. Da das Kerzenlicht nicht weiss, sondern gelblich ist, mischt sich das Gelbe des Lichtes dem Blau bei und nähert es dem Grün.

2. Warum werden farbige Körper in pulverisierter Gestalt heller? — Antw. Die vom Pulver eingeschlossene Luft absorbiert das Licht und macht den Körper undurchsichtig-weisslich.

---

## 16. Das Mikroskop.

**§ 56.** Wie wird das Licht durch Glaslinsen gebrochen? Linsen nennt man geschliffene Gläser mit ein oder zwei gekrümmten Flächen; ist die Krümmung konkav, so heissen sie Zerstreuungslinsen, ist sie konvex, Sammellinsen. Wir unterscheiden, je nachdem beide Flächen gekrümmt oder die eine von ihnen eben ist, bikonkave, bikonvexe, plankonkave und plan-

konvexe Linsen. Die Sammellinsen sind stets in der Mitte am dicksten, die Zerstreuungslinsen daselbst am dünnsten.

Das Licht wird beim Durchgang durch eine Linse gebrochen; nur der Achsenstrahl, d. h. der in der Krümmungsachse auffallende Lichtstrahl geht ungebrochen durch. Die Brechung durch Sammellinsen ist eine durchaus verschiedene von der durch Zerstreuungslinsen, jene machen die Lichtstrahlen konvergierend, letztere divergierend.

1. *Sammellinsen brechen die Lichtstrahlen nach der Achse zu.*
2. *Zerstreuungslinsen brechen das Licht von der Achse ab.*

Betrachten wir zuerst die Lichtbrechung durch die Sammellinsen, so sehen wir die Strahlen hinter der Linse sich nach der Achse zu vereinigen — die Linse sammelt die Strahlen.

Strahlen, welche parallel mit der Achse einfallen, vereinigen sich hinter der Linse in einem Punkte, dem Brennpunkte (Focus, F in Fig. 27). Derselbe befindet sich in der Achse selbst und fällt bei bikonvexen Linsen beiderseits mit dem Krümmungscentrum zusammen. Die Entfernung des Brennpunktes hinter der Linse wird die Brennweite genannt und beträgt bei bikonvexen Linsen nahezu den einfachen, bei plankonvexen Linsen den doppelten Krümmungshalbmesser.

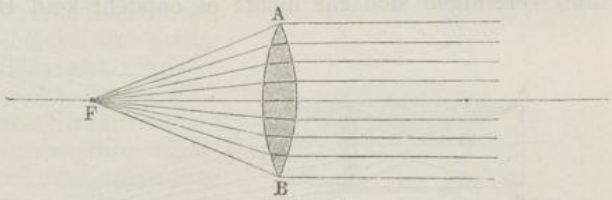

Fig. 27.

Beim Durchgang der Strahlen durch Zerstreuungslinsen (Fig. 28) werden sie hinter den Linsen auseinanderweichend. Parallel mit der Achse einfallendes Licht wird derartig divergent, dass seine Verlängerung nach rückwärts einen Punkt (F) ergiebt, von welchem es auszugehen scheint, den sog. negativen Brennpunkt.

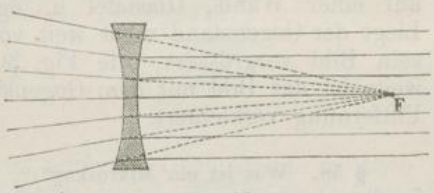

Fig. 28.

**§ 57. Wie erblickt man einen Gegenstand durch eine Sammellinse?** Das Bild eines durch eine Sammellinse gesehenen Gegenstandes hängt ganz von seiner Entfernung von der Linse ab. Es lassen sich hier drei Fälle unterscheiden:

1. Der Gegenstand befindet sich zwischen Brennpunkt und Linse, in der Brennweite (Fig. 29 AB); seine

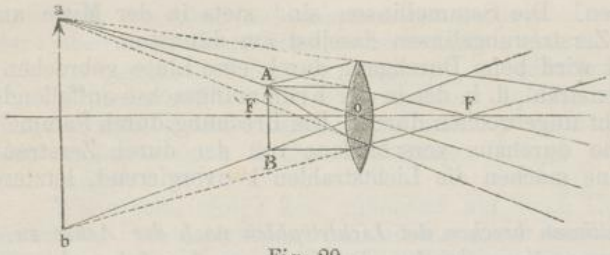


Fig. 29.

sehr divergierend auf die Linse fallenden Strahlen werden weniger divergent; ihre Verlängerungen nach rückwärts konstruieren ein weiter entferntes Bild (a b), welches den Gegenstand vergrössert, im übrigen aber in seiner natürlichen Stellung erscheinen lässt.

2. Der Gegenstand liegt im Brennpunkt der Linse; alsdann werden seine Strahlen durch die Linse parallel (Fig. 27) und vereinigen sich gar nicht; es entsteht kein Bild.

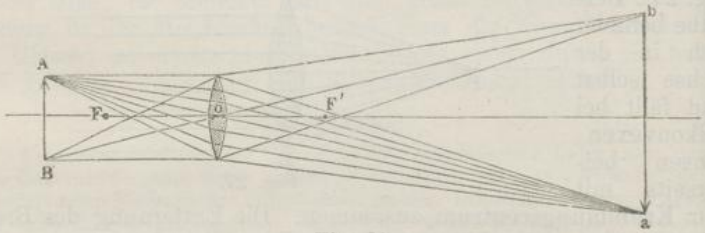


Fig. 30.

3. Der Gegenstand befindet sich vor dem Brennpunkte (Fig. 30 AB); die Strahlen vereinigen sich hinter der Linse zu einem Bilde (ab), welches umgekehrt erscheint und auf einer Wand, Glastafel u. dgl. aufgefangen werden kann. Liegt der Gegenstand nicht weit vom Brennpunkt entfernt, so ist sein Bild vergrössert, wie Fig. 30 zeigt; bei doppelter Brennweite ist das Bild mit dem Gegenstande gleichgross, bei weiterer Entfernung verkleinert.

**§ 58.** Was ist ein Mikroskop*)? Wir unterscheiden ein einfaches und ein zusammengesetztes Mikroskop. Das erstere, auch Lupe genannt, ist eine Sammellinse, die einen Gegenstand zwei- bis dreimal vergrössert, wenn er sich in ihrer Brennweite befindet.

Das zusammengesetzte Mikroskop erlaubt eine bedeutend stärkere, oft vielhundertfache Vergrösserung. Es besteht aus

*) Von μικρός (klein) und σκοπέω sehen. — Das erste Mikroskop wurde 1646 von Galilei konstruiert.

zwei Teilen, der Objektivlinse und der Okularlinse. Beide sind bikonvexe Sammellinsen, von denen die erstere (Fig. 31 ab) das Objekt in ihr Gesichtsfeld fasst, während die Okularlinse (cd) dazu dient, das von jener entworfene Bild für das Auge des Beschauers nochmals zu vergrössern. Man stellt die Objektivlinse so ein, dass der Gegenstand (rs) etwas über den Brennpunkt hinaus zu liegen kommt; dann entwirft jene ein umgekehrtes, vergrössertes Bild (SR), welches in die Brennweite der Okularlinse (cd) fällt und durch diese (als Lupe) vergrössert (S'R') geschaut wird. Wir erblicken daher den Gegenstand vergrössert, aber umgekehrt. Objektiv und Okular sind durch Röhren fest mit einander verbunden. Bei vollständigeren Instrumenten ist zwischen beiden eine dritte Sammellinse, die Kollektivlinse, eingeschaltet, welche die im Objektiv gebrochenen Strahlen konvergenter macht, das Bild näher bringt und dadurch die Entfernung des Okulars verringert.

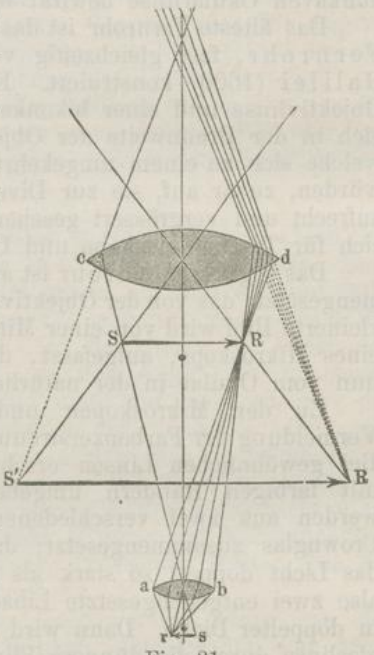

Fig. 31.

Unter der Platte, auf welcher der Gegenstand liegt, befindet sich ein Spiegel, um das Objekt von unten zu beleuchten. Man bringt den zu vergrössernden Gegenstand mit etwas Wasser auf ein Glasplättchen, deckt ein zweites darauf und betrachtet ihn bei durchgehendem Lichte, wenn er durchsichtig ist, andernfalls bei auffallendem Lichte.

**§ 59.** Das Fernrohr. Um weit entfernte Gegenstände deutlich sichtbar zu machen, hat man Fernrohre, Teleskope, aus optischen Linsen konstruiert, welche in ähnlicher Weise wie beim Mikroskop wirken, nur mit dem Unterschiede, dass in den Fällen, wofür man das Fernrohr gebraucht, das Objekt weit hinter dem Brennpunkt der Objektivlinse sich befindet, daher ein verkleinertes, umgekehrtes Bild des Gegenstandes durch die bikonvexe Objektivlinse entworfen wird, welches nun durch die Okularlinse zur Vergrösserung und näheren Betrachtung gelangt. Wir finden also beim Fernrohr die nämlichen Teile wie beim Mikroskop,

jedoch mit verstellbarem Okular, dessen Entfernung von der Objektivlinse sich nach der Lage des von dem entfernten Gegenstande entworfenen Bilde richten muss.

Ein aus zwei bikonvexen Linsen bestehendes Fernrohr lässt, wie das Mikroskop, die Gegenstände verkehrt erscheinen und eignet sich daher nur als astronomisches Fernrohr. Für die irdischen Gegenstände ist eine Umkehrung des Bildes nötig, die bald durch Einschaltung einer dritten bikonvexen Linse zwischen Objektiv- und Okularlinse, bald durch Anwendung einer konkaven Okularlinse bewirkt wird.

Das älteste Fernrohr ist das holländische oder Galileische Fernrohr, fast gleichzeitig von holländischen Physikern und Galilei (1609) konstruiert. Es besteht aus einer bikonvexen Objektivlinse und einer bikonkaven Okularlinse; letztere befindet sich in der Brennweite der Objektivlinse und fängt die Strahlen, welche sich zu einem umgekehrten verkleinerten Bilde vereinigen würden, zuvor auf, sie zur Divergenz bringend, so dass das Bild aufrecht und vergrössert gesehen wird. Dieses Instrument eignet sich für Taschenteleskope und Operngucker.

Das sog. Erdfernrohr ist aus drei bikonvexen Linsen zusammengesetzt; das von der Objektivlinse entworfene, umgekehrte, verkleinerte Bild wird von einer Mittellinse, ähnlich wie vom Objektiv eines Mikroskops, aufgefasst, dadurch wieder umgewendet und nun vom Okular in der natürlichen Lage erblickt.

Zu den Mikroskopen und Teleskopen benutzt man zur Vermeidung der Farbenzerstreuung sog. achromatische Linsen. Bei gewöhnlichen Linsen erscheinen die gesehenen Gegenstände mit farbigen Rändern umgeben. Die achromatischen Linsen werden aus zwei verschiedenen Glassorten, aus Flintglas und Crownglas zusammengesetzt; das erstere Glas zerstreut nämlich das Licht doppelt so stark als das Crownglas. Man kombiniert also zwei entgegengesetzte Linsen, diejenige aus Crownglas aber in doppelter Dicke. Dann wird die Farbenzerstreuung der Crownglaslinse durch die dünnere Flintglaslinse gänzlich ausgeglichen, ihre Strahlenbrechung zwar geschwächt, aber nicht aufgehoben.

## Vom Sehen.

**§ 60. Das Auge.** Das Auge ist eine aus mehreren Häuten gebildete, mit einer gallertigen Flüssigkeit gefüllte Kapsel. Die äusserste Haut (Hornhaut) ist am vorderen Teile durchsichtig und lässt daselbst die farbige, sehr reizbare Regenbogenhaut (Iris) durchblicken, welche in der Mitte ein rundes Loch, die Pupille, hat. Durch Zusammenziehen der Regenbogenhaut er-

weitert sich die Pupille, mehr Licht ins Auge einlassend; bei zu starker Beleuchtung verengt sich die Pupille, indem die Regenbogenhaut etwas erschlafft.

Dicht hinter der Pupille liegt ein kleiner, linsenförmiger, durchsichtiger Körper, die Krystalllinse, welche das eindringende Licht ganz analog einer Glaslinse bricht. Im Innern des Auges ruht auf der Hornhaut zunächst eine mit schwarzem Pigment versehene Schicht (Aderhaut), welche jede Lichtreflexion verhindert und das Auge zu einer dunklen Kammer macht; auf ihr breitet sich der von hinten eintretende Sehnerv als Netzhaut aus und empfängt das Bild der äusseren Gegenstände. Die Augenhöhlung ist erfüllt mit einer durchsichtigen Gallerte (Glaskörper), welche sich ebenfalls an der Brechung des Lichtes beteiligt.

Die Hornhaut sowohl wie die Krystalllinse wirken als Sammellinsen und werfen ein verkleinertes, umgekehrtes Bild der gesehenen Gegenstände auf die Netzhaut, welche den Eindruck desselben dem Gehirn übermittelt.

**§ 61.** Wann findet deutliches Sehen statt? Will man einen Gegenstand deutlich sehen, so muss er sich in einer gewissen Entfernung befinden, sodass sein Bild genau auf die Netzhaut fällt. Diese Entfernung wird die Sehweite genannt und beträgt für ein gesundes Auge 30—40 *ccm.* Ist sie kürzer, so leidet der Mensch an Kurzsichtigkeit, da das Auge eine zu starke Brechung verursacht und das Bild nicht auf, sondern vor die Netzhaut wirft. Solche Leute bedienen sich konkaver Linsen als Brillen, um die Konvergenz der Lichtstrahlen zu mindern. — Bei zu grosser Sehweite leidet man an Weitsichtigkeit, da die Augenhaut durch eine zu schwache Wölbung das Licht nicht stark genug bricht, sodass das Bild hinter die Netzhaut fällt. Solche Leute bedienen sich konvexer Linsen als Brillen, um die Konvergenz der Strahlen zu vermehren.

Die scheinbare Grösse eines Gegenstandes hängt von der Sehweite ab. Man nennt den Winkel, welchen die vom Auge nach den Endpunkten des Gegenstandes gezogenen Linien bilden, den Sehwinkel. Je weiter der Gegenstand entfernt ist, um so kleiner wird offenbar dieser Winkel; er giebt das Mass der scheinbaren Grösse an.

**Versuche.**

Brechung durch eine Lupe. 1. Man lege eine Lupe auf ein beschriebenes Blatt Papier und hebe sie langsam senkrecht in die Höhe; anfänglich sieht man die Schrift in natürlicher Lage, aber vergrössert (solange sie sich noch in der Brennweite befindet); in einer gewissen Entfernung verschwindet sie aber vollständig (wenn sie gerade im Brennpunkte liegt), kehrt dann bei zunehmender Entfernung der Lupe vergrössert, aber in umgekehrter Lage, wieder, bis sie endlich immer kleiner

wird, in der umgekehrten Lage verharrend. Dabei hat man aber stetig das Auge bedeutend über die Lupe zu erheben.

2. In einem verfinsterten Zimmer halte man eine Lupe seitlich neben eine Kerzenflamme und bewege sie langsam von ihr weg, mit einem Blatt dunkelfarbigem Papier das Flammenbild auffangend. Anfangs entsteht kein Bild, sondern nur ein erleuchteter Kreis, bis endlich die umgekehrte Flamme auf dem Papier sichtbar wird, zuerst vergrössert, bei zunehmender Entfernung sich verkleinernd. Auch hier hat man das Papier beim Fortrücken der Lupe in grössere Entfernung zu bringen.

3. Man halte eine Lupe in direktes Sonnenlicht und hinter ihr einen dunklen Hintergrund; man findet ihren Brennpunkt, wenn ein kleines, kräftiges Sonnenbild auf dem Hintergrunde erscheint.

**Fragen.**

1. Um wieviel vergrössert eine Lupe, wenn man sie dicht an das Auge hält und den Gegenstand in die Nähe des Brennpunktes bringt (wo die Vergrösserung am stärksten ist)? — Antw. Da das Auge das Bild in seiner Sehweite erblickt, so verhält sich der Gegenstand zu seinem Bilde, wie die Brennweite der Lupe zur Sehweite des Auges. Die Vergrösserung ist gleich dem Quotient aus der Brennweite in die Sehweite.

2. In welchem Verhältnisse steht die Vergrösserung zweier Lupen von verschiedener Krümmung? — Antw. Im umgekehrten Verhältnisse ihrer Brennweiten, resp. ihrer Krümmungshalbmesser. Eine Linse von halb so grossem Krümmungshalbmesser vergrössert um das Doppelte.

---

## E. Elektrische Erscheinungen.

### 17. Die Reibungs-Elektrizität.

**§ 62.** Was ist die Elektrizität? Die Elektrizität ist eine an der Oberfläche der Körper haftende Kraft, welche durch gewisse Ursachen erregt wird und sich in Erscheinungen der Anziehung und Abstossung äussert. Franklin erklärte diese Erscheinungen aus dem örtlichen Mangel resp. Überschuss einer einzigen, unwägbaren elektrischen Materie (unitäre Theorie). Jetzt nimmt man aber zwei entgegengesetzte Elektrizitäten an, eine positive (+ E) und eine negative (— E).*) Nach dieser dualistischen Theorie (von Symmer) sind beide Elektrizitäten im gewöhnlichen Zustande der Körper gegenseitig gebunden (o E = ± E), in erregtem, elektrischem Zustande aber frei. Im letzteren Falle nennt man die Körper elektrisch geladen.

*1. Gleichnamige Elektrizitäten stossen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an.*

---

*) Die beiden Elektrizitäten lassen sich unterscheiden durch die sog. Lichtenbergschen Figuren, welche entstehen, wenn man eine elektrisch geladene Fläche mit einem leichten Pulver (Bärlappsamen, Schwefelblumen) bestreut; + E ruft eine sternförmig strahlige Figur, — E konzentrische Ringe hervor.

Alle elektrischen Erscheinungen beruhen auf dem Bestreben freier ungleichnamiger Elektrizitäten, sich zu ± E zu vereinigen. Daher die Anziehung von + E und — E, die Abstossung von + E und + E oder von — E und — E.

*2. Die Vereinigung entgegengesetzter Elektrizitäten geschieht durch einen Funken, wenn die Leitung unterbrochen ist.*

Die freie Elektrizität strömt leicht aus spitzen, dagegen schwer aus stumpfen, abgerundeten Enden elektrisch geladener Körper; letztere geben daher Funken.

**§ 63.** Wie entsteht freie Elektrizität? Fast jede körperliche Aktion ist von einer grösseren oder geringeren elektrischen Erregung begleitet. Vorzugsweise wird aber freie Elektrizität erzeugt:

1. durch Reibung (zweier Nichtleiter),
2. durch Berührung (zweier Leiter mit einem Zwischenleiter).

Beide Methoden liefern aber die Elektrizität in verschiedener Beschaffenheit, die Reibung erzeugt Elektrizität von hoher Spannung, die Berührung einen elektrischen Strom von kontinuierlicher Dauer, aber geringer Spannung.

Bei jeder Elektrizitätserregung spaltet sich ± E beider Körper, die — E tritt in den einen, die + E in den andern über, so dass wir nun einen negativ und einen positiv geladenen Körper haben.

Die Elektrizität wurde zuerst als Reibungselektrizität beim Reiben des Bernsteins mit Wolle u. dgl. erkannt und führt vom Bernstein (griechisch ἤλεκτρον) ihren Namen. Bernstein, Siegellack und andere Harze laden sich beim Reiben mit — E, die man deshalb auch Harzelektrizität genannt hat; geriebenes Glas nimmt + E, sog. Glaselektrizität, an.

**§ 64.** Elektrische Leitung. Gute Leiter der Elektrizität laden sich bei der Berührung mit einem elektrisierten Körper sofort über ihre ganze Oberfläche, verlieren aber auch ihre freie Elektrizität bei der Berührung mit einem ungeladenen Leiter vollständig. Sämtliche Metalle, dichte Kohle, Wasser und alle feuchten Materien (feuchte Erde, der menschliche Körper, feuchte Luft) leiten die Elektrizität.

Nichtleiter nehmen bei Berührung mit einem geladenen Körper nur an der Berührungsstelle eine geringe Menge Elektrizität an, verlieren aber dem entsprechend im elektrisierten Zustande ihre Elektrizitäten auch nur sehr langsam. Hierhin gehören Harz, Glas, Seide, Wolle, Haare, Schwefel, trockne Luft. Man nennt sie Isolatoren, weil man einen geladenen Körper durch Umgebung mit Nichtleitern im elektrischen Zustande dauernd erhalten kann. Zum Isolieren gebraucht man Glas- oder Porzellanfüsse, seidene Schnüre u. dgl. Nichtleiter bedürfen im elektrisierten Zustande keiner Isolierung.

Zwischen den Leitern und Nichtleitern halten die Halbleiter die Mitte, z. B. trockne Erde, Papier, Stein.

Die Geschwindigkeit der Elektrizität in einem guten Leiter beträgt 60000 Meilen in der Sekunde, die grösste uns bekannte Geschwindigkeit.

**§ 65.** Elektrische Verteilung und Mitteilung. Nähert man einen isolierten Metallstab einem elektrisch geladenen Leiter, z. B. dem positiv geladenen Konduktor der Elektrisiermaschine, so spaltet sich $\pm$ E im Metallstabe derartig, dass die gleichnamige positive Elektrizität nach dem entferntesten Ende des Stabes abgestossen, die ungleichnamige negative Elektrizität nach der dem Konduktor genäherten Seite des Stabes angezogen wird. Man nennt diesen Vorgang elektrische Verteilung (Influenz). Die angezogene entgegengesetzte Elektrizität wird vom Konduktor gebunden gehalten, die gleichnamige dagegen äussert sich frei. Daraus folgt, dass in der Nähe eines geladenen Leiters ein zweiter Leiter mit gleichnamiger Elektrizität geladen auftritt. Entfernt man den Stab (isoliert), so hört die Verteilung auf, und jener wird durch Vereinigung seiner Elektrizitäten wieder unelektrisch.

Berührt man aber den Metallstab, so lange er sich in der „elektrischen Atmosphäre" des Konduktors befindet, mit der Hand, so entziehen wir ihm die gleichnamige (positive) Elektrizität, worauf er, vom Konduktor entfernt, nun mit freier ungleichnamiger (negativer) Elektrizität geladen auftritt. Bedingung dafür ist, dass wir die Berührung aufheben, so lange sich noch der Stab in der Nähe des Konduktors befindet. Hieraus folgt:

*1. Man ladet einen isolierten Leiter mit der ungleichnamigen Elektrizität, wenn man ihn in der Nähe eines geladenen Leiters berührt und nach Aufhebung der Berührung wieder entfernt.*

Bringt man den Metallstab aber noch näher an den (positiv) geladenen Konduktor, so gelangt er in dessen „Schlagweite", worin durch Überspringen eines elektrischen Funkens die Elektrizität des Konduktors mit der ungleichnamigen (negativen) des Stabes sich vereinigt, sodass in letzterem die gleichnamige (positive) Elektrizität übrig bleibt. Hieraus folgt:

*2. Wir laden durch Mitteilung einen Körper mit der gleichnamigen Elektrizität.*

Die Grösse der Schlagweite richtet sich nach der Stärke der elektrischen Ladung; bei schwacher Ladung ist Berührung erforderlich.

**§ 66.** Was ist das Gewitter? Die Gewitterwolken sind mit freier Elektrizität geladen und wirken auf den unter ihnen befindlichen Erdboden verteilend ein, sodass die ihnen entgegengesetzte Elek-

trizität an der Oberfläche desselben sich ansammelt. Sobald ein irdischer Gegenstand in die Schlagweite der Wetterwolken gelangt,

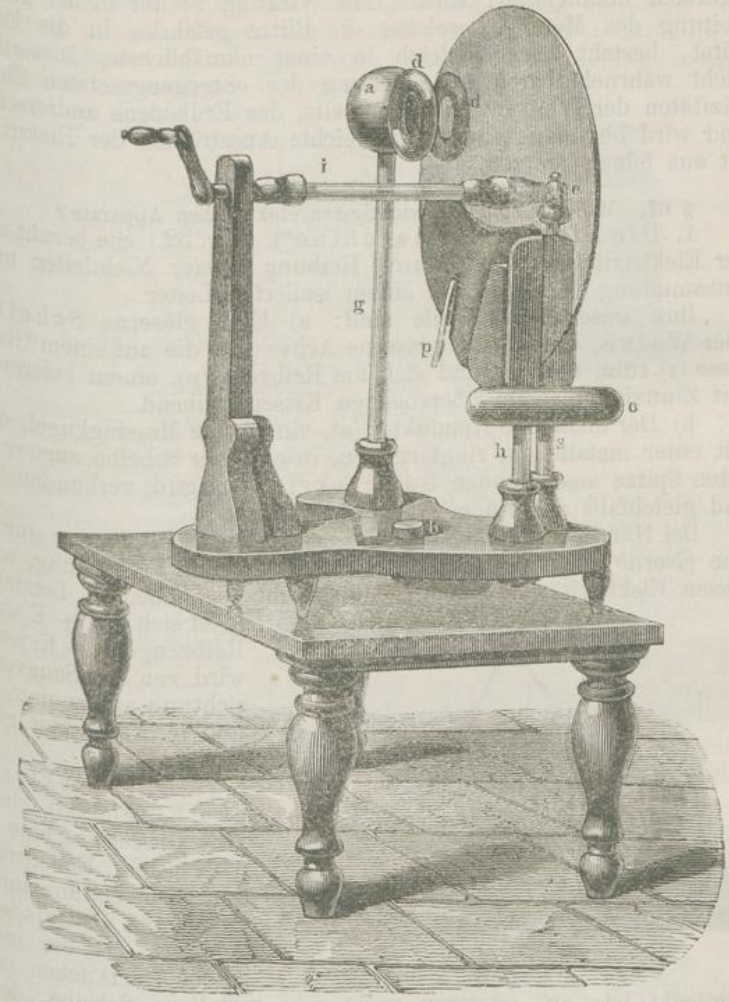


Fig. 32.

tritt durch einen Blitz eine örtliche Entladung und Vereinigung von + E und — E ein. Der Blitz ist also ein elektrischer Funken, der durch die hohe Erhitzung der Luftschichten eine Erschütterung derselben erzeugt, deren Ton und Echo als Donner gehört wird.

Zur Ableitung des Blitzes verwendet man eiserne Drähte mit vergoldeter Spitze, sog. Blitzableiter, die in das feuchte Erdreich hinabgeführt sind. Ihre Wirkung beruht in der guten Leitung des Metalles, welches die Blitze gefahrlos in die Erde leitet, besteht aber zugleich in einer allmählichen, äusserlich nicht wahrnehmbaren Ausgleichung der entgegengesetzten Elektrizitäten der Wetterwolken einerseits, des Erdbodens andrerseits, und wird begünstigt durch das leichte Ausströmen der Elektrizität aus feinen Spitzen.

**§ 67.** Welches sind die wichtigsten elektrischen Apparate?

1. Die Elektrisiermaschine*). (Fig. 32.) Sie beruht auf der Elektrizitätserregung durch Reibung zweier Nichtleiter und Ansammlung derselben auf einem isolierten Leiter.

Ihre wesentlichen Teile sind: a) Eine gläserne Scheibe oder Walze, durch eine gläserne Achse (ei), die auf einem Glasfusse (s) ruht, drehbar und sich am Reibzeug (p), einem ledernen, mit Zinnzinkamalgam überzogenen Kissen, reibend.

b) Der metallene Konduktor (a), eine hohle Messingkugel, die mit einer metallenen, ringförmigen, in eine der Scheibe zugewendeten Spitze auslaufenden Saugvorrichtung (d) verbunden ist und gleichfalls auf einem Glasfusse (g) ruht.

Bei Handhabung der Maschine setzt man das Reibzeug durch eine eiserne Kette mit dem Erdboden in leitende Verbindung, um dessen Elektrizität abzuleiten, und dreht die Scheibe. Letztere ladet sich mit + E, das Reibzeug mit — E; jene wird von der Saugvorrichtung aufgenommen und im Konduktor gesammelt.

Fig. 33.

2. Das Elektrophor**) (Fig. 33), eine Elektrisiermaschine einfachster Konstruktion, bestehend aus einer metallenen Platte oder Schüssel (c), die mit einem Harzkuchen (a) überdeckt ist; auf letzteren passt eine metallene Scheibe, der Deckel (b), mit gläsernem Isoliergriff oder an drei seidenen Schnüren aufgehangen.

*) Die erste Elektrisiermaschine wurde von Otto von Guerike, dem Erfinder der Luftpumpe konstruiert (1670).

**) Elektrizitätsträger, von ἤλεκτρον und φορός (tragend).

Das Elektrophor wird geladen, indem man den Harzkuchen mit einem Pelze peitscht; er wird dabei negativ elektrisch. Setzt man dann den Deckel auf und hebt ihn nach einmaliger Berührung mit dem Finger wieder isoliert ab, so ist er durch „Verteilung“ positiv elektrisch geworden. Beim Annähern an die negativ elektrische, metallene Unterlage (Schüssel) springt ein Funken über.

Fig. 34.

3. Die Verstärkungsflasche, auch Leidener oder Kleistsche Flasche*) genannt. (Fig. 34.) Ein gläsernes Gefäss, aussen und innen bis zu $^2/_3$ Höhe mit Stanniol belegt, sodass der obere Rand frei bleibt. Die Öffnung ist mit einem Metalldraht versehen, der bis zum inneren Belag führt und oben in einen Knopf endigt.

Diese Flasche dient zur Ansammlung grösserer Elektrizitätsmengen. Man fasst den äusseren Belag mit der Hand an und nähert den Knopf einem geladenen Konduktor oder dem Deckel des Elektrophors, wobei ein Funken überspringt. Dadurch, dass der äussere Belag mit dem Erdboden in leitende Verbindung gesetzt wurde, vermag die in den innern Belag übergeführte Elektrizität eine gleiche Menge entgegengesetzter Elektrizität am äusseren Belag anzusammeln und zu binden. Dadurch tritt eine elektrische Spannung zwischen beiden Lagen ein, welche bei zu starker Ladung die Flasche zertrümmern kann.

Man entladet die geladene Flasche durch gleichzeitiges Berühren des äusseren Überzugs und des Knopfes; dabei nimmt man ein Zucken der Muskeln wahr. Bilden mehrere Personen eine Reihe, deren erstes Glied den äussern Belag, das letzte den Knopf berührt, so geht die Entladung mit der Muskelerschütterung durch sämtliche Glieder.

4. Das Elektroskop (Elektrometer), zur Prüfung eines Körpers auf freie Elektrizität. Das gebräuchlichste Instrument ist das Goldblattelektroskop, zwei nebeneinander an einer Metallplatte aufgehängte Goldblättchen, zum Schutze in einem Glase eingeschlossen. Wird die Platte einerseits mit einer geriebenen Siegellackstange, andrerseits einmal mit dem Finger berührt, so wird die — E abgeleitet, die Goldblättchen behalten ihre + E und weichen, nach Aufhebung der Berührung, der Abstossung gleichnamiger Elektrizitäten folgend, auseinander. Nähert man nun der Platte einen negativ geladenen Körper, so fallen die

*) Sie wurde 1745 vom Domherrn v. Kleist erfunden und darauf von Muschenbroek zu Leiden angewendet.

Blättchen zusammen, da ihre + E von der — E des genäherten Körpers angezogen und in der Platte angesammelt wird. Besitzt der genäherte Körper + E, so weichen die Blättchen infolge vermehrter Abstossung noch weiter auseinander. Ein nicht elektrischer Körper wirkt auf die spreizenden Blättchen kaum ein.

Statt der Goldblättchen wendet man auch Korkkügelchen an.

**Versuche.**

1. Elektrische Anziehung und Abstossung. Man reibe eine Siegellackstange eine kurze Weile mit einem wollenen Lappen und halte sie dicht über ein Häufchen kleinster Papierschnitzel: dieselben werden lebhaft angezogen und nach einigen Momenten wieder abgestossen werden. Den Versuch wiederhole man mit einem geriebenen Glasstabe; er wird das Nämliche ergeben.

Ein kleines, aus Kork (besser aus Hollundermark) geschnittenes rundes Kügelchen hänge man an einem Zwirnfaden auf (elektrisches Pendel) und nähere ihm eine geriebene Siegellackstange; es wird lebhaft angezogen. Eine geriebene Glasstange bewirkt ein Gleiches. Hält man zur einen Seite die Siegellack-, zur anderen die Glasstange, so kann man das Kügelchen abwechselnd hin und her pendeln lassen.

Die Siegellackstange, noch mehr aber die Glasstange, verlieren, zumal bei feuchter Luft, ihre Elektrizität sehr schnell.

2. Elektroskop. Man wähle ein kurzhalsiges Kochfläschchen oder ein Opodeldokglas, dessen Öffnung man mit einem Kork verschliesst, durch welchen man einen mehrzölligen Messingdraht steckt. Der letztere muss aber zuvor mit Schellack zur Isolierung gegen den Kork dick überzogen werden. Das obere Ende des Drahtes versehe man mit einer kleinen glattgeschnittenen Bleikugel oder löte ein kleines Messingplättchen auf; das untere Ende werde plattgeschlagen und mittelst Gummilösung zwei Streifen echtes Blattgold angeklebt. Vorsichtig, unter Vermeidung jeden Luftzuges, bringe man schliesslich an dem so behandelten Korkstopfen die Goldblättchen in das völlig ausgetrocknete Glas.

Berührt man den Knopf (die Platte) des Elektroskops mit einer geriebenen Siegellackstange (— E), so weichen die Blättchen auseinander, infolge Ansammlung von — E, während die + E im Knopfe von der — E der Stange gebunden gehalten wird. Nach Entfernung des Siegellacks vereinigen sich die beiden Elektrizitäten im Elektroskop wieder, und dessen Blättchen fallen zusammen.

Berührt man den Knopf mit der geriebenen Siegellackstange und zugleich mit dem Finger, so leitet man die gleichnamige — E ab; wird der Finger weggezogen und dann erst der Siegellack entfernt, so bleibt das Elektroskop mit + E geladen, diese wird frei und treibt (beim Entfernen der Stange) die Goldblättchen auseinander. In dieser Weise erteilt man dem Elektroskop die entgegengesetzte, nämlich + E.

Nähert man einem so geladenen Elektroskope einen gleichnamig (positiv) elektrischen Körper, z. B. eine geriebene Glasstange, so weichen die Blättchen noch weiter auseinander; ein ungleichnamig (negativ) elektrisierter Körper, z. B. eine geriebene Siegellackstange (Schwefel, Harz), bewirkt beim Annähern ein Zusammenfallen der Blättchen. Bei sehr starker Ladung kann im letzteren Falle ein abermaliges Auseinanderfahren eintreten, wenn der elektrische Körper zu schnell oder zu nahe herangebracht wird.

3. Elektrophor. Eine flache, kreisrunde Blechschüssel (Form) von etwa 20 *cm* Durchmesser und 1,5—2 *cm* hohem Rande giesse man mit einer Harzmasse aus gleichen Teilen Kolophonium und schwarzem Pech nahezu voll. Es ist dabei vorzugsweise darauf zu achten, dass die Form ganz horizontal stehe und nach dem Erkalten die Harzfläche völlig eben sei. (Etwa entstehende Blasen entferne man durch Darüberhalten eines heissen Eisens.) Auf die letztere passe man eine Blechscheibe von etwas kleinerem Durchmesser, deren Rand um einen Draht herumgebogen ist. Man löte auf diesen Deckel entweder einen Glasstab mit Siegellack, oder hänge ihn an drei seidenen Schnüren auf, die oben an seinem Rande befestigt und durch einen gemeinsamen Knoten verbunden sind. Vor allem sei der Deckel eben.

Man ladet den Elektrophor durch Peitschen des Kuchens mit einem Fuchschwanz oder Katzenfell, wobei weniger stark, als schnell geschlagen werde. Bei trokener Witterung behält er seine Ladung tagelang.

Setzt man den Deckel auf, berührt ihn kurz mit dem Finger und hebt ihn ab, so hat er freie (entgegengesetzte) + E. Nähert man ihn dem Rande der Form oder dem Fingerknöchel, so springt ein kleiner Funke über.

4. Leidener Flasche. Man wähle ein mittelgrosses sog. Zuckerglas (Einmachglas), beklebe es innen und aussen bis zu $^2/_3$ Höhe, sowie auch den innern Boden mit Stanniol, den man in Streifen geschnitten und mit Stärkekleister bestrichen hat; den oberen Teil des Glases überziehe man mit einer Schellacklösung. Dann löte man auf einen ziemlich dicken Messingdraht (etwa $^1/_3$ länger, als die Höhe des Glases beträgt) eine glattgeschnittene Bleikugel, besser noch einen Messingknopf, stecke ihn durch einen Kork oder eine dicke Pappscheibe, welche auf die Öffnung des Glases passt, und bringe ihn am untern Ende durch ein kurzes metallenes Kettchen mit dem Boden des Gefässes in leitende Verbindung. Schliesslich befestige man den Kork oder die Pappscheibe mit Siegellack am Glasrande und überziehe sie mit Schellackfirnis.

Zum Laden der Flasche genügen 50—100 Funken aus dem Elektrophordeckel. Zur Entladung der Flasche dient der sog. Auslader, in einfachster Konstruktion ein gebogener Messingdraht mit zwei Messingknöpfen am Ende, in der Mitte mit einem isolierenden Glas- oder Holzgriff. Legt man den einen Knopf an die äussere Belegung und nähert dann den andern dem Knopfe der Flasche, so schlägt ein Funke über, der die Flasche entladet. Bringt man zuvor zwischen den äussern Belag und den Auslader ein Stückchen Briefpapier, so findet man dasselbe vom Funken durchbohrt.

## Fragen.

1. Weshalb laden sich zwei Metallstücke beim Reiben nicht mit Elektrizität? — Antw. Weil sie, als gute Leiter, letztere sofort ableiten.

2. Weshalb ruhen bei der Elektrisiermaschine Konduktor und Scheibe auf Glasfüssen? — Antw. Um sie zu isolieren, damit sie ihre Elektrizität nicht alsbald wieder verlieren.

3. Weshalb muss beim Laden der Deckel des Elektrophors, nachdem er auf den Harzkuchen gesetzt ist, berührt werden? — Antw. Die Berührung leitet die — E des Deckels ab; fände sie nicht statt, so würde der Deckel nach dem Abheben wieder unelektrisch werden.

4. Welchen Gegenständen folgt der Blitz vorzugsweise? — Antw. Zunächst den hervorragenden Spitzen, z. B. Bäumen, Türmen u. dgl. Sodann guten Leitern, z. B. Metallstangen, auch Wassermassen.

## 18. Der Galvanismus.*)

**§ 68.** Was ist eine galvanische Kette? Wenn zwei Metalle sich auf der einen Seite direkt berühren, auf der andern Seite in Wasser eintauchen oder auf eine angefeuchtete Pappscheibe gelegt sind, so wird die ± E der beiden Metalle zerteilt, freie + E geht in das eine derselben, — E in das andere über. Diese Zerteilung der ± E geht aus von der Berührung der Leiter mit dem feuchten Zwischenleiter; es findet zwar darauf an der direkten Berührungsstelle der Metalle ein Ausgleich statt, da aber die Zerteilung eine andauernde ist, so entstehen kontinuierliche elektrische Ströme, ein positiver und ein negativer, von entgegengesetzter Richtung.

Die Verbindung der Metalle — Elektromotoren — mit dem feuchten Zwischenleiter heisst ein galvanisches Element oder eine einfache galvanische Kette, die erregte Elektrizität ein galvanischer Strom.

Wird ein Kupferstreifen an einen Zinkstreifen gelötet und die beiden umgebogenen Enden in Wasser getaucht, welches mit einigen Tropfen Säure oder etwas Kochsalz versetzt ist, so geht die + E an der Lötstelle vom Kupfer zum Zink; die — E beschreibt den umgekehrten Weg, vom Zink zum Kupfer. Man sagt: »+ E geht mit dem Alphabet d. i. von K (Kupfer) zu Z (Zink).«

Die galvanische Elektrizität, welche bei Berührung der Elektromotoren mit dem feuchten Zwischenleiter entsteht, unterscheidet sich von der mittelst Reibung erzeugten durch geringere Spannung, aber kontinuierliche Dauer.

Indem man den Zinkstreifen einer Kette mit dem Kupferstreifen einer anderen Kette in ein Glas mit Wasser eintaucht, lässt sich eine grössere Anzahl von Ketten zu einer galvanischen Batterie verbinden. Die Endglieder derselben versieht man mit Metalldrähten, den sog. Schliessungsdrähten. Werden die letzteren miteinander direkt oder durch einen feuchten Zwischenleiter verbunden, so schliesst man die Batterie, und die elektrischen Ströme treten auf; trennt man die Drähte, so öffnet sich die Batterie, und die elektrischen Ströme verschwinden. Die Endpunkte der beiden Schliessungsdrähte heissen die Pole, und

*) Galvanismus, galvanische Elektrizität, abgeleitet von Galvani, Professor der Medizin in Bologna. Derselbe fand 1789, dass präparierte Froschschenkel, die mittelst kupferner Haken an einem eisernen Geländer hingen, in Zuckungen gerieten, wenn sie zufällig das Geländer berührten. Galvani erklärte diese auffallende Erscheinung durch tierischen Magnetismus, bis Volta die Elektrizität als Ursache erkannte und durch Versuche konstatierte.

zwar ist der Zinkpol der negative, der Kupferpol der positive Pol, da an der Berührungsstelle der Metalle die — E vom Zink zum Kupfer, die + E vom Kupfer zum Zink übertritt. Im Zwischenleiter findet aber das Gegenteil statt; daselbst stellt das Kupfer das negative, das Zink das positive Metall dar.

Wendet man als Zwischenleiter, statt reines Wasser, eine Salzlösung oder verdünnte Säure an, so verstärkt sich der elektrische Strom bedeutend. Im übrigen wächst die Stromstärke mit der Anzahl der Glieder und der Grösse der Metallplatten. Die einzelnen Metalle sind nicht gleich in der elektrischen Spannung. Es lässt sich folgende Reihe aufstellen:

+ E Zink, Blei, Zinn, Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Platin, Kohle — E.

In dieser Reihe ladet sich jedes Glied mit + E gegen die nachfolgenden, mit — E gegen die vorhergehenden Glieder. Je weiter zwei Metalle in obiger Spannungsreihe auseinander stehen, um so grössere Elektrizitätsmengen liefern sie in einer Kette.

**§ 69.** Was ist eine konstante Kette? Die aus Zink und Kupfer konstruierten Ketten haben den Nachteil, in kurzer Zeit ihre Wirksamkeit zu schwächen und endlich ganz einzustellen. Die Ursache hiervon liegt in der im Zwischenleiter vor sich gehenden Wasserzersetzung, infolge deren das Kupfer sich mit einer dünnen Wasserstoffschicht überzieht und allmählich ausser Berührung mit dem Zwischenleiter kommt. Diesem Übelstande hilft man dadurch ab, dass eine Flüssigkeit als Zwischenleiter angewendet wird, welche den entwickelten Wasserstoff verbraucht (Kupfervitriollösung, Salpetersäure u. a.). Zugleich muss das Zink, um nicht zu stark aufgelöst zu werden, von diesem Zwischenleiter räumlich abgetrennt werden, ohne jedoch ausser Leitung mit dem Kupfer zu gelangen, — Bedingungen, welche durch porösen Thon erfüllt werden. Man konstruiert hiernach sogenannte konstante Ketten, indem man den Kupfercylinder (Fig. 35K) in ein Glas mit Kupfervitriollösung, den Zinkcylinder (Z) in einen Thonbecher (T) mit verdünnter Schwefelsäure eintauchen lässt. Diese Kette aus Zink und Kupfer nennt man nach ihrem Erfinder Daniellsche Kette. Der Kupfercylinder trägt einen kupfernen Streifen (p) mit Klemmschraube (s), welche dazu dient, den an den Zinkcylinder angelöteten Metallstreifen (m) des nächsten Bechers anzuschrauben. Solcherweise verbindet man eine beliebige Zahl von Bechern miteinander.

Die Meidingersche Kette ist eine Zink-Kupferkette ohne Thoncylinder. Der Zinkcylinder taucht in eine Bittersalzlösung, der Kupfercylinder in eine Kupfervitriollösung, beide Salzlösungen mischen sich zu-

folge ihres verschiedenen spez. Gewichtes nur wenig. Diese Kette ist zwar nur schwach, aber von jahrelanger Wirksamkeit, da die Metallcylinder nur unbedeutend angegriffen werden.

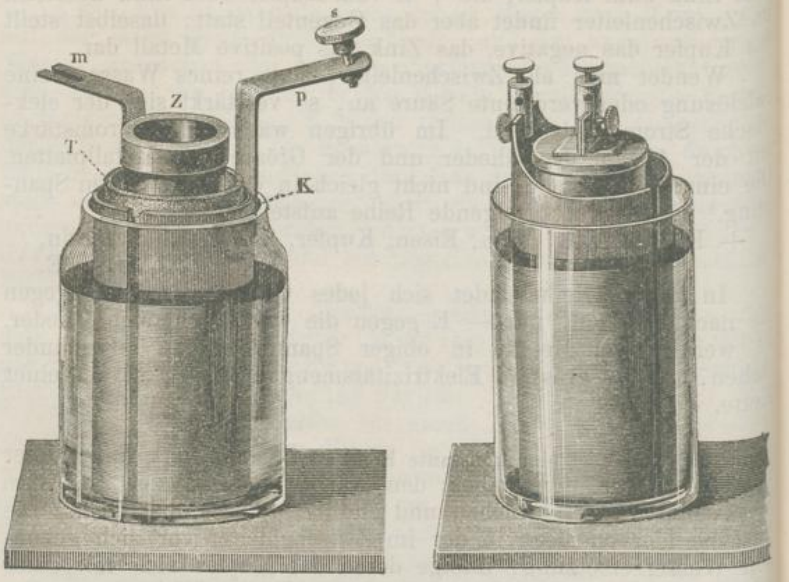


Fig. 35. Fig. 36.

Wendet man statt des Kupfers dichte Kohle an, so erhält man die sog. Bunsensche Kette (1842 von Bunsen konstruiert). Jeder Becher (Fig. 36) besteht aus einem Glase, in welchem ein Zinkcylinder in verdünnte Schwefelsäure eintaucht; innerhalb desselben steht ein Thoncylinder mit Salpetersäure, worin ein Stück kompakte Kohle gesetzt ist. Mittelst Schrauben lassen sich diese Becher durch Metalldraht verbinden, und zwar der Zinkcylinder des einen Bechers mit der Kohle des nächstfolgenden.

*Der vom Zink kommende Schliessungsdraht bildet den negativen, der vom Kupfer resp. der Kohle kommende Draht den positiven Pol.*

Der positiv elektrische Strom wandert also vom Kupfer zum Zink, alsdann durch den Zwischenleiter wieder zum Kupfer; der negative Strom beschreibt den entgegengesetzten Weg.

**§ 70.** Was ist die Voltasche Säule? Volta konstruierte (1800) eine galvanische Kette in Säulenform, indem er Zink- und Kupferplatten übereinander schichtete und nach jedem Plattenpaare eine mit Kochsalzlösung getränkte Pappscheibe folgen liess. Es muss streng dieselbe Ordnung beibehalten werden: Kupfer, Zink, Papp-

scheibe u. s. f. An dem einen Ende liegt eine einfache Kupferplatte, am andern eine einfache Zinkplatte, an denen die beiden Schliessungsdrähte angelötet sind. Hiernach ist die Säule wie folgt aufgebaut:

— E Zink
Pappscheibe
Kupfer
Zink
Pappscheibe
Kupfer
Zink
Pappscheibe
Kupfer
Zink
Pappscheibe
+ E Kupfer.

Auch hier ist der vom Kupfer kommende Draht der positive, der vom Zink kommende der negative Pol, da die + E von oben nach unten, die — E von unten nach oben die Säule durchläuft.

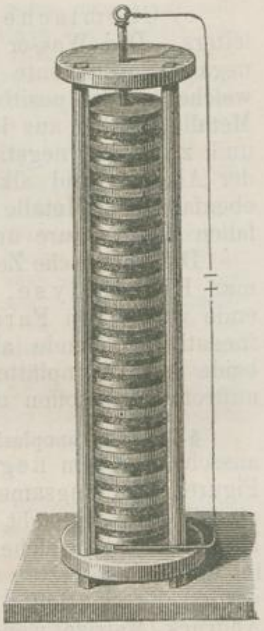

Fig. 37.

**§ 71.** Welche Wirkungen äussert der elektrische Strom? Die Wirkungen des Stromes sind dreifacher Art:

a) Physiologische Wirkungen: Muskelzucken, welches eintritt, sowie man mit angefeuchteten Fingern die beiden Polenden anfasst; beim Loslassen bemerkt man abermals ein Zucken. Während des Verlaufs wirkt der elektrische Strom auf die Nerven nicht ein, sondern nur beim Schliessen und Öffnen der Kette.

b) Physikalische Wirkungen: Erzeugung von Licht und Wärme. An den Polen einer kräftigen Batterie bemerkt man beim Schliessen wie beim Öffnen einen Funken. Der Schliessungsdraht erleidet eine um so höhere Erhitzung, je stärker der Strom, je dünner der Draht und je schlechter leitend sein Metall ist. Man kann ihn zum Glühen, sogar zum Schmelzen bringen.

Zwischen den auf einige Millimeter genäherten Polenden bemerkt man einen Lichtbogen — elektrisches Licht, indem die schlecht leitende Luft ins Glühen kommt. Die Farbe dieses Lichtes hängt ab von der Natur der Polenden. Bewaffnet man die Polenden mit Kohlenspitzen, so gelangen diese selbst in ein höchst intensives Glühen — elektrisches Kohlen-Licht. Zu seiner Erzeugung sind jedoch Batterien aus 80—100 Elementen nötig.

c) Chemische Wirkungen: Zersetzung des Zwischenleiters. Das Wasser zerlegt sich in Wasserstoffgas, welches am negativen Elemente (Kupfer) entwickelt wird, und Sauerstoff, welches an das positive Element (Zink) tritt und dasselbe oxydiert. Metalle werden aus ihren Salzlösungen metallisch ausgeschieden, und zwar am negativen Pole. Aus den geschmolzenen Salzen der Alkalien und alkalischen Erden kann man in dieser Weise ebenfalls ihre Metalle gewinnen; in ihrer wässerigen Lösung zerfallen sie in Säure und Metalloxyd.

Die chemische Zerlegung durch den elektrischen Strom nennt man Elektrolyse, das vom Kupfer kommende (positive) Polende wurde von Faraday als Anode, das vom Zink kommende (negative) Polende als Kathode*) bezeichnet. Man versieht beide mit Platinplättchen, welche von den bei der Elektrolyse auftretenden Stoffen nicht angegriffen werden.

**§ 72.** Galvanoplastik. Man benutzt die elektrolytische Metallausscheidung am negativen Pole (Kathode) zur Nachbildung von Figuren. Bei langsamer Ausscheidung von Kupfer aus einer Kupfervitriollösung entsteht nämlich eine dichte, zusammenhängende Kupferschicht, welche genau die Form der Kathode besitzt; nur im entgegengesetzten Sinne, da die erhabenen Teile der Kathode vertieft, ihre vertieften Teile erhaben erscheinen. Diesen negativen Abdruck (Matrize) wendet man wieder als Kathode an und gewinnt dann einen zweiten Abdruck, der den ursprünglichen Gegenstand völlig getreu wiedergiebt. Metallische Körper, wie gestochene Kupferplatten, lassen sich direkt als Kathode benutzen und mit dem vom Zink kommenden Schliessungsdraht verbinden. Holzschnitte müssen zuvor durch Bepinseln mit Graphitpulver leitend gemacht werden.

Wendet man statt der Kupferlösung eine Gold- oder Silberlösung an, so überzieht sich die Kathode mit einer dünnen Gold- resp. Silberschicht — galvanische Vergoldung und Versilberung. Vorzugsweise sind die Cyanverbindungen genannter Edelmetalle**) dazu am tauglichsten, weil sie am leichtesten durch den elektrischen Strom zersetzt werden. An der Kathode scheidet sich das edle Metall, an der Anode Cyangas aus.

**Versuche.**

1. Aufbau einer Voltaschen Säule. Kreisrunde, 1—2 *mm* dicke

*) Anode von ἄνοδος Aufgang, weil am + Pol Sauerstoffgas entwickelt wird; Kathode von κάθοδος Hinabgang, weil sich am — Pol die Metalle ausscheiden.

**) Die Goldlösung gewinnt man aus 1 Teil Chlorgold, 6 Teilen Ferrocyankalium und 200 Teilen Wasser; die Silberlösung aus Silbersalpeter, dessen wässerige Lösung mit soviel Cyankalium versetzt wird, dass der entstehende weisse Niederschlag wieder aufgelöst ist.

Platten von Zink und Kupfer, in gleicher Grösse, putze man blank und tränke ebenso viele und gleich grosse Scheiben dicken Pappdeckels mit einer Kochsalzlösung. Auf eine Glastafel lege man zunächst eine Kupferscheibe, woran ein Kupferdraht angelötet ist, darauf eine Pappscheibe und schichte nun die übrigen Platten, stets in der Ordnung: Zink, Kupfer, Pappe. Oben endige man mit einer Zinkscheibe, an der ein Kupferdraht angelötet ist. — Man schliesst die Säule, indem man beide Pole mit angefeuchteten Händen berührt. In demselben Momente bemerkt man ein leichtes Zucken der Muskel; ebenso beim Öffnen der Säule.

Die Säule verliert nach einigen Stunden an Wirksamkeit. Nach dem Auseinandernehmen scheure man die Metallplatten mit Wasser und Sand blank.

2. Bau einer galvanischen Kette. Eine höchst einfache, wenngleich stromschwache Kette stellt man aus 6—10 schmalen Streifen aus Zink- und Kupferblech her, die man zu je zwei an einem Ende zusammenlötet und daselbst umbiegt. Ein Kupfer- und ein Zinkstreifen bleiben getrennt, an jeden wird aber ein längerer Kupferdraht angelötet. Die verbundenen Streifen setze man in genäherte Glas- oder Porzellannäpfchen oder in Probiercylinder, die mit Kochsalzlösung gefüllt sind: die einzelnen Streifen bilden den Anfang und das Ende. Ein jedes Gefäss muss einen Zink- und einen Kupferstreifen erhalten; es ist aber darauf zu sehen, dass dieselben im Gefässe sich nicht berühren, — was durch zwischengeschobene Korke verhütet werden kann.

3. Versuche mit dem galvanischen Strome. Mit einer Voltaschen Säule (aus etwa 20 Plattenpaaren) oder mehreren Bunsenschen resp. Daniellschen Bechern, auch wohl mit der eben angegebenen galvanischen Kette, lassen sich folgende Versuche anstellen:

a) Geschmacksempfindung. Den einen Draht lege man quer über die Mitte der Zunge, den andern an die Zungenspitze; an letzterer nimmt man dann einen beissenden Geschmack wahr, der säuerlich ist beim negativen, brennend scharf beim positiven Poldraht.

b) Elektrolyse. Eine nicht zu enge Glasröhre biege man in der Mitte knieförmig um, fülle sie mit einer Glaubersalzlösung, die man durch etwas Lackmustinktur (wässerigen Auszug von Lackmus) gefärbt hat, und lasse zu beiden Seiten die mit Platinstreifen (auch wohl Platindraht) besetzten Poldrähte eintauchen. Am + Poldraht färbt sich die Flüssigkeit rot, am — Poldraht blau.

Lässt man die mit Platinstreifen versehenen Poldrähte in eine Kupfervitriollösung eintauchen, so dass sie noch 1—2 *cm* von einander entfernt stehen, so überzieht sich das Platin der Kathode mit einer dünnen Kupferschicht, die man beim Herausnehmen aus der Lösung wahrnimmt. Vertauscht man später die Platinstreifen, so dass das verkupferte Stück nun mit dem positiven (vom Kupfer kommenden) Poldraht in Verbindung gesetzt wird, so verschwindet das niedergeschlagene Kupfer, und der andere Platinstreifen überzieht sich damit.

c) Versilberung. Einen Messingknopf oder andern metallischen Gegenstand verbinde man mit dem negativen Poldrahte und tauche ihn in eine Lösung von Höllenstein unter, während man in einiger Entfernung den andern Poldraht eintauchen lässt. Nach kurzer Zeit hat sich der Knopf versilbert.

4. Galvanoplastik. Einen etwa 10 *cm* langen, dicken Zinkstreifen löte man an einen dreimal längeren Kupferblechstreifen, biege letzteren nahe der Lötstelle hakig gegen den Zinkstreifen und gegen sein anderes Ende abermals rechtwinklig um. Alsdann verschliesse man einen Glascylinder einerseits mit feuchter Blase und hänge ihn aufrecht in ein

grösseres, eine gesättigte Kupfervitriollösung enthaltendes Glasgefäss, während man in den Cylinder sehr verdünnte Schwefelsäure (1 : 16) giesst. Der Metallstreifen wird so über den Rand des Cylinders gehängt, dass das Zink in die Säure, das Kupfer in die Vitriollösung eintaucht. Legt man auf das umgebogene Ende des Kupferstreifens eine zuvor mit Öl eingeriebene und wieder abgetrocknete Münze, so überzieht sie sich in einigen Tagen mit einem negativen Kupferabdruck. In die Vitriollösung sind einige Kupfervitriolkrystalle zu legen, auch ist die Säure zu erneuern, sobald sie nicht mehr auf das Zink wirkt.

**Fragen.**

1. Wo liegt der positive Pol einer galvanischen Batterie resp. Voltaschen Säule aus Kupfer und Zink? — Antw. Im Schliessungsdraht, der vom Kupfer kommt; im Zwischenleiter befindet er sich dagegen am Zink.

2. Weshalb verliert die Voltasche Säule nach einiger Zeit ihre Wirksamkeit? — Antw. Weil durch das Gewicht der Metallplatten die Pappscheiben trocken gepresst werden.

3. Was schliessen wir daraus, dass der Strom der elektrochemischen Kette stärker ist, als bei der einfach galvanischen, welche reines Wasser als Zwischenleiter besitzt? — Antw. Dass der Galvanismus nicht an der Berührungsstelle der beiden Metalle, sondern an der Berührungsfläche der Metalle mit dem Zwischenleiter entsteht und ein Produkt des daselbst waltenden chemischen Prozesses ist.

---

## 19. Der Magnetismus.

**§ 73.** Was ist ein Magnet?*) Seit alten Zeiten kannte man gewisse Eisenerze (Magneteisenstein, Magnetkies), welche die Fähigkeit besitzen, Eisenstücke aus geringer Entfernung anzuziehen. Mit solchen natürlichen Magneten war man im stande, Stahl durch Bestreichen künstlich magnetisch zu machen.

Der Magnet zeigt zwei Stellen, wo die Anziehungskraft am stärksten waltet — man nennt sie seine Pole. Zwischen ihnen giebt es eine Stelle ohne magnetische Kraft, den sog. Indifferenzpunkt. Die Pole eines stabförmigen Magneten liegen an dessen Enden, der Indifferenzpunkt in der Mitte. Ein freischwebender Magnetstab nimmt eine konstante Richtung an: von Norden nach Süden. Hiernach bezeichnet man seine Pole als Nordpol und Südpol. Ein eigentümliches Verhalten zeigen zwei freischwebende Magnete zu einander; nähert man sie mit ihren Nordpolen, so stossen sie sich ab, ebenso an ihren Südpolen; dagegen zieht der Nordpol des einen Magneten den Südpol des anderen an. Daraus resultiert das Gesetz:

*Gleichnamige Pole stossen einander ab, ungleichnamige ziehen sich an.*

Die Anziehungskraft eines Magneten beschränkt sich nicht auf Eisen, sondern äussert sich auch, wenngleich schwächer,

*) λίθος μάγνης, der Magnetstein (natürlicher Magnet).

auf Kobalt und Nickel. Sie findet auch statt, wenn der Magnet vom Eisen durch eine Zwischenwand, z. B. ein Blatt Papier, getrennt ist.

**§ 74.** Erdmagnetismus. Die konstante nordsüdliche Lage eines frei aufgehängten Magneten, in welche er nach jeder Ablenkung wieder zurückkehrt, lässt schliessen, dass die Erde selbst magnetische Kraft besitze und als ein grosser Magnet anzusehen sei, dessen Pole mit den geographischen Polen zusammenstimmen. Zur Beobachtung des Erdmagnetismus bedient man sich einer feinen, magnetisierten Stahlnadel, der sog. Magnetnadel, die, in ihrem Schwerpunkte unterstützt, wagerecht frei schwebt und die Richtung von Norden nach Süden behauptet. Man nennt sie Deklinationsnadel, weil sie die Abweichung (Deklination) der magnetischen Pole von den geographischen Polen anzeigt. Beiderlei Pole fallen nämlich nicht zusammen. Der magnetische Nordpol oscilliert in grossen Zeiträumen um den geographischen Pol und liegt jetzt im hohen Norden Amerikas (70° n. Br., 97° w. L); daher weicht bei uns die Magnetnadel westlich ab. Der magnetische Südpol befindet sich im südöstlichen Australien, mithin jenem Nordpole nicht diametral gegenüber.

Man gebraucht die Deklinationsnadel allgemein als Kompass.

Inklinationsnadel wird eine im Schwerpunkt aufgehängte Magnetnadel genannt, welche ausser der nordsüdlichen Richtung noch die stärkere Einwirkung eines Erdpols durch ihre geneigte Lage (Inklination) angiebt. Sie hängt nämlich nur im magnetischen Äquator, d. i. gleich weit von den Polen entfernt, völlig wagerecht; auf der nördlichen Halbkugel senkt sie dagegen ihr Nordende, auf der südlichen ihr Südende herab, da der näher gelegene Pol stärker auf sie einwirkt als der entferntere. An den magnetischen Erdpolen selbst hängt die Nadel senkrecht herab.

**§ 75.** Wie wird Eisen magnetisch? Man kennt zwei Mittel, ein Stück Eisen magnetisch zu machen:

1. Durch Magnetisierung mittelst eines Magneten. Der Stahl erlangt, wenn man ihn mit einem Magneten bestreicht, selbst magnetische Kraft und hält diese mit Zähigkeit fest; Stabeisen besitzt diese Fähigkeit nicht, es bleibt nur so lange magnetisch, als es sich in Berührung mit dem Magneten befindet.

Man unterscheidet den einfachen und den doppelten Strich; zu ersterem benutzt man einen geraden Magnetstab, mit dessen einem Pole man die eine Hälfte des zu magnetisierenden Stahles, mit dessen anderem Pol man die andere Hälfte desselben bestreicht. Das Streichen muss stets in gleicher Weise geschehen: Man setzt den Pol auf die Mitte des Stahles und fährt nach dessen Ende zu; dies wiederholt man öfters.

Der doppelte Strich geschieht mit einem Hufeisenmagnet, d. i. einem hufeisenförmig gebogenen Magnetstabe; man setzt denselben auf die Mitte des Stahlstücks auf, fährt wiederholt über dasselbe hin und her und hebt schliesslich in der Mitte ab.

Ein Hufeisenmagnet wird mit einem eisernen Anker versehen und mit Gewichten behängt. Durch allmählich verstärkte Belastung (Armatur) erhöht man seine magnetische Kraft. Man darf jedoch den Anker niemals abreissen, sondern schiebe ihn seitlich ab. — Glühhitze hebt den Magnetismus dauernd auf.

2. Durch den elektrischen Strom.

*Wenn man den elektrischen Strom spiralig um ein Stück Eisen führt, so wird dasselbe magnetisch.*

Ist der (behufs Isolierung) mit Seide umsponnene Leitungsdraht einer galvanischen Kette in dicht genäherten Windungen um ein hufeisenförmiges Stück Stabeisen gewunden, so wird letzteres magnetisch, sobald man die Kette schliesst, verliert seinen Magnetismus aber wieder beim Öffnen der Kette. Eine solche Vorrichtung wird ein Elektromagnet genannt. Würde man statt Stabeisen Stahl verwenden, so behielte dieser den erzeugten Magnetismus längere Zeit, auch nach dem Öffnen der Kette.

Diese Verhältnisse lassen uns jeden Magneten als einen Körper erscheinen, um dessen Teilchen nach ein und derselben Richtung elektrische Ströme kreisen. Hieraus erklärt sich die magnetische Anziehung und Abstossung als Folge der elektrischen Anziehung und Abstossung; auch stimmt damit die Thatsache überein, dass ein elektrischer Strom eine in seiner Nähe befindliche Magnetnadel aus ihrer nordsüdlichen Richtung ablenkt. Auf dieser Ablenkung beruht das Galvanometer oder der Multiplikator, ein Instrument, mittelst dessen selbst die kleinsten Mengen galvanischer Elektrizität sich nachweisen lassen (Fig. 38 M). Für die Ablenkung gilt die Ampèresche Regel: Denkt man sich so in den + Strom gelegt, dass er von den Füssen zum Kopfe geht und man der Magnetnadel das Gesicht zuwendet, so wendet sich das Nordende derselben nach links ab.

**§ 76.** Elektrischer Telegraph. Die wesentlichen Punkte der elektrischen Telegraphie beruhen in folgendem:

Zwei Stationen (A, B) stehen durch einen isolierten Eisendraht mit einander in leitender Verbindung, deren Endungen zur Herstellung der Rückleitung in das feuchte Erdreich hinabgeführt sind. Auf der Station A befindet sich eine konstante Batterie, in B ein Elektromagnet in jene Drahtleitung eingeschaltet. Sobald man nun in A die Kette geschlossen hat, wird in B der Elektromagnet magnetisch und zieht einen eisernen Anker an, der durch einen passenden Mechanismus mit dem Zeiger eines Zifferblattes oder mit einem Druckapparate in Verbindung steht. Wird in A die Kette geöffnet, so verliert der Elektromagnet in B seine Kraft und lässt den Anker fallen. Durch beliebig wiederholtes Öffnen und Schliessen der Batterie in A wird mithin in B nach dem-

selben Tempo der Anker angezogen und gesenkt, welche Bewegung sich auf einen Zeiger oder Druckapparat überträgt.

Die ältesten elektrischen Telegraphen waren Zeigertelegraphen, deren Zeiger an einem Zifferblatte herumgeführt wurde, an welchem die Buchstaben des Alphabetes, sowie die Zahlen von 1—10 verzeichnet standen. Jetzt bedient man sich vorzugsweise des Morseschen Drucktelegraphen, welcher mit einem Stifte auf einen sich abrollenden Papierstreifen Punkte und Striche, als Symbole der Buchstaben, aufdruckt.

Zum Schliessen und Unterbrechen des Stromes dient der Morsesche Schlüssel oder Taster, ein zweiarmiger Hebel aus Metall, welcher in die elektrische Leitung eingeschaltet ist. Im ruhenden Zustande (Ruhekontakt) berührt er mit seinem einen Ende einen Metallknopf und stellt die Verbindung mit der Erdleitung her; drückt man aber auf das andere Ende, so wird jene Verbindung gehoben, der Schlüssel berührt dann einen zweiten Metallknopf (Arbeitskontakt) und stellt die Verbindung mit der Batterie her, d. h. erzeugt den Strom, der sofort unterbrochen wird, wenn man den Schlüssel wieder in den Ruhekontakt versetzt.

Der galvanische Strom pflanzt sich, vermöge seiner geringeren Spannung, viel weniger schnell fort, als die Reibungselektrizität; er legt in der Sekunde 3700 Meilen zurück.

Eine andere passende Verwendung findet der Elektromagnet beim Haustelegraphen (elektrische Klingel), dessen Anker an eine Glocke schlägt, aber in demselben Momente die elektrische Leitung aufhebt; indem er sich alsdann vom Elektromagneten wieder entfernt, schliesst er von neuem die Leitung. Es wiederholt sich also ein einzelner Glockenschlag, so lange man mittelst eines Tasters den Strom geschlossen hält.

Zum Haustelegraphen erzeugt man den elektrischen Strom, der nur schwach zu sein braucht, mittelst einer Meidingerschen Kette. Dagegen benutzt man zur Telegraphie eine Batterie aus Daniellschen Ketten.

Das Telephon nach Bell besteht aus einem Magnet und einer sehr dünnen, höchst elastischen Metallplatte. Man verbindet die Stationen, deren jede ein solches Instrument besitzt, ähnlich dem Telegraphen mit einem Leitungsdraht. Spricht man an der einen Station in das Telephon, so gerät die Metallplatte desselben durch die Schallschwingungen in eine zitternde Bewegung, welche die Intensität des nahen Magnetes beeinflusst; da derselbe mit dem Telephon der anderen Station in leitender Verbindung steht, so erteilt er dem Magnete desselben die gleichen Veränderungen, welche dieser der ihm zugehörigen Platte mitteilt, worauf die letztere in gleiche Schwingungen gerät, wie sie durch das Sprechen in der Platte der ersten Station entstehen. Daher vernimmt das Ohr an der zweiten Station dieselben Töne und Worte, welche die erste Station empfangen hat.

**§ 77.** Induktion. Umgiebt man eine Drahtspirale (Fig. 38 B) mit einer zweiten Spirale (A) — beide durch Umspinnen mit Seide isoliert und jede für sich geschlossen — und leitet durch die innere Spirale (B) einen elektrischen Strom (aus der Kette E), so entsteht in der äusseren Spirale (A) ein zweiter elektrischer, sog.

induzierter Strom, als Folge stattgefundener elektrischer Verteilung. Der induzierte Strom besitzt eine dem Hauptstrom entgegengesetzte Richtung und nur eine momentane Dauer, da er lediglich beim Öffnen und Schliessen der Kette entsteht. Er giebt sich durch die momentane Ablenkung der Magnetnadel eines damit verbundenen Galvanometers (M) zu erkennen.

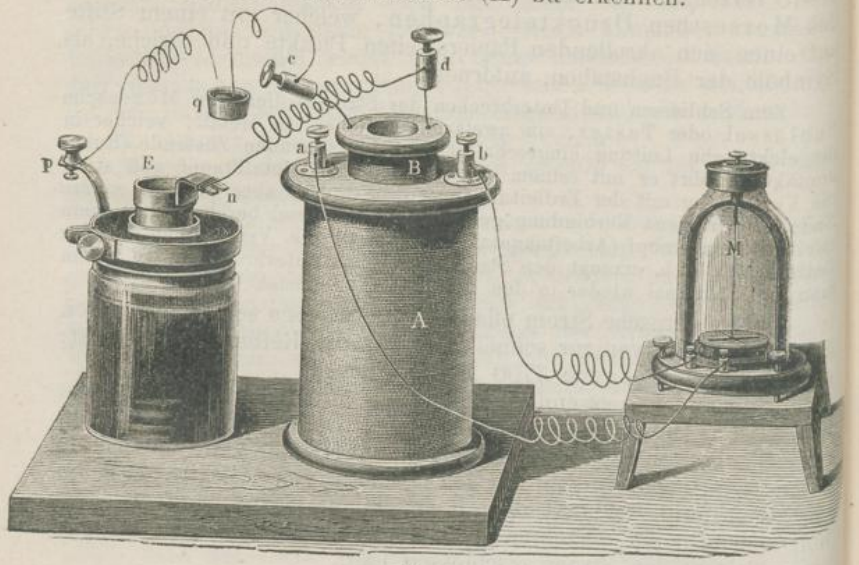


Fig. 38.

Da dem induzierten Strome vorzügliche physiologische Wirkungen auf Nerven- und Muskelsystem zukommen, hat man zu diesem Zwecke sog. Induktionsapparate konstruiert. Die Enden der äusseren Drahtspirale sind bei ihnen mit messingenen Handhaben versehen, die man anfasst, um den Strom durch den Körper zu leiten. Damit der induzierte Strom anhaltende Dauer erlange, wird der Hauptstrom rasch hinter einander wiederholt geöffnet und geschlossen, was man durch eine sinnreiche Vorrichtung (den Hammer) bewerkstelligt. Durch das wiederholte Öffnen und Schliessen des Hauptstromes bilden sich nun rasch aufeinanderfolgende induzierte Ströme.

Der Hammer ist der zum Elektromagneten gehörige Anker und zugleich in die Stromleitung eingeschaltet. Bei eintretender Wirksamkeit des Stromes reisst der Elektromagnet den Anker an sich und aus der Leitung heraus, sodass sich dadurch der Strom selbst unterbricht. Alsdann aber hört die Wirksamkeit des Elektromagneten wieder auf, der Anker fällt ab und tritt in die Stromleitung zurück. Hierdurch beginnt der Strom wieder und das Spiel geht von neuem an.

§ 78. Magneto-Elektrizität. Man kann auch durch Annäherung und Entfernen eines kräftigen Magneten in einer geschlossenen Drahtspirale einen induzierten elektrischen Strom erzeugen. Hierauf gründet sich der magneto-elektrische Rotationsapparat, in welchem eine Drahtspirale um ein hufeisenförmiges Stück weichen Eisens gewunden ist, dem ein Hufeisenmagnet gegenübersteht. Durch Umdrehen des letzteren wird das weiche Eisen abwechselnd magnetisch und unmagnetisch, erzeugt daher in der Drahtspirale rasch hintereinander induzierte Ströme.

Indem man die Umdrehung des Magneten durch eine Dampfmaschine oder einen anderen Motor bewirkt, ist man im stande, einen recht kräftigen elektrischen Strom hervorzurufen, wobei man die aufeinanderfolgenden, entgegengesetzten Ströme durch den sog. Stromwender in eine gleiche Richtung bringt. Mittelst eines solchen magneto-elektrischen Stromes kann man die Wagen einer elektrischen Eisenbahn in Bewegung setzen; auch benutzt man ihn neuerdings zum elektrischen Lichte. Von Eddison werden luftleere Glasglocken konstruiert, in denen eine Bastfaser eingeschlossen ist. Leitet man den Strom durch letztere, so gerät sie ins Glühen, ohne jedoch zu verbrennen (wegen des Luftmangels).

### Versuche.

1. Magnetische Anziehung. Einen geraden Magnetstab lege man in Eisenfeile; er bedeckt sich mit derselben und hält sie auch beim Herausheben fest. Am dichtesten bedeckt er sich an den Enden (Polen), wenig in der Mitte.

Man lege ein Stahlnadel auf ein Blatt Papier und fahre mit einem Magneten unter demselben her; die Nadel folgt allen seinen Bewegungen.

2. Anziehung und Abstossung. Man hänge eine Magnetnadel, die man sich leicht durch regelrechtes Bestreichen einer Stahlnadel mit einem Magneten herstellen kann, frei auf und nähere ihr einen geraden Magnetstab oder eine zweite Magnetnadel; es findet Anziehung der ungleichnamigen, Abstossung der gleichnamigen Pole statt.

3. Inklinationsnadel. Eine Stricknadel hänge man genau in ihrer Mitte (Schwerpunkt) an einem dünnen Zwirnfaden auf, sodass sie wagerecht hängt. Magnetisiert man sie dann durch Bestreichen mit einem Magneten, so nimmt sie nicht allein eine nordsüdliche Richtung an, sondern neigt sich mit ihrem Nordende stark zur Erde.

4. Ablenkung durch den elektrischen Strom. Nähert man eine Magnetnadel dem Leitungsdraht einer geschlossenen galvanischen Kette, so erleidet sie eine Ablenkung. Läuft der + Strom von Nord und Süd, und über die Nadel hin, so wird ihr Nordende östlich abgelenkt; hält man dann die Nadel über den Strom, so findet eine westliche Ablenkung statt.

### Fragen.

1. Wie kann man eine Magnetnadel unabhängig vom Erdmagnetismus machen? — Antw. Indem man unter oder über ihr eine zweite, ihr gleiche Magnetnadel anbringt, jedoch mit entgegengesetzten Enden. (Astatische Nadel.) Daher ist das Nordende der unteren Nadel durch das über ihr befindliche Südende der oberen Nadel gebunden und gehorcht nicht mehr dem Erdmagnetismus.