

Erste Lehrstufe.

I. Abschnitt.

Von den Körpern im allgemeinen.

Aggregatzustände und allgemeine Eigenschaften.*)

§ 1. Feste, flüssige und luftförmige Körper. Wenn wir die Körper, d. h. die Gegenstände, welche wir durch unsere Sinne um uns her wahrnehmen, miteinander vergleichen, so ergeben sich manche Unterschiede hinsichtlich der Größe, der Gestalt, Farbe, Festigkeit, des Geschmackes, Geruches u. s. w. Trotz der Mannigfaltigkeit, welche uns hierbei entgegentritt, lassen sich doch auch gemeinsame Merkmale an den Körpern entdecken.

Die meisten Körper, z. B. die aus Stein, Metall, Glas, Holz, Kork u. s. w. bestehenden, stimmen darin überein, daß sie eine bestimmte Gestalt haben. Im Vergleich mit Wasser, Öl u. dgl. erscheinen sie uns *fest* oder *starr*. Wollen wir solche Körper teilen, oder etwa durch Druck oder Zug ihre Gestalt ändern, so leisten sie einen merklichen Widerstand, welcher bei dem einen Körper größer, bei dem anderen kleiner ist.

Die festen Körper haben eine bestimmte Gestalt und setzen der Veränderung ihrer Gestalt einen merklichen Widerstand entgegen.

Körper, wie Wasser, Öl, Quecksilber u. s. w., kennzeichnen sich dadurch, daß sich ihre Teile äußerst leicht gegeneinander verschieben lassen; wegen dieses geringen Widerstandes ihrer Teile können sie fließen und werden daher *Flüssigkeiten* genannt. In sehr geringen Mengen nehmen dieselben, wenn sie nicht durch Berührung mit festen Körpern daran verhindert werden, eine bestimmte Gestalt an, nämlich die Kugelform (Tropfen), was sich am Wasser z. B. beim Regen oder Tau, beim Besprengen staubiger Flächen u. s. w. deutlich zu erkennen giebt. In größeren Mengen dagegen nehmen sie die Gestalt der Gefäße an, in denen sie enthalten sind, und zeigen in ihrer Ruhelage überall,

*) Vgl. II. Lehrstufe § 51 ff.

Sumpf, Schulphysik. (5. Aufl.)

wo sie nicht von der Gefäßwand begrenzt werden, eine ebene (wage-rechte oder horizontale) Oberfläche.

Die Oberfläche des Meeres erscheint, da sie einen sehr großen Teil der Erdoberfläche bildet, gekrümmt. Dies ist daran zu erkennen, daß von Schiffen, welche aus großer Ferne sich nähern, zunächst nur die Spitzen der Masten gesehen werden können.

Flüssigkeiten nehmen in kleinen Mengen die Kugelgestalt, in größeren die Gestalt der Gefäße an, in denen sie enthalten sind; bei einer Verschiebung ihrer Teile leisten sie einen kaum merklichen Widerstand.

Von den festen und flüssigen Körpern lassen sich nach bekannten Erfahrungen noch Körper unterscheiden, welche das auffällige Bestreben äußern, einen immer größeren Raum einzunehmen und in jedem ihnen dargebotenen, noch so großen Raume sich vollständig auszubreiten. Zu diesen als *luftförmig* bezeichneten Körpern gehört z. B. das Leuchtgas, das sich sehr leicht in Zimmern verbreitet, wenn etwa die Zuleitungsröhren undicht sind, ferner die in zahlreichen Getränken enthaltene Kohlensäure, durch welche die Stöpsel fest verschlossener Flaschen oft mit heftigem Knalle fortgeschleudert werden, desgl. Pulvergase, sowie die zum Betriebe der Dampfmaschinen dienenden Wasserdämpfe u. s. w. Der verbreitetste aller derartigen Körper ist die uns überall umgebende Luft.

Luftförmige Körper haben überhaupt keine eigene Gestalt, sondern sind ausdehnbar, d. h. sie haben stets das Bestreben, sich nach allen Richtungen auszudehnen und jeden ihnen dargebotenen Raum ganz auszufüllen.

Alles, was wir durch unsere Sinne wahrzunehmen vermögen, fassen wir zusammen in dem Worte Natur; die einzelnen sinnlich wahrnehmbaren Gegenstände werden Naturkörper, die drei Zustände (fest, flüssig, luftförmig), in denen sie auf der Erde vorkommen, Aggregatzustände¹⁾ genannt.

Die flüssigen Körper werden auch als tropfbar flüssige, die luftförmigen als ausdehnbar flüssige Körper bezeichnet.

Übungsstoff. 1. Nenne metallische K., bei denen der Widerstand, welchen sie einer Veränderung ihrer Gestalt entgegensetzen, sehr verschieden ist. — 2. Wie läßt sich dies nachweisen a. mit Hülfe von Werkzeugen, b. ohne besondere Hilfsmittel? — 3. Vgl. in dieser Beziehung auch K. miteinander, welche nicht aus Metall bestehen, und führe an, wodurch sich solche Unterschiede zu erkennen geben? — 4. Ein fester und ein flüssiger K. seien in mehrere Teile geteilt. Welcher wesentliche Unterschied zeigt sich, wenn man die Teile wieder miteinander in Berührung bringt? — 5. Ein Papierstreifen sei an einem Ende mit W. in Berührung gebracht und werde darauf langsam gehoben. a. Wie giebt sich dabei ein innerer Zusammenhang des W. zu erkennen? b. Bei welcher Haltung des Streifens tritt der Widerstand, den das W. einer Trennung seiner Teile entgegensetzt, am deutlichsten hervor? — 6. Wie läßt sich nachweisen, daß ein W.- oder Öltropfen der Veränderung seiner Gestalt einen Widerstand entgegensetzt? — 7. Eine Flasche ent-

¹⁾ aggregare, anhäufen.

halte eine Menge Luftblasen (Seifenschaum). Welche Ersch. wird eintreten, wenn man durch Ansaugen Luft aus der Flasche entfernt? — 8. Für welche Eigenschaft der Luft ist jene Ersch. ein Beweis; inwiefern? — 9. Warum kann man W. nicht ebenso (7.) aus einer Flasche entfernen, wohl aber Wasserdampf? — 10. Welcher K. ist auf der Erde in allen 3 Aggregatzuständen sehr verbreitet? — 11. Führe bekannte Erschn. an, welche beweisen, dafs a. stark erhitzte Wasserdämpfe, b. die durch das Entzünden von Schiefspulver und Sprengstoffen entstehenden Gase jene Eigenschaft (8.) in hohem Grade besitzen.

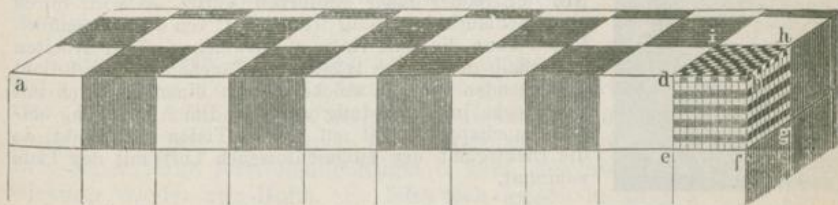
§ 2. Ausdehnung und Undurchdringlichkeit. Alle festen, flüssigen und luftförmigen Körper stimmen wiederum in gewissen Eigenschaften überein. Jeder feste Körper z. B. hat eine gewisse *Länge*, *Breite*, *Höhe* (Dicke oder Tiefe), er nimmt also einen Raum ein. Die flüssigen Körper füllen den Innenraum der Gefäße, in denen sie enthalten sind, ganz oder teilweise aus. Die luftförmigen Körper haben das Bestreben, jeden ihnen dargebotenen Raum ganz auszufüllen.

Jeder Körper nimmt einen Raum ein; er hat eine **Ausdehnung**.

Die Größe des von einem Körper eingenommenen Raumes nennt man sein Volumen, d. h. seinen Rauminhalt.

Als Maß für die räumliche Ausdehnung der Körper dienen allgemein die Würfel unserer Längeneinheitsmaße (Fig. 1), d. h. des Meters, Decimeters (a b

Fig. 1.



der Figur), Centimeters (d b) und Millimeters. Für Flüssigkeiten bildet das **Kubikdecimeter** oder **Liter** die Einheit.

Soll ein fester Körper an dieselbe Stelle gebracht werden, an welcher ein anderer fester Körper sich befindet, so muß letzterer vorher entfernt werden (Beispiel!). Ist ein Gefäß bis zum Rande mit einer Flüssigkeit gefüllt, so fließt diese beim Eindringen eines andern festen oder flüssigen Körpers über. Dafs auch der von einem luftförmigen Körper erfüllte Raum nicht zugleich von anderen Körpern eingenommen werden kann, lehrt z. B. die bekannte Erscheinung, welche jedesmal eintritt, wenn ein Gefäß mit enger Öffnung, etwa eine Flasche, sich unter Wasser füllt (welche Ersch.?). Am deutlichsten tritt es hervor, wenn ein Gefäß umgekehrt etwa über einen Kork in eine Flüssigkeit eingetaucht wird (Versuch nach Fig. 2). Bei tiefem Eintauchen wird die eingeschlossene Luft hierbei durch das Wasser merklich zusammengedrückt.

Fig. 2.



An derselben Stelle, an welcher sich ein Körper befindet, kann nicht gleichzeitig ein anderer Körper sein; diese Eigenschaft der Körper wird Undurchdringlichkeit oder Sperrigkeit genannt.

Das, was den von einem Körper eingenommenen Raum ausfüllt, und sich dem Eindringen in diesen Raum widersetzt, wird als Stoff, Substanz oder Materie bezeichnet. Die Menge des Stoffes, welche den Raum eines Körpers erfüllt, heißt Masse des Körpers.

Bem. Man verwechsle die drei Ausdrücke **Ausdehnung**, **Ausdehnbarkeit** und **Ausdehnbarkeit** nicht miteinander. Ein Körper hat eine **Ausdehnung**, heißt: er nimmt einen Raum ein; er ist **ausdehnbar**, heißt: der Raum, welchen er einnimmt, läßt sich vergrößern (Kautschuk läßt sich auseinanderziehen u. s. w.); ein Körper ist **ausdehnbar**, bedeutet: er hat das Bestreben, einen immer größeren Raum einzunehmen (luftförmige Körper).

Auf der Undurchdringlichkeit oder Sperrigkeit der Luft

Fig. 3.



beruht die Anwendung der **Taucherglocken**, in denen Arbeiter mit den nötigen Werkzeugen in tiefe Gewässer hinabgelassen werden, um unter Wasser gewisse, längere Zeit erfordernde Arbeiten auszuführen, z. B. versunkene Gegenstände zu heben, Fundamente zu Wasserbauten herzustellen u. dgl. (Fig. 3). Eine Taucherglocke besteht aus einem großen eisernen Kasten, welcher oben mit starken Glasfenstern versehen und unten offen ist. Da die Luft in der Taucherglocke durch das Atmen der Arbeiter immer mehr verderben würde, so wird durch einen Schlauch beständig frische Luft von oben zugeführt. Unten kann die Luft ringsum entweichen. Zum Arbeiten außerhalb der Glocke trägt jeder Taucher einen luftdicht schließenden Anzug, welcher durch einen Schlauch mit der Glocke in Verbindung steht. — Die Anwendung solcher Tauchapparate ist auf gewisse Tiefen beschränkt, da die Dichtigkeit der eingeschlossenen Luft mit der Tiefe zunimmt.

Die ersten Tauchapparate (erfunden 1716) hatten die Form einer Glocke, daher der Name **Taucherglocke**. In neuester Zeit werden meist nur **Taucheranzüge** angewandt. Hierbei trägt der Taucher zu längerem (mehrstündigem) Aufenthalte unter Wasser einen Luftbehälter auf den Rücken, welcher durch einen Schlauch mit der Luftpumpe verbunden ist; die ausgeatmete Luft kann durch Ventile entweichen.

Übungsstoff. 1. Der Rauminhalt eines unregelmäßig gestalteten K., etwa eines Steines, läßt sich annähernd dadurch finden, daß man den K. an einem Faden in W. untertaucht. a. Wie müßte man weiter verfahren, wenn der Innenraum des Gefäßes seitlich durch Querstriche in cem geteilt wäre? b. Wie könnte man verfahren, wenn eine solche Teilung fehlte? — 2. In Holz kann man Nägel einschlagen, man kann es durchbohren u. s. w. Warum ist dies kein Beweis gegen die Undurchdringlichkeit des Holzes? — 3. Warum läßt sich für Luft diese Eigenschaft nicht ebenso einfach nachweisen, wie für Flgkn.? — 4. Begründe dieselbe aus dem Gebrauche der Taucherglocke. — 5. Ein Glaszylinder werde senkrecht in W. eingetaucht. Wie wird sich dabei der Stand des vom Cylinder eingeschlossenen W. verhalten, wenn der Cylinder a. an beiden Enden offen, b. oben verschlossen ist? Grund! — 6. Ein auf W. schwimmender Kork oder dergl. soll, ohne daß man ihn berührt, unter den Wasserspiegel im Gefäße hinabsinken. Wie läßt sich dies bewerkstelligen? (Fig. 2.) — 7. Welche Vorteile gewährt bei einer Taucherglocke die Zuführung von Luft? (In 10 m Tiefe würde der Luftraum nur halb so groß

sein.) — 8. Nur unter welcher Bedingung kann das in den offenen Trichter (Fig. 4) gegossene W. nicht hindurchfließen? Grund! — 9. Warum darf hierbei die Mündung der Trichterröhre nicht jede beliebige Weite haben? — 10. Was ergibt sich hieraus (8. und 9.) für den Gebrauch des Trichters im praktischen Leben? — 11. Wodurch wird das beim Gebrauche eines Trichters oft entstehende zischende Geräusch hervorgerufen? — 12. Wenn die Flgk. in dünnem Strahle in den Trichter gegossen wird, so tritt jenes Geräusch nicht so leicht ein; w.? — 13. Wie läßt sich nachweisen, daß offene Gefäße, welche nach dem Sprachgebrauche als leer bezeichnet werden, in Wirklichkeit doch nicht leer sind?

Fig. 4.



§ 3. Trägheit oder Beharrungsvermögen. Zahlreiche Erfahrungen belehren uns darüber, daß ruhende Körper nicht von selbst in Bewegung geraten können, sondern einer äußeren Einwirkung bedürfen, damit sie den Ort, an welchem sie sich befinden, und ihre Lage gegen andere Körper ändern. (Beispiele!) Nur in wenigen Fällen hat es den Anschein, als ob eine solche Einwirkung nicht zu erfolgen brauchte. Damit z. B. ein Stein zur Erde falle, bedarf es keines äußeren Anstoßes; eine Kugel vermag ohne Stofs auf schräger Bahn hinabzurollen u. s. w. Da jedoch sowohl der Stein als die Kugel erst auf die Höhe, aus der sie fallen, hinaufgehoben werden müssen, und hierbei einen Widerstand leisten, so schließens wir, daß dieselbe Ursache, welche beim Heben des Körpers den Widerstand hervorruft, auch beim Fallen die Bewegung erzeugt.

Bei Körpern, welche sich in Bewegung befinden, macht es sehr häufig den Eindruck, als ob sie von selbst wieder zur Ruhe kämen. So kommt z. B. ein auf glatter Eisfläche fortgestoßener Stein, jedes noch so schnell umlaufende Schwungrad, jede auf ebener Bahn fortrollende Kugel u. s. w. scheinbar ohne äußere Einwirkung wieder zur Ruhe. Es läßt sich jedoch in allen solchen Fällen nachweisen, daß äußere Hindernisse die Bewegung aufheben, sowie daß sich die Bewegung um so länger fortsetzt, je mehr diese Hindernisse beseitigt werden. Berücksichtigt man nämlich, wie lange ein und derselbe Körper bei gleicher Anfangsgeschwindigkeit seine Bewegung fortsetzt, so ergibt sich, daß die Beschaffenheit der Fläche, auf welcher der Körper gleitet oder rollt, einen wesentlichen Einfluß auf die Dauer der Bewegung ausübt (Reibung). Je glatter die Fläche ist, desto länger dauert die Bewegung. Außerdem leistet auch die Luft, welche der Körper bei seiner Bewegung vor sich her verdrängen muß (bei Schiffen das Wasser), einen Widerstand. Hieraus läßt sich schließens, daß jeder Körper seine einmal angenommene Bewegung unverändert beibehalten würde, wenn gar kein Hindernis für ihn vorhanden wäre. Beispiele von ununterbrochener Bewegung sind die Bewegungen der Himmelskörper.

Die Körper können weder von selbst in Bewegung geraten, noch eine Bewegung, die sie einmal angenommen haben, von selbst ändern:

Trägheit oder Beharrungsvermögen.

Jede Ursache, durch welche eine Änderung in dem Ruhe- oder Bewegungszustande eines Körpers hervorgerufen werden kann, wird Kraft genannt.

Infolge der Trägheit der Körper ist stets eine gewisse Zeit dazu erforderlich, daß Ruhe und Bewegung ineinander übergehen. Ein ruhender Eisenbahnzug kann nicht plötzlich schnell fahren, und umgekehrt. Zieht die Lokomotive anfangs zu stark an, so zerreißen die Verbindungsketten, weil die Bewegung sich nicht so schnell auf die Wagen übertragen kann; stoßen zwei schnell fahrende Züge gegeneinander, so werden oft ohne weitere Einwirkung des Dampfes Lokomotive und Wagen zertrümmert, da diese ihre Bewegung fortsetzen wollen. Schlägt eine abgeschossene Kugel gegen eine leicht bewegliche Thür, so wird diese durchlöchert, aber kaum merklich bewegt, da die Zeit der Einwirkung zu kurz ist u. s. w.

Übungsstoff. 1. Nenne Kräfte, welche im täglichen Leben zur Erzeugung von Bewegungen angewandt werden? — 2. Inwiefern hat man nach bekannten Erfahrungen sowohl auf die Schnelligkeit der Bewegung, als auf die Masse des K. Rücksicht zu nehmen, wenn man einen bewegten K. wieder zur Ruhe bringen will? Beispiel! — 3. Führe einige Fälle an, in denen ein K. durch einen geringen, aber andauernden Druck mit dem Finger sich leichter bewegen läßt, als durch einen kräftigen Schlag mit dem Hammer. — 4. Durch einen Wurf sei eine Fensterscheibe zersplittert, eine andere nur durchlöchert. Wie sind diese Erschn. zu erklären, wenn die Steine, mit denen der Wurf ausgeführt wurde, sich durch ihre Größe und Form nicht wesentlich unterscheiden? — 5. Nach welcher Seite fließt der Inhalt eines gefüllten Tellers leicht über, wenn man diesen schnell fortzieht? Erkl.! — 6. Auf einem Wagen fällt man leicht nach hinten über, wenn er plötzlich angezogen wird, dagegen nach vorn, wenn er plötzlich stillsteht. Erkläre dies. — 7. In welcher Richtung fällt man leicht zu Boden, wenn man von einem schnell fahrenden Wagen hinten so abspringt, daß der Rücken dem Wagen zugewandt ist? — 8. Wie kann man ohne große Gefahr von einem nicht zu schnell fahrenden Wagen abspringen, u. w.? — 9. Warum ist es gefährlich, bergab schnell zu laufen oder zu fahren? — 10. Welcher Gefahr ist ein Reiter ausgesetzt, wenn das Pferd im schnellsten Laufe plötzlich stillsteht, u. w.? — 11. Wie erklärt es sich, daß Kugeln noch fortfliegen, wenn das Pulver nicht mehr auf sie einwirken kann? — 12. Auf dem Deck eines schnell fahrenden Schiffes kann man einen senkrecht aufwärts geworfenen Ball vom Schiffe aus auch wieder auffangen, obgleich es doch scheint, als ob das Schiff darunter wegfahren müßte. Erkl.! — 13. Wie muß man verfahren, um von zwei aufeinander liegenden Büchern das untere so wegzuziehen, daß das obere, ohne berührt zu werden, liegen bleibt? Grund! — 14. Worüber kann der in Fig. 5 dargestellte, bekannte Versuch uns belehren? Beschreibung und Erkl.! — 15. Wie pflegt man Hämmer, Äxte u. s. w. auf ihren Stielen zu befestigen? Erkl.!

Fig. 5.



Wirkungen der Schwerkraft.*)

§ 4. Schwere. Wenn man einen festen Körper, etwa einen Stein, frei in der Hand hält, so empfindet man einen **Druck**; hält man den Körper frei an einem Faden, so ist ein **Zug** bemerkbar. Schraubenförmig gewundene Drähte, elastische Schnüre u. dgl. strecken sich, wenn Körper frei daran aufgehängt werden (Fig. 6, folg. Seite). Druck und Zug sind abwärts gerichtet und bei verschiedenen Körpern von ungleicher Stärke. (Beispiele!) — Wird dem unterstützten Körper seine Unterlage

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 56.

entzogen, so fällt er in derselben Richtung, in der er vorher den Druck ausübte, zur Erde, wie der aufgehängte Körper sich selbst überlassen in der Richtung des ausgeübten Zuges niederschlägt.

Die Richtung, welche der Faden (AB, Fig. 7) eines frei aufgehängten Körpers in seiner Ruhelage hat, wird senkrecht, auch lotrecht oder vertikal¹⁾ genannt; dieselbe bildet mit der Oberfläche (CD) stillstehenden Wassers rechte Winkel ($\sphericalangle m = n = 1 R$).

Die gleichen Wahrnehmungen machen wir bei den Flüssigkeiten. Jedermann weiß, daß ein Gefäß nicht so leicht gehoben werden kann, wenn es mit einer Flüssigkeit gefüllt, als wenn es leer ist. Der Druck oder Zug, welchen wir beim Heben des Gefäßes empfinden, ist ebenfalls abwärts gerichtet und um so größer, je mehr Flüssigkeit das Gefäß enthält. Regentropfen fallen bei ruhiger Luft in derselben Richtung herab, in der ein frei fallender Stein sich gegen den Boden hin bewegt u. s. w.

Die luftförmigen Körper lassen jene Eigenschaft zwar nicht so leicht erkennen, doch weisen gewisse allgemein bekannte Erscheinungen deutlich darauf hin, daß auch ihnen dieselbe zukommt, namentlich liefert die Anwendung sehr empfindlicher Wagen einen sicheren Beweis dafür. Taucht man z. B. eine Röhre in Wasser ein, so steigt dieses darin hinauf, sobald man die Luft etwa durch Ansaugen oder Aufziehen eines Kolbens aus der Röhre entfernt (Trinken durch einen Strohhalm, Füllen einer Handspritze u. s. w.). Wir schließen hieraus, daß die auf dem Wasser ruhende Luft einen Druck auf dasselbe ausübt, und finden die Richtigkeit dieses Schlusses dadurch bestätigt, daß leichte, verschlossene Gefäße (z. B. ein Glasballon) auf eine empfindliche Wage einen merklich stärkeren Druck oder Zug ausüben, wenn sie mit einem luftförmigen Körper gefüllt, als wenn sie leer sind. (1 Liter der uns umgebenden Luft wiegt etwas mehr als 1 ccm Wasser.)

Wegen der Kugelgestalt der Erde müssen jene Richtungen des Druckes, Zuges und freien Falles der Körper im *Mittelpunkte der Erde* zusammentreffen.

Alle Körper auf der Erde sind **schwer**, d. h. sie haben das Bestreben, sich geradlinig dem Mittelpunkte der Erde zu nähern. Ein unterstützter oder frei aufgehängter Körper übt daher einen senkrechten Druck oder Zug aus; ein nicht unterstützter Körper fällt senkrecht abwärts.

¹⁾ vertex, Scheitel, Gipfel.

Fig. 6.

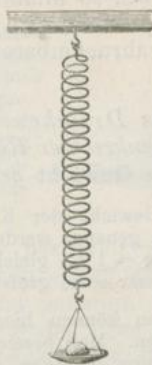
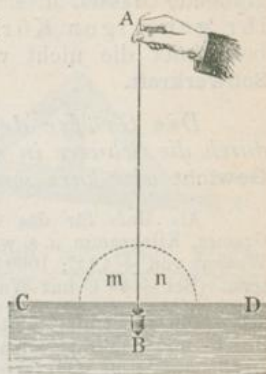


Fig. 7.



Da die oben angeführten Erscheinungen überall auf der Erde vorkommen, und selbst aus bedeutenden Höhen Körper zur Erde niederfallen (in die Höhe geschossene Kugeln, aus Vulkanen geschleuderte, glühende Massen u. s. w.), so nimmt man an, daß die Erde alle zu ihr gehörigen Körper aus jeder Entfernung anzieht, und bezeichnet die nicht wahrnehmbare Ursache dieser Erscheinungen als **Schwerkraft**.

Die Größe des Druckes oder Zuges, welchen ein Körper durch die Schwere in senkrechter Richtung ausübt, wird sein absolutes Gewicht oder kurz sein Gewicht genannt.

Als Maß für das Gewicht der Körper dienen Gewichtseinheiten, welche Gramm, Kilogramm u. s. w. genannt werden. **1 g** ist das Gewicht von 1 ccm reinen Wassers von $+4^{\circ}\text{C}$; $1000\text{ g} = 1\text{ kg}$, gleich dem Gewicht von 1 Liter solchen Wassers. (Bei $+4^{\circ}\text{C}$ hat Wasser seine größte Dichtigkeit.)

Die Gewichtseinheiten können hiernach zugleich als einfachstes Maß für Druck- und Zugkräfte dienen. Man bezeichnet daher auch als *Krafteinheit eine Kraft, welche in ihrer eigenen Richtung einen ebenso großen Druck oder Zug zu bewirken vermag, wie 1 kg in senkrechter Richtung ausübt.*

Bem. Die beiden Ausdrücke **Schwere** und **Gewicht** dürfen nicht miteinander verwechselt werden, da Schwere die Ursache, Gewicht dagegen die Wirkung bezeichnet. Ein Körper von bedeutendem Gewichte würde demnach gegen den Sprachgebrauch als gewichtig und nicht als schwer zu bezeichnen sein.

Eine allgemeine und sehr nützliche Anwendung findet die Schwere bei unseren Wanduhren, bei denen die Gewichtstücke durch den Zug, welchen sie ausüben, das Räderwerk in Bewegung halten.

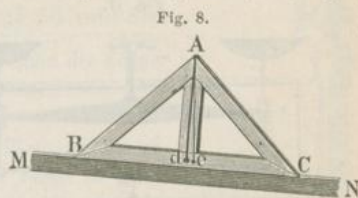
Die **Ausdehnung, Undurchdringlichkeit, Trägheit** und **Schwere** sind, da sie allen Körpern ohne Ausnahme zukommen, **allgemeine Eigenschaften** der Körper.

Übungsstoff. 1. Nenne feste K., welche bei gleicher Größe einen sehr ungleichen Druck oder Zug ausüben. — 2. Wie läßt sich letzteres mittelst eines dünnen Stahlstabes sichtbar nachweisen? — 3. Wie läßt sich mit Hilfe eines gewundenen Drahtes (Fig. 6) oder einer elastischen Schnur untersuchen, ob 2 K. gleiches Gewicht haben? — 4. Wie ferner, ob das Gew. eines K. a. das Doppelte, b. das Dreifache, c. das Vierfache von dem Gew. eines anderen K. beträgt? — 5. Bei derartigen Gewichtsbestimmungen kommt eine sehr wichtige besondere Eigenschaft der K. zur Anwendung, welche *Elasticität**) genannt wird. Worin besteht dieselbe nach dem Verhalten, welches Stahlstab, Draht und Schnur dabei zeigen? — 6. Wv. wiegt a. 1 ccm, b. 1 Liter, c. 1 cbm W.? — 7. Welche Richtung hat die Oberfläche einer Flgk. in einem schräg stehenden Gefäße? — 8. Warum kann ein frei hängendes Lot nicht mit der Oberfläche aller Gewässer nach jeder Richtung rechte Winkel bilden? — 9. Was wird eintreten, wenn man das Gewichtstück einer Wanduhr ein wenig aufhebt, u. w.? — 10. In einer langen Glasröhre soll eine Bleikugel so hinabfallen, a. daß sie die Röhre während des Fallens nicht berührt, b. daß man sie darin hinabrollen hört. Wie ist dies auszuführen? — 11. Wie erklärt es sich, daß in die Höhe geschossene Kugeln wieder zur Erde zurückkommen? — 12. Was sollte man nach § 3 von denselben eigentlich erwarten, u. w.? — 13. Warum können die Fallrichtungen zweier weit voneinander entfernten K. nicht parallel sein? — 14. Welche Richtung haben zwei viele Meilen voneinander entfernte Türme gegeneinander, u. w.?

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 53.

§ 5. **Lot und Wage.*)** Zur Bestimmung der senkrechten Richtung wird im täglichen Leben das sogen. Lot angewandt. Es besteht aus einer Schnur, an deren unterem Ende eine Bleikugel oder ein walzenförmiges, nach unten zugespitztes Stück Messing befestigt ist (AB, Fig. 7).

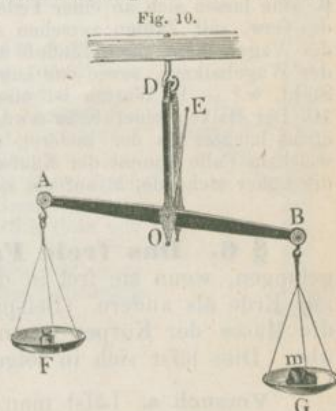
Um zu beurteilen, ob ein Gegenstand senkrecht steht, hält man das Lot daneben und vergleicht die Richtung des Gegenstandes mit der Richtung der Schnur. — In Verbindung mit einem hölzernen Gestelle von der Form eines gleichschenkligen Dreieckes läßt sich das Lot in vielen Fällen auch zur Bestimmung der wagerechten Richtung anwenden (Setzwage, Fig. 8).



Das Gewicht der Körper bestimmt man mit einer **Wage**, deren wesentlichster Teil entweder von einem schraubenförmig gewundenen Stahldrahte, auch Schraubenfeder genannt, oder von einem unbiegsamen, wie eine Wippe drehbaren Stabe oder Balken gebildet wird. Man unterscheidet hiernach Federwagen und Balkenwagen.

a. Die **Federwage**. Die Schraubenfeder derselben ist gewöhnlich in ein walzenförmiges Gehäuse eingeschlossen, das zur Angabe des Gewichtes

entweder selbst mit einer numerierten Teilung versehen ist (Fig. 9), oder vorn eine kreisförmige Scheibe trägt, auf deren Rande ein Zeiger das Gewicht anzeigt. Je nachdem die Wage zum Stehen oder Hängen eingerichtet ist, befindet sich die Wagschale oben auf einem Stabe oder sie ist unten an Ketten so befestigt, daß die Feder durch die Last zusammengedrückt wird.

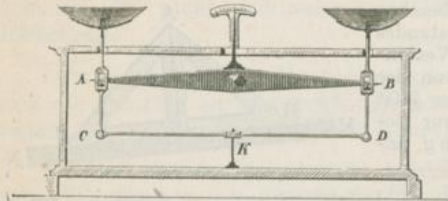


b. Die **gemeine Krämerwage** (Fig. 10). Sie ist von den Balkenwagen die gebräuchlichste. Der unbiegsame Balken derselben (Wagebalken, AB) ist in seiner Mitte in einer gabelförmigen Schere (DO) so aufgehängt, daß er sich um eine quer gerichtete Achse sehr leicht drehen läßt und nach jeder Bewegung in wagerechter Lage zur Ruhe kommt. Die Achse ist entweder rund oder unten zugespitzt (Fig. 11, folg. Seite). Senkrecht über derselben ist auf dem Wagebalken die stabförmige Zunge (EO) befestigt, welche anzeigt, ob der Balken genau wagerecht steht. An den Enden des Wagebalkens hängen zwei Schalen, von denen die eine für die Gewichtstücke, die andere für die Ware bestimmt ist. Bei wagerechter Stellung des Balkens geben die Gewichtstücke das Gewicht der Ware an.

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 69.

Letzteres läßt sich dadurch nachweisen, daß man die Ware (m) bei wagerechter Stellung des Wagebalkens (Fig. 10) mit einem andern Körper (z. B. Bleischrot) vertauscht, welcher an der Stellung des Balkens nichts ändert, und darauf die Ware an Stelle des Gewichtstückes auf die andere Schale legt. Wie ist hierbei zu schließsen?

Fig. 11.



tragen. Bei horizontaler Lage der Balken ist Gleichgewicht vorhanden.

Übungsstoff. 1. Wie läßt sich ermitteln, ob eine Mauer senkrecht steht? — 2. Welchen Zweck hat die Spitze unten am Lot? — 3. Desgl. die Linie, welche an der Setzwaage die Spitze des Dreiecks mit der Mitte der Basis verbindet? — 4. Wie läßt sich eine Setzwaage auf ihre Richtigkeit prüfen? — 5. Beim Gebrauche der Setzwaage wird gewöhnlich eine Latte (Richtscheit) zu Hilfe genommen; w.? — 6. Wie lassen sich an einer Federwaage die Punkte bestimmen, welche zur Angabe des Gew. mit Zahlen versehen sind? — 7. Inwiefern kann die Form der Achse des Wagebalkens einen Einfluss auf den Gang der Waage ausüben? — 8. Die Achse des Wagebalkens, sowie das Lager desselben bestehen gewöhnlich aus sehr hartem Stahl, w.? — 9. Warum ist eine Krämerwaage ohne Zunge weniger brauchbar? — 10. Der Balken einer Krämerwaage stehe unbelastet schräg (der eine Arm sei etwas leichter als der andere), nach der Belastung dagegen wagerecht. In welchem Falle kommt der Käufer, resp. Verkäufer zu kurz, wenn die Ware a. auf die höher stehende, b. auf die tiefer stehende Schale gelegt war?

§ 6. Das freie Fallen der Körper. *) Manche Körper gelangen, wenn sie frei in der Luft fallen, aus gleicher Höhe schneller zur Erde als andere. (Beispiel!) Es hat hiernach den Anschein, als ob die Masse der Körper einen Einfluss auf die Fallgeschwindigkeit ausübe. Dies läßt sich in folgender Weise prüfen:

Versuch a. Läßt man eine wagerecht gehaltene Münze mit einem darauf gelegten Stückchen Papier frei fallen, so kommen beide Körper gleichzeitig unten an; fallen die beiden Körper neben- oder nacheinander, so bleibt das Papier weit zurück. — Erklärung:

Jeder in der Luft fallende Körper muß offenbar die Luft vor sich her verdrängen. Dies kann die Münze leichter als das Papier, da sie im Verhältnis zu ihrer Oberfläche ein bedeutend größeres Gewicht hat. Liegt nun das Papier auf der Münze, so wird es durch die Luft am Fallen nicht verhindert, denn die Münze verdrängt die Luft vor dem Papier her. Der Widerstand der Luft ist demnach die Ursache, daß das Papier für sich allein nicht ebenso schnell fiel als die Münze. Die Richtigkeit dieser Folgerung wird dadurch bestätigt, daß z. B. in einer mit der Luftpumpe möglichst luftleer gemachten Glasröhre

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 73.

(Fallröhre, Fig. 12) das kleinste Papierschnitzelchen kaum merklich langsamer fällt als z. B. eine Bleikugel. Dies führt zu dem Satze:

Im luftleeren Raume fallen alle Körper (an demselben Orte) gleichschnell (vergl. §§ 56 und 88).

Ähnliche Erscheinungen wie diejenigen, welche die Körper beim Fallen in der Luft zu erkennen geben, zeigen sich auch beim Fallen der Körper im Wasser.

Versuch b. Läßt man etwa ein Stück Blei und ein ungefähr ebenso großes Stück Kreide von gleicher Form in einem hohen, mit Wasser gefüllten Glasgefäße zugleich nebeneinander fallen, so bleibt die Kreide hinter dem Blei zurück. — Was würde hiernach in ebenso tiefem fließenden Wasser erfolgen?

Hierauf beruht die Fortbewegung von Gesteinsmassen durch die Flüsse, wobei die leichten, sandigen Teile am weitesten gelangen; die sogen. Goldwäsche und das Schlämmen der in Pochwerken zerkleinerten Erze, das den Zweck hat, die metallhaltigen Teile von den übrigen Mineralteilen zu trennen; ferner das Schlämmen des Ackerbodens, wodurch sich der Gehalt des Bodens an Kies, Sand, Thon u. dgl. ermitteln läßt.

Übungsstoff. 1. Welcher Einwand könnte gegen die Erklärung des obigen Versuches erhoben werden, wenn das Papier vorher angefeuchtet würde? — 2. Was würde eintreten, wenn das Papier an einer Seite über den Rand der Münze hervorragte, u. w.? — 3. Angenommen, man legte das Papier unter die Münze und ließe dann beide K. fallen; würde dann der Versuch das Angeführte beweisen? Grund! — 4. Warum fliegen Spitzkugeln bei gleicher Pulverwirkung weiter als runde Geschosse? — 5. Werden ein Stück Blei und ein ebenso großes Stück Holz und Kork in der Luft gleichschnell fallen? Grund! — 6. Durchströmt ein Fluß, welcher reich an Gesteinsteilchen ist, einen großen und tiefen See, so fließt er aus demselben fast vollständig geklärt ab; w.?

Fig. 12.



II. Abschnitt.

Gleichgewicht und Bewegung der Körper.

(Mechanik.)

A. Von den festen Körpern.

Einfache Maschinen.*)

§ 7. Der Hebel. Wenn Körper von bedeutendem Gewichte, z. B. schwere Steine, Baumstämme u. dgl., ein wenig gehoben oder fort-

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 68.

gewälzt werden sollen, so pflegt man sich die Arbeit dadurch zu erleichtern, daß man Hebebäume oder Brechstangen von Holz oder Eisen zu Hülfe nimmt. Man verfährt dabei in zweifacher Weise: Entweder unterstützt man einen nahe am Ende des Stabes gelegenen Punkt (O, Fig. 13) und drückt den Stab an seinem anderen Ende nieder, sodafs er sich um den Punkt wie eine Wippe

Fig. 13.

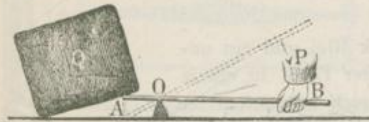
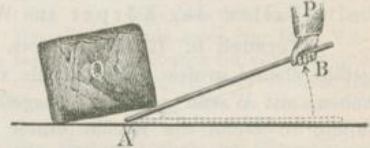


Fig. 14.



bewegt, oder man stemmt das eine Ende desselben (A, Fig. 14) gegen den Boden und hebt das andere Ende (B) in die Höhe. In beiden Fällen wird der Körper (Q) gehoben.

Ein unbiegsamer Stab, welcher so unterstützt ist, daß er um den Unterstützungspunkt gedreht werden kann, wird Hebel genannt. Hebebäume und Brechstangen sind demnach Hebel.

Den Körper, der mittelst eines Hebels gehoben werden soll, nennt man Last.

Die Richtung, in welcher Kraft und Last auf den Hebel einwirken, kann sehr verschieden sein. Die Erfahrung lehrt, daß man eine möglichst kräftige Wirkung erzielt, wenn man den Druck oder Zug, durch welchen man den Widerstand überwinden will, rechtwinklig (nicht schräg) auf den Hebel ausübt. Aus demselben Grunde giebt man dem Hebel, wo es irgend geschehen kann, eine solche Lage, daß auch die Last rechtwinklig auf ihn einwirkt. Für diesen Fall werden die beiden Teile des Hebels, welche zwischen dem Drehpunkte und den beiden Angriffspunkten liegen, als **Hebelarme** (Kraft- und Lastarm) bezeichnet.

Im folgenden ist nur dieser einfachste Fall berücksichtigt worden.

Liegt der Drehpunkt eines Hebels am Ende desselben (Fig. 14), so heißt der Hebel einarmig; liegt er zwischen den beiden Angriffspunkten, zweiarmig, und zwar gleicharmig (Fig. 10), wenn die Hebelarme gleichlang, ungleicharmig (Fig. 13), wenn sie ungleichlang sind. (Auch beim einarmigen Hebel unterscheidet man Kraft- und Lastarm.)

Mechanischer Vorteil und Nachteil.

Der Gebrauch der Krämerwage (Fig. 10) lehrt, daß zum Heben einer Last bei Anwendung eines gleicharmigen Hebels ebensoviele Kraft nötig ist, als die Last beträgt, sowie daß bei einer Drehung des Hebels die Last um ebensoviele gehoben wird, als die Kraft den Hebel in ihrem Angriffspunkte niederdrückt. Beim gleicharmigen Hebel findet daher nur eine vorteilhafte Änderung der Kraftrichtung statt. Man kann deswegen den gleicharmigen Hebel auch als **Richtungshebel** bezeichnen.

Fig. 1
Unter
in we
lehrt,
ger l
weit
zeichn

seiner

noch
und Z
Schlüs
Manch
wie z.F
(Fig. 1
gen (J
Schere
aus z w
mitein
denen
welche
den ei

Stein
B, so
armig
ausge
von g
armig
einen
Tritt
teren
Druck
obere
wege
Auf-
in so
Rad
eine

kürzt
erfor
zeugt
eine
Je n
Rand

Kraft

Anders verhält es sich beim ungleicharmigen Hebel. In Fig. 13 und 14 greift die Hand den Stab in einem Punkte an, der vom Unterstützungspunkte bedeutend weiter entfernt ist als derjenige Punkt, in welchem der Stein einen Druck auf den Stab ausübt. Die Erfahrung lehrt, daß sich auf diese Weise große Widerstände mit geringerer Kraft überwinden lassen; die Kraft muß dabei freilich einen weit größeren Weg zurücklegen, als die Last zurücklegt. Ersteres bezeichnet man als *mechanischen Vorteil*, letzteres als *mechanischen Nachteil*.

Ein Hebel, dessen Kraftarm länger ist als sein Lastarm, kann seiner Wirkung wegen als **Druckhebel** bezeichnet werden.

Als Druckhebel wirken außer dem Hebebaume und dem Brecheisen auch noch Pumpenschwengel, Ruder, Schubkarren, die Messer der Brodschneideladen und Zuckerbrecher,

Schlüssel u. s. w. Manche Werkzeuge, wie z. B. Nufsknacker (Fig. 15), Kneifzangen (Fig. 16) und Scheren, bestehen aus zwei beweglich miteinander verbundenen Druckhebeln,

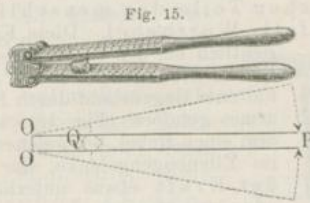


Fig. 15.

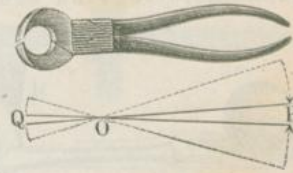


Fig. 16.

welche gegeneinander wirken. Was ist durch die unter den beiden Figuren stehenden einfachen Zeichnungen dargestellt?

Stellen wir uns vor, in Fig. 13 und 14 wirke die Kraft da, wo der Stein einen Druck auf den Hebel ausübt, die Last hingegen im Punkte B, so kehren sich die Verhältnisse um. Würde z. B. auf den zweiarmigen Hebel (Fig. 13) in A etwa mit dem Fufse ein kräftiger Stoß ausgeübt, so könnte ein auf das andere Ende des Hebels gelegter Stein von geringem Gewichte dadurch weit fortgeschleudert werden. Der einarmige Hebel (Fig. 14) würde, wenn er etwa die Einrichtung des mit einem Schleifsteine (Fig. 17), einem Spinnrade oder dergl. verbundenen Trittbrettes hätte und man nahe am unteren Ende desselben durch den Fuß einen Druck darauf ausübte, sich mit seinem oberen Ende viel schneller abwärts bewegen als der Fuß selbst. Eine geringe Auf- und Abbewegung des Fußes reicht in solchem Falle aus, den Stein oder das Rad mittelst Zugstange und Kurbel in eine schnelle Umdrehung zu versetzen.

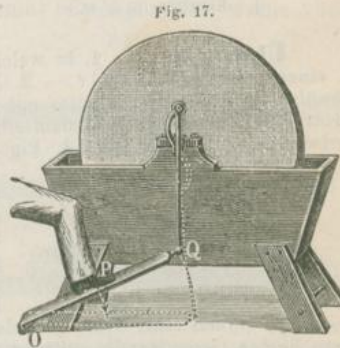


Fig. 17.

Welchen Einfluß eine solche Verkürzung des Kraftarms auf die Größe der erforderlichen Kraft ausübt, davon überzeugt man sich leicht, wenn man z. B. eine Thür durch einen Druck mit dem Finger in ihren Angeln bewegt. Je näher der Punkt, in welchem der Druck ausgeübt wird, dem hinteren Rande der Thür liegt, desto kräftiger muß der Druck sein.

Hieraus geht hervor, daß die Anwendung eines Hebels mit kurzem Kraftarme nicht mit einer Kraftersparnis verbunden ist, sondern im

gleich-
oder
Ent-
abes
einem
Wippe

Fig.
Höhe.
den
Hebe-
nennt

irken,
mög-
durch
(nicht
dem
h die
beiden
An-
et.

4), so
nken,
larme
sind.
arm.)

Heben
soviel
g des
Hebel
findet
tung
ungs-

Gegenteil mehr Kraft erfordert, als Last zu überwinden ist. Dies ist ein *mechanischer Nachteil*. Der *mechanische Vorteil* besteht bei einem solchen Hebel in der Vergrößerung der Geschwindigkeit.

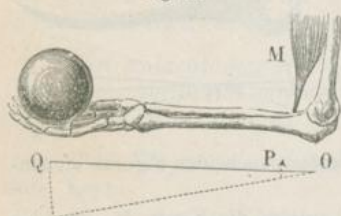
Hebel, bei denen der Kraftarm kürzer ist als der Lastarm, können ihrer Wirkung wegen als Wurfhebel bezeichnet werden.

Bem. Nur beim einarmigen Hebel pflegt man Druck- und Wurthebel zu unterscheiden.

Wie die Trittbretter, so bilden auch Wurfschaufeln, Sensen, Schäferstäbe u. s. w. Wurfhebel; auch Federhalter, Bleistifte und Pinsel stellen beim Gebrauche Wurfhebel dar. Zweiarmige Wurfhebel sind z. B. die Hämmer an den Schlagwerken der Stuben- und Turmuhren.

Die meisten beweglichen Teile des menschlichen und tierischen Skelettes sind ebenfalls Wurfhebel. Diese Einrichtung tritt sehr

Fig. 18.



deutlich bei den Gliedmaßen hervor. Wird z. B. bei herabhängendem Arme ein in der Hand gehaltener Gegenstand durch Bewegung des Unterarmes gehoben (Fig. 18), so bildet der Unterarm einen Hebel, bei welchem der Drehpunkt im Ellenbogengelenke, der Angriffspunkt der Kraft etwas unterhalb dieses Gelenkes und zwar da, wo der auf dem Oberarme liegende kräftige Muskel (M) am Unterarme befestigt ist, und der Angriffspunkt der Last in der Hand liegt. Zum Heben des Gegenstandes ist eine geringe Verkürzung des Muskels ausreichend. — Wodurch ist dies in der Figur angedeutet?

— Wodurch ist dies in der Figur angedeutet?

Eine besonders wichtige Anwendung findet der gleicharmige wie der ungleicharmige Hebel bei den Wagen zur Bestimmung des Gewichtes der Körper (vergl. § 69).

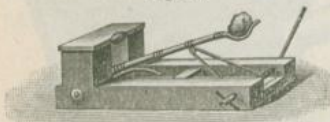
Fig. 19.



Je nachdem die Hebelarme gerade oder krumm sind, oder einen Winkel miteinander bilden, kann man gerade, krumme und Winkelhebel unterscheiden (Winkelhebel der Glockenzüge [Fig. 19], Thürklinken u. s. w.).

Übungsstoff. 1. In welchem Falle bildet eine Brechstange a. einen zwei- b. einen einarmigen Hebel? — 2. Mit einem Hebebaume soll ein Baumstamm fortgewälzt werden. Wie ist dies mit Vorteil auszuführen? — 3. Wie muß man ein Brett unterstützen, um mit demselben einen Stein durch einen kräftigen Schlag weit fortwerfen zu können? — 4. Fig. 20 stellt die Einrichtung einer von den alten Römern als Kriegsgerät angewandten Wurfmaschine dar. Erkl.! — 5. Wie würde sich bei den beiden Hebeln, Fig. 13 und 14, der mech. V. ändern, wenn der Stein a. in einem dem Drehpunkte des Hebels näher gelegenen, b. in einem vom Drehpunkte weiter entfernten Punkte auf den Hebel einwirkte? — 6. Wie hat man zu verfahren,

Fig. 20.



wenn das Öffnen einer Nuß mittelst Nußknackers (Fig. 15) oder das Zerschneiden eines harten Gegenstandes mittelst Schere möglichst leicht gehen soll? — 7. Welchen mech. V. und N. würde es haben, wenn bei dem Trittbrette (Fig. 17) der Fuß a. weiter nach unten, b. weiter nach oben aufgesetzt würde? — 8. Wie ändert sich bei jedem Hebel die Wirkung der Kr., wenn der Angriffsp. der Kr. a. dem Drehp. genähert, b. vom Drehpunkte weiter entfernt wird? — 9. Wird ein einarmiger Hebel am Ende mit einem Rade versehen, so kann er zur Fortschaffung von Lasten benutzt werden. Welches Werkzeug? — 10. Warum ist es hierbei nicht gleichgültig, an

welche
räder,
der U
und w
13. W
Sensen
es für
kurzen
Anwen

zwise
Versu

biegsa
Stärke
armig
er ut
zur B
rechts
des S
den
wird

Achse,
stück
aufwä
Last
einarm

chen
dem
Gewi
der h
pelt
fernu
fach
u. s. v

zur H
l cm
wenn
punkt
wirkte
Best
zu d
einer
b. die

welcher Stelle die Last liegt? — 11. Welche Teile der Pumpen, Feuerspritzen, Spinnräder, Nähmaschinen, Drehbänke, Schneideladen, Zuckerbrecher und Schlagwerke der Uhren bilden Hebel, und inwiefern? — 12. Welche von denselben sind ein- und welche zweiarmig, und worin besteht der mech. V. und der mech. N.? — 13. Was für Hebel (Druckhebel oder Wurfhebel) bilden Schlüssel, Spaten, Messer, Sensen, Schaufeln und Heugabeln beim Gebrauche? — 14. Welchen Vorteil hat es für den menschlichen und tierischen K., daß die Gliedmaßen Hebel mit sehr kurzen Kraftarmen bilden? — 15. Nenne Musikinstrumente, bei denen Hebel zur Anwendung kommen.

§ 8. Hebelgesetze. (Fortsetzung.) Ein genaues Verhältnis zwischen Kraft und Last ergibt sich für alle Hebel aus folgenden Versuchen:

Versuch a. Ein gerader, unbiegsamer Stab von gleichmäßiger Stärke (AB, Fig. 21) werde als *zweiarmiger Hebel* so unterstützt, daß er unbelastet in wagerechter Lage zur Ruhe kommt. Hängt man dann rechts und links vom Drehpunkte des Stabes in gleichen Abständen gleiche Gewichte auf, so wird das Gleichgewicht nicht gestört.

Dreht man den Hebel um seine Achse, so bewegt sich das eine Gewichtstück in senkrechter Richtung ebenso stark aufwärts, als das andere abwärts, man sagt: Die Wege, welche Kraft und Last in ihrer eigenen, senkrechten Richtung zurücklegen, sind einander gleich. Die beiden Angriffspunkte beschreiben dabei gleiche Kreisbogen.

Versuch b. Belastet man den zweiarmigen Hebel mit 2 ungleichen Gewichten (Fig. 22), so entsteht jedesmal Gleichgewicht, wenn von dem an der einen Seite aufgehängten Gewichte an der andern Seite 1) in der halben Entfernung das Doppelte, 2) in der doppelten Entfernung die Hälfte, 3) in der vierfachen Entfernung ein Viertel u. s. w. aufgehängt wird.

Welche Gewichte müßten hiernach zur Herstellung des Gleichgewichtes links 1 cm vom Drehpunkte aufgehängt werden, wenn rechts 1, 2, 4 und 8 cm vom Drehpunkte nacheinander eine Kraft von 100 g wirkte? Wie ändert sich demnach das Bestreben dieser Kraft, den Hebel zu drehen, wenn der Hebelarm verlängert wird? Wie verhalten sich a. die bei einer Drehung des Hebels von den beiden Angriffspunkten beschriebenen Kreisbogen, b. die Wege, welche Kraft und Last in ihrer eigenen Richtung zurücklegen?

Fig. 21.

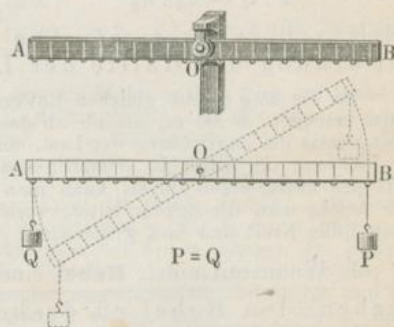
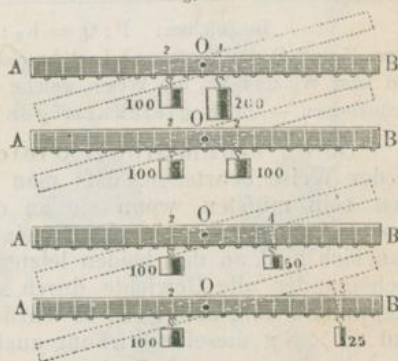


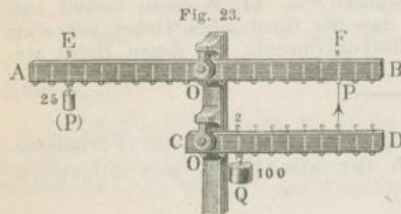
Fig. 22.



ist.
at bei
win-
arm,
bel zu
erstäbe
m Ge-
n den
ieriri-
t sehr
d z. B.
nd ge-
Unter-
Unter-
unkt
unkt
denkes
e lie-
ne be-
t der
Gegen-
Mus-
mige
r Be-
einen
Win-
Thür-
zwei-
fort-
an ein
g weit
alten
Wurf-
ch bei
ch. V.
Dreh-
einem
auf den
fahren,
neiden
Wel-
r Fuß
et sich
Drehp.
Hebel
enutzt
ig, an

Bildeten bei Versuch a und b die beiden Hebelarme einen Winkel miteinander, so würde dies an dem Ergebnis nichts ändern, vorausgesetzt, daß Kraft und Last wie vorhin rechtwinklig auf ihre Hebelarme einwirken.

Versuch c. Ein *einarmiger Hebel* (CD, Fig. 23), werde zunächst



$$P : Q = h_q : h_p$$

unbelastet etwa dadurch im Gleichgewicht gehalten, daß man ihn durch eine Schnur mit einem zweiarmigen Hebel verbindet und an letzterem ein Gegengewicht (in der Figur nicht angegeben) aufhängt. Belastet man dann den Stab wie vorhin etwa 2 cm von der Achse mit 100 g, so entsteht Gleichgewicht, wenn man an der entgegengesetzten Seite des zweiarmigen Hebels, z. B. in der vierfachen Entfernung $\frac{1}{4}$, in der doppelten Entfernung die Hälfte der Last u. s. w. wirken läßt.

Da die 25 g in der gleichen Entfernung rechts (in F) einen Zug von gleicher Größe erzeugen, so ist es, als ob an dem einarmigen Hebel nach oben, also entgegengesetzt der Zugrichtung der Last, eine Kraft von 25 g wirkte. Abgesehen von der Richtung der Kraft ist demnach das Ergebnis dasselbe, wie bei Versuch b. Statt des zweiarmigen Hebels kann man auch eine feste Rolle zu Hilfe nehmen, über welche man die Schnur leitet; vorher hat man noch zu zeigen, daß an der festen Rolle Kraft und Last gleich sind.

1. Wenn auf einen **Hebel** eine Kraft einwirkt, so nimmt ihr Bestreben, den Hebel zu drehen, in demselben Verhältnis zu, in welchem ihr Hebelarm länger wird.

2. Am **Hebel** herrscht Gleichgewicht, wenn die Kraft sich zur Last verhält, wie der Lastarm zum Kraftarm. — Die Wege, welche Kraft und Last bei einer Drehung des Hebels in ihrer eigenen Richtung zurücklegen, verhalten sich umgekehrt wie Kraft und Last zu einander.

$$\text{In Zeichen: } P : Q = h_q : h_p \text{ und } W_p : W_q = Q : P,$$

wenn P und Q die Kraft und Last bezeichnen, h_p und h_q die Hebelarme der Kraft und Last W_p und W_q die Wege, welche Kraft und Last* in ihrer eigenen Richtung zurücklegen. — Beim gleicharmigen Hebel ist $P = Q$ und $W_p = W_q$.

Ob an einem Hebel Gleichgewicht entsteht, läßt sich auch in der Weise beurteilen, daß man sich überlegt, wie groß Kraft und Last sein müßten, wenn sie an einem gleicharmigen Hebel wirkten, dessen Arme nur je eine Längeneinheit (etwa 1 cm) lang sind. Denkt man sich z. B. an den beiden letzteren der in Fig. 22 dargestellten Hebel nacheinander alle Gewichte durch ein Gewicht ersetzt, das 1 cm vom Drehpunkte aufgehängt sei, so würden links 100×2 g, rechts 50×4 g und 25×8 g dieselbe Wirkung ausüben. Die auf diese Weise erhaltenen Produkte kann man als **Drehungsmomente**¹⁾ bezeichnen und hiernach die Gleichgewichtsbedingung des Hebels auch durch den Satz ausdrücken:

¹⁾ momentum, das Bewegende, die Wucht.

Ein Hebel ist im Gleichgewicht, wenn das Drehungsmoment der Kraft dem Drehungsmoment der Last gleich ist.

In Zeichen: $P \cdot h_p = Q \cdot h_q$, was auch aus obiger Proportion folgt.

Beispiel. Aufgabe: An einem Hebel (Fig. 24 und 25) wirke 8 cm vom Drehpunkte eine Last von 72 kg. Wie groß muß zur Herstellung des Gleichgewichtes die Kraft sein, wenn sie 60 cm vom Drehpunkte wirken soll?

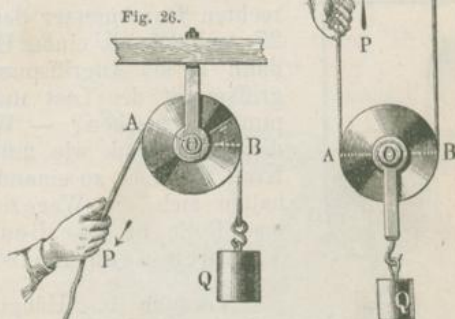
Auflösung (nach 1) ohne Proportion. 72 kg regen den Hebel an einem 8 cm langen Hebelarme ebenso stark zur Drehung an, wie $72 \times 8 = 576$ kg an einem Hebelarme von 1 cm Länge. Es entsteht daher Gleichgewicht, wenn man am andern Hebelarme 1 cm vom Drehpunkte ebenfalls 576 kg, oder in einem Abstände von 60 cm den 60. Teil, also $\frac{576}{60} = 9,6$ kg wirken läßt.

Auflösung (nach 2) durch Proportion. $P:72 = 8:60$; also $60 \cdot P = 72 \cdot 8$, in welcher Gleichung 60 · P und 72 · 8 die Drehungsmomente sind.

Übungsstoff. 1. Warum läßt sich ein Stab vor dem Knie am leichtesten durchbrechen, wenn man ihn an seinen Enden anfasset? — 2. Wie ferner am leichtesten beim Auftreten mit dem Fusse; w.? — 3. Mittelst eines 2 m langen Hebebaumes soll ein Stein von 180 kg gehoben werden, der Lastarm sei 20 cm lang. Wv. Kr. ist erforderlich, wenn der Hebebaum a. als zwei-, b. als einarmiger Hebel gebraucht wird, und die Kr. jedesmal am Ende des Hebels, wirkt? — 4. Wv. Kr. würde in beiden Fällen nötig sein, wenn der Lastarm a. 25, b. 40, c. 50 cm lang wäre? — 5. In welchem Verhältnis ändert sich bei diesen Längen das Bestreben der Kr., den Hebel zu drehen? — 6. Wie verhalten sich in jedem einzelnen Falle die Wege zu einander, welche a. die beiden Angriffspunkte, b. die Kr. und L. in senkrechter Richtung beim Heben des Steines zurücklegen? — 7. Wv. L. könnte überwunden werden, wenn in den angeführten Fällen jedesmal eine Kr. von 25 kg wirkte? — 8. Wie müßten sich die Hebelarme zu einander verhalten, wenn der Stein (Frage 3) a. durch 15, b. durch 20, c. durch 25 kg Kr. gehoben werden sollte? — 9. Welchen mech. V. hat die Verlängerung oder die Verkürzung des Kraftarms, und welchen mech. N.? — 10. Welchen mech. V. und welchen mech. N. hat a. die Verlängerung, b. die Verkürzung des Lastarms? — 11. Wie läßt sich beim Hebel das Verhältnis, in welchem Kr. und L. für den Fall des Glgew. zu einander stehen, aus der Länge der Wege ableiten, welche Kr. und L. bei einer Drehung des Hebels zurücklegen?

§ 9. Die Rolle.

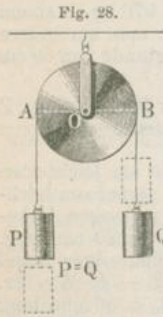
Um schwere Warenballen oder dergl. auf hoch gelegene Lagerplätze zu heben, große Mauersteine, Mörtel und Balken am Bangerüst hinaufzuziehen u. s. w., pflegt man kreisförmige, um eine Achse drehbare Scheiben anzuwenden, um deren Umfang in einer Rinne ein Seil läuft (Fig. 26 und 27). Solche Scheiben heißen Rollen. Die Achsen derselben liegen in sogen. Scheren oder Kloben.



Je nachdem die Rollen nur eine drehende, oder aufer dieser noch eine fortschreitende Bewegung ausführen, bezeichnet man sie als feste (Fig. 26 und 28) oder als lose Rollen (Fig. 27).

Bei den festen Rollen wirkt die Last an dem einen, die Kraft am andern Ende des Seiles; bei den losen Rollen hingegen wirkt die Last an der Schere, das eine Ende des Seiles ist mit einem festen Punkte verbunden, und das andere dient zum Angriffe für die Kraft.

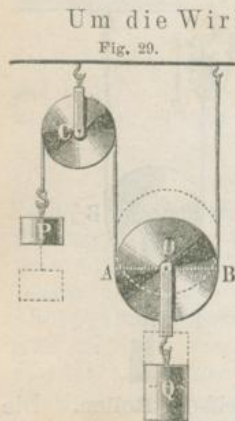
Um die Wirkung der festen Rolle auf die Wirkung des Hebels zurückzuführen, stelle man sich vor, die beiden Punkte (A und B, Fig. 26 und 28), in denen die Seilteile von der Rolle abgehen, seien die Angriffspunkte eines um O drehbaren Hebels, der aus der Rolle herausgeschnitten wäre. — Unter welcher Bedingung würde dann Gleichgewicht entstehen, und warum? — Wie würden sich die Wege zu einander verhalten? — Wende dies auf die feste Rolle an. — Bestätigung:



Versuch a. Hängt man an die beiden Schnurteile einer festen Rolle (Fig. 28) gleiche Gewichte, so entsteht Gleichgewicht. Bringt man darauf einen der beiden Schnurteile etwa dadurch in eine schräge Richtung, daß man ihn über eine andere, seitlich und tiefer gelegene Rolle leitet, so wird das Gleichgewicht nicht gestört. — Vergleiche die Wege miteinander, welche die Gewichte bei einer Drehung der Rolle zurücklegen.

Eine feste Rolle ist im Gleichgewichte, wenn Kraft und Last gleich sind. — Die Wege, welche Kraft und Last bei einer Drehung der Rolle zurücklegen, sind gleich.

In Zeichen: $P = Q$ und $W_p = W_q$.



Um die Wirkung der losen Rolle aus der Wirkung des Hebels abzuleiten, betrachte man den wagerechten Durchmesser der losen Rolle (AB, Fig. 27 und 29) als einen Hebel. Welcher Punkt ist dann 1) als Angriffspunkt der Kraft, 2) als Angriffspunkt der Last und 3) als Unterstützungspunkt anzusehen? — Was für ein Hebel würde dies sein, und wie müßten sich an demselben Kraft und Last zu einander verhalten? — Wie verhalten sich die Wege? — Wende dies auf die lose Rolle an. — Bestätigung durch den Versuch nach Anleitung von Fig. 29.

Versuch b. Hängt man die beiden Rollen so auf, daß die Schnurteile der losen Rolle nicht mehr parallel sind, so ist zur Herstellung des Gleichgewichtes mehr Kraft als vorhin erforderlich.

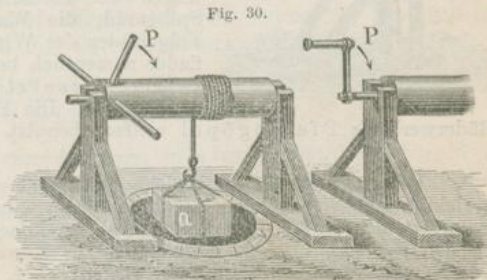
Eine **lose Rolle** ist im Gleichgewichte, wenn die Kraft halb so groß ist als die Last, vorausgesetzt, daß die beiden Seilteile der losen Rolle parallel sind. — Die Wege verhalten sich umgekehrt, wie sich Kraft und Last verhalten.

$$\text{In Zeichen: } P = \frac{1}{2}Q \text{ und } W_p : W_q = Q : P.$$

Feste Rollen sind ein bequemes Mittel, die Zugrichtung in vorteilhafter Weise umzuändern; sie werden daher auch als **Richtungsrollen** bezeichnet. Steine, Balken, Mörtel z. B. von oben am Baugerüst hinaufzuziehen, würde mit großen Schwierigkeiten verbunden sein; mittelst fester Rollen kann es von unten geschehen. Aus demselben Grunde werden feste Rollen auch beim Einrammen von Pfählen (mittelst Rammbär), zum Schließen von Thüren durch Zuggewichte, zur Aufhängung von Kronleuchtern, Hängelampen, Vogelbauern u. dgl. angewandt. — Um an Kraft zu sparen, muß man **lose Rollen** anwenden. Dieselben werden gewöhnlich mit festen Rollen verbunden. Die einfachste Verbindung dieser Art ist in Fig. 29 dargestellt. *)

Übungsstoff. 1. Worin stimmt eine feste mit einer losen Rolle überein, und wodurch unterscheiden sie sich? — 2. Welchen mech. V. gewährt die Anwendung einer losen Rolle, und worin besteht der mech. N.? — 3. Um wv. verkürzen oder verlängern sich a. bei Fig. 28, b. bei Fig. 29 die Seilteile im Verhältnis zu einander, wenn die L. gehoben wird? — 4. Vgl. hiermit die von der Kr. und L. zurückgelegten Wegstrecken. — 5. Kann die Größe der Rolle einen Einfluß auf das Verhältnis von Kr. und L. ausüben? — 6. Welchen Vorteil bietet es, bei Turmuhren und Regulatoren die Gewichtstücke an losen Rollen aufzuhängen, statt sie an den Enden der Schnüre zu befestigen? (Q, Fig. 29, stelle das Gewichtstück, C die Welle dar, um welche sich beim Aufziehen der Uhr die Schnur wickelt.) — 7. Wie müssen in diesen beiden Fällen die Gew. sich zu einander verhalten, wenn der auf das Räderwerk ausgeübte Zug derselbe sein soll? — 8. Durch den Zug, welchen ein Pferd in wagerechter Richtung ausübt, soll ein schwerer Mauerstein senkrecht gehoben werden. Wie ist dies mit Hilfe von zwei festen Rollen auszuführen? — 9. Wie lassen sich die Gesetze über die feste und die lose Rolle aus dem Hebelgesetze ableiten? — 10. Bei welcher Rolle ändert sich die Wirkung der Kr. mit der Richtung der Seilteile, und bei welcher nicht? — 11. Wv. L. kann durch 20, 30, 40 kg Kr. a. an einer festen Rolle, b. an einer losen Rolle im Glgew. gehalten werden? — 12. Wv. Kr. ist aber erforderlich, um 80, 90, 100 kg L. mittelst Rollen im Glgew. zu halten? — 13. Welchen Weg muß die Kr. dabei zurücklegen, wenn die L. um 4 m gehoben werden soll? — 14. Wie läßt sich nach den Wegen der Kr. und der L. beurteilen, unter welcher Bedingung Glgew. entsteht?

§ 10. Das Wellrad. Um Wasser aus tiefen Brunnen zu heben, Erde oder Gestein aus Schächten zu fördern, um das Steuerruder der Schiffe vom Deck aus zu bewegen und in vielen anderen Fällen bedient man sich des **Wellrades**, d. h. einer Vorrichtung, welche aus einer starken drehbaren Welle besteht, an deren einem Ende eine kreisrunde Scheibe, ein Rad oder mehrere Stäbe wie Speichen eines Rades (Fig. 30 links)



*) Vgl. II. Lehrstufe, § 70.

befestigt sind. Letztere können auch durch eine Kurbel ersetzt sein (Fig. 30 rechts). Beim Gebrauche wird die Welle um ihre Achse gedreht. Hierbei läßt man die Kraft je nach der Einrichtung des Wellrades am Umfange der Scheibe oder des Rades, oder am äußeren Ende der Stäbe oder an der Kurbel wirken, während die Last durch ein Seil auf die Welle einwirkt.

Um die Wirkung des Wellrades auf den Hebel zurückzuführen, denke man sich an Stelle des Wellrades (Fig. 31)

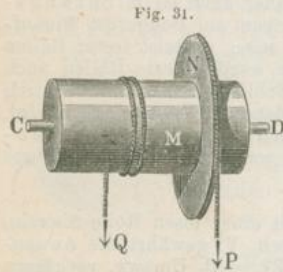


Fig. 31.

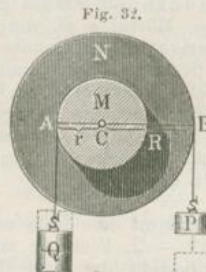


Fig. 32.

einen Hebel (AB, Fig. 32), dessen Drehpunkt in der Achse der Welle liegt, und dessen Arme mit den beiden Drehungsradien CA und CB zusammenfallen. Wie läßt sich dann für den Zustand des Gleichgewichtes das Verhältnis zwischen Kraft und Last bestimmen, und wie verhalten sich bei einer Drehung

der Welle die Wege zu einander?

Bestätigung durch den Versuch.

Am Wellrade ist Gleichgewicht vorhanden, wenn die Kraft sich zur Last verhält, wie der Radius (r) der Welle zum Radius (R) des Rades. — Bei einer Drehung des Wellrades stehen die Wege, welche Kraft und Last zurücklegen, im umgekehrten Verhältnis von Kraft und Last zu einander.

In Zeichen:

$$P : Q = r : R \text{ und } W_p : W_q = Q : P.$$

Je nach dem Zwecke,

den das Wellrad hat, ist die Einrichtung desselben verschieden. Im allgemeinen unterscheidet man Haspeln und Göpel. Bei ersteren ist die Welle wagerecht, bei letzteren senkrecht (Fig. 33). Zu den Haspeln gehören außer dem eigentlichen, aus Welle und Rad bestehenden Wellrade z. B. der Kreuzhaspel (Fig. 30 links), die Brunnenwinde (Fig. 30 rechts), das zum Bewegen des Steuerruders der Dampfschiffe dienende Spillenrad, die Wasserräder der Wassermühlen, die Flügelräder der Windmühlen u. s. w. — Das Wellrad findet namentlich bei den Räderwerken aller zusammengesetzten Maschinen eine ausgedehnte Anwendung. Die Erdwinde wird in Verbindung mit

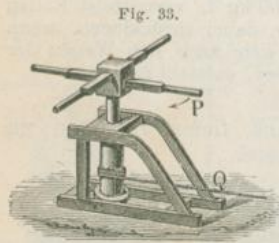


Fig. 33.

Räderwerk als Pferdegöpel vielfach benutzt.

Übungstoff. 1. Welche Schleifsteine sind ähnlich wie Wellräder eingerichtet, und wovon hängt es ab, ob mehr oder weniger Kr. bei denselben angewandt werden muß? — 2. Welche beiden einfachen Maschinen kommen sehr häufig an den Fenstern unserer Wohnungen zur Anwendung? — 3. Wo läßt man bei Wind- und Wassermühlen die Kr. wirken? — 4. Durch welche mech. Vorrichtungen setzt sich die durch Wind oder Wasser erzeugte Bewegung in der Mühle selbst weiter fort? — 5. Nenne ein Küchengerät und ein Musikinstrument, bei denen das Wellrad zur Anwendung kommt. — 6. Welchen Einfluß würde es auf die Wirkung

eines Wellrades ausüben, wenn man a. die Welle dicker oder dünner, b. die Kurbel größer oder kleiner machte? — 7. Warum läßt sich das Verhältnis der Halbmesser, an denen beim Wellrade Kr. und L. wirken, nicht ganz beliebig ändern? — 8. Leite das Gesetz über das Glgew. des Wellrades nach Anleitung von Fig. 32 aus dem Hebelgesetze ab. — 9. Bei einem Wellrade sei der Durchmesser der Welle 15 cm, der Durchm. des Rades 90 cm; wv. L. kann dann durch 20, 25, 30 kg Kr. im Glgew. gehalten werden? — 10. Wv. L. würde im Glgew. gehalten werden können, wenn an der Welle eine Kurbel von 30 cm Länge befestigt wäre? — 11. Wv. Kr. würde nötig sein, wenn an demselben Wellrade (Frage 9) 100, 150, 180 kg im Glgew. gehalten werden sollten? — 12. Um wv. wäre die L. gehoben, wenn die Kr. einen Weg von 6 m zurückgelegt hätte? — 13. Welchen Weg müßte die Kr. zurücklegen, wenn die L. um 2,5 m gehoben werden sollte? — 14. Wie läßt sich aus den von der Kr. und der L. zurückgelegten Wegen das Verhältnis von Kr. und L. ableiten?

§ 11. Die schiefe Ebene. Sollen gefüllte Fässer, Waren-

ballen, Kisten u. dgl. auf niedrige Lagerplätze gehoben oder von diesen herabgelassen werden, so bedient man sich, um Kraft zu sparen, einer Schrotleiter (Fig. 34); bei Bauten befördert man aus demselben Grunde Steine und andere Materialien auf schrägen Laufbahnen in die Höhe. Auch Bergstraßen, die in Windungen mit geringer Steigung angelegt werden, gewähren den Vorteil der Kraftersparnis bei der Fortbewegung von Lasten auf Wagen (Fig. 35), desgl. ansteigende Eisenbahnen und Rampen zur Auffahrt vor Gebäuden. -- In allen diesen Fällen wirkt die Last durch ihr Gewicht senkrecht nach unten; die Kraft kann verschiedene Richtungen haben. So kann

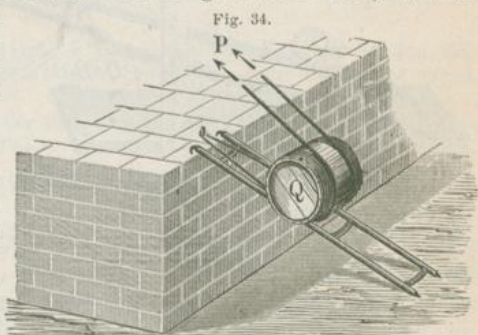


Fig. 34.

z. B. die Zuglinie des Wagens mit der Straße gleich, aber ebensowohl etwas höher oder tiefer als diese gerichtet sein. (Von allen möglichen Richtungen sind in Fig. 35 zwei angedeutet, von denen die eine mit der Straße OM selbst, die andere mit der Horizontalen ON. parallel ist.)

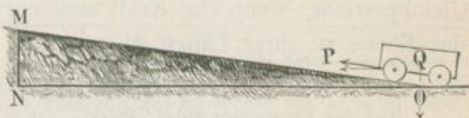


Fig. 35.

Jede gegen den Horizont geneigte Ebene, auf welcher eine Last fortbewegt werden kann, wird **schiefe Ebene** genannt.

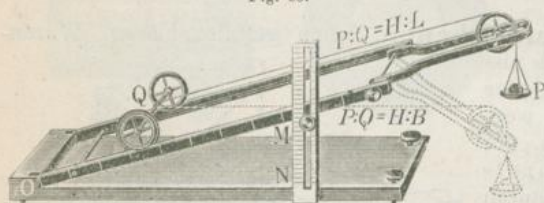
Das Lot (MN, Fig. 35) vom höchsten Punkte (M) der schiefen Ebene auf die durch den tiefsten Punkt (O) derselben gelegte Horizontalebene heißt die **Höhe**, der Abstand eines höchsten Punktes (M) vom Fußpunkte (O) heißt die **Länge** und der zwischen dem Fußpunkte (O) der schiefen Ebene und dem Fußpunkte (N) des Lotes gelegene Teil der Horizontalebene die **Basis** der schiefen Ebene. Der Winkel, welchen die schiefe Ebene mit der Basis bildet, heißt **Neigungswinkel**.

Die tägliche Erfahrung lehrt, daß man, um auf einer schiefen Ebene eine Last hinaufzubewegen, desto weniger Kraft nötig hat, je weniger steil die Ebene ist (**mechanischer Vorteil**), daß aber der Weg, welchen die Kraft zurücklegen muß, um die Last auf eine bestimmte Höhe zu heben, mit der Verkleinerung des Neigungswinkels an Länge zunimmt (**mechanischer Nachteil**). Genaueres hierüber lehren die folgenden Versuche.

Bem. Im folgenden sollen nur die beiden einfachsten Fälle betrachtet werden, nämlich daß die Kraft 1) parallel zur schiefen Ebene selbst und 2) parallel zur Basis wirkt.

Versuch a. Um zu untersuchen, wie bei einer schiefen Ebene die Kraft sich zur Last verhält, benutze man einen etwa nach Fig. 36 ein-

Fig. 36.



gerichteten Apparat. Die zweirädrige Achse, welche auf den schräg gerichteten Schienen ruht, sei die im Gleichgewicht zu haltende Last, die Schale mit den Gewichten stelle die Kraft dar. Stellt man den beweglichen Bügel so, daß die Schnur parallel zur Ebene gerichtet ist, so entsteht immer Gleichgewicht, wenn sich die Kraft zur Last verhält, wie MN zu MO, also wie die Höhe zur Ebene selbst. Ist MN etwa $= 10$, MN $= 40$ cm, so ist $P = \frac{1}{4}Q$.

Ändert man die Lage der Schienen, so erweist sich die Kraft als zu klein, wenn die Schienen steiler, als zu groß, wenn sie weniger steil liegen als vorhin.

1. Wirkt die Kraft parallel zur schiefen Ebene, so entsteht Gleichgewicht, wenn die Kraft sich zur Last verhält, wie die Höhe (h) der Ebene zu ihrer Länge (l).

$$\text{In Zeichen: } P : Q = h : l.$$

Aus der Proportion folgt: $P : Q = \frac{h}{l}$, d. h. Kraft = Last \times Steigung der schiefen Ebene. Beträgt z. B. die Höhe 1 m, die Länge 10 m, so drückt der Bruch $\frac{1}{10}$ die Steigung aus.

Versuch b. Stellt man den Bügel so, daß die Schnur mit der Basis ON parallel läuft, so ist zur Herstellung des Gleichgewichtes mehr Kraft als vorhin erforderlich, und zwar ist die Kraft sovielmal in der Last enthalten, als die Höhe in der Basis.

2. Wirkt die Kraft parallel zur Basis der schiefen Ebene, so tritt Gleichgewicht ein, wenn die Kraft sich zur Last verhält, wie die Höhe (h) zur Basis (b) der Ebene.

$$\text{In Zeichen: } P : Q = h : b.$$

Wird die Last von O bis M hinaufgezogen, so ist der Weg, welchen sie in ihrer eigenen (senkrechten) Richtung zurücklegt, gleich MN;

der von der *Kraft* in ihrer eigenen Richtung zurückgelegte Weg ist
 1) gleich OM, wenn die Kraft parallel zur schiefen Ebene selbst,
 2) " ON, " " " " " Basis der Ebene wirkt.

In letzterem Falle hat man sich vorzustellen, die Schnur behalte während der ganzen Bewegung durch allmähliche Hebung des Bügels ihre parallele Lage zur Basis bei. Für beide Fälle gilt demnach das Gesetz:

Die Wege, welche Kraft und Last in ihrer eigenen Richtung zurücklegen, verhalten sich bei der schiefen Ebene umgekehrt wie Kraft und Last zu einander.

$$\text{In Zeichen: } W_p : W_q = Q : P.$$

Beispiel. Aufgabe: Die Höhe einer schiefen Ebene betrage 40 cm, ihre Länge 3 m, die Last sei gleich 400 kg. Wv. Kraft ist erforderlich, um die Last im Glgew. zu halten, a. wenn sie parallel zur Ebene wirkt; b. wenn sie parallel zur Basis wirkte und letztere 2,5 m lang wäre?

Auflösung ohne Proportion. a. Bei 1 cm Höhe würde nur der 300. Teil der Last, also $\frac{400}{300} = 1\frac{1}{3}$ kg erforderlich sein; bei 40 cm Höhe ist 40mal soviel, mithin $40 \times 1\frac{1}{3} = 53\frac{1}{3}$ kg erforderlich.

b. Bei 1 cm Höhe würde nur der 250. Teil der Last, also $\frac{400}{250} = 1,6$ kg erforderlich sein, bei 40 cm Höhe ist 40mal soviel, mithin $40 \times 1,6 = 64$ kg erforderlich.

Auflösung durch Proportion. a) $P : 400 = 40 : 300$ u. s. w.

b) $P : 400 = 40 : 250$ „

Die allgemeinste Anwendung findet die schiefe Ebene bei der Fortbewegung von Lasten auf ansteigenden Strafsen und Eisenbahnen. Da die Reibung in allen denjenigen Fällen, in denen die Last auf der Ebene fortgleitet, weit mehr als beim Gebrauche der hebelartig wirkenden einfachen Maschinen als Bewegungshindernis auftritt, so ist zur richtigen Beurteilung des Verhältnisses zwischen Kraft und Last in praktischen Fällen auf den Einfluß der Reibung ganz besonders Rücksicht zu nehmen. Dasselbe gilt auch von den beiden folgenden, nach Art der schiefen Ebene wirkenden Maschinen (Keil und Schraube). In den angeführten Gesetzen ist der Einfachheit wegen von dem Reibungswiderstande abgesehen.

Übungsstoff. 1. Was ist vorteilhafter: die Zuglinie eines Gespannes so zu richten, daß sie mit der Strafsen parallel ist, oder daß sie mit derselben einen Winkel bildet, u. w.? (Fig. 35.) — 2. Ein Fafs von 200 kg werde von zwei Arbeitern auf einer Schrotleiter von 3 m Länge hinaufgerollt, deren oberes Ende gegen eine 0,75 m hohe Mauer gelehnt ist (Fig. 34.) Wv. Kr. muß jeder Arbeiter mindestens anwenden, um das Fafs im Glgew. zu halten, und zwar a. ohne Seil, b. mit Hilfe eines Seiles? (Vgl. zur Berechnung Fig. 27.) — 3. Wie muß die Höhe der schiefen Ebene (Fig. 36) sich zu ihrer Länge verhalten, wenn 360 kg L. durch 72 g Kr. parallel zur Ebene im Glgew. gehalten werden sollen? — 4. Eine Kugel wiege 5 kg. Wv. Kr. muß angewandt werden, um die Kugel in einer schrägen Rinne parallel zu letzterer im Glgew. zu halten, wenn diese auf 24 m 1,2 m Steigung hat? — 5. Welches Gew. könnte die Kugel haben, wenn 400 g Kr. angewandt würden? — 6. Wie stark dürfte die Steigung sein, wenn 9 kg mit 300 g parallel zur Ebene im Glgew. gehalten werden sollten? — 7. Vgl. die Kr., welche nötig ist, um eine L. parallel zur schiefen Ebene im Glgew. zu halten, mit derjenigen Kr., welche bei derselben schiefen Ebene angewandt werden muß, um die gleiche L. parallel zur Basis im Glgew. zu halten. — 8. Welches ist bei einer schiefen Ebene der von der L. wirklich zurückgelegte Weg, und welches der Weg, den sie in ihrer eigenen, d. h. senkrechten Richtung zurücklegt? — 9. Wie läßt sich aus dem Verhältnis der Wege auf die Gleichgewichts-Bedingungen zurückschließen? — 10. Vgl. die schiefe Ebene und den Hebel miteinander hinsichtlich der Art ihrer Anwendung.

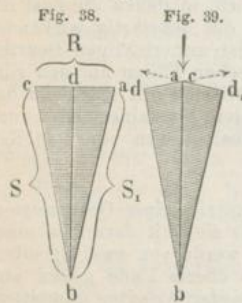
§ 12. Der Keil. Man bedient sich desselben bekanntlich zum Spalten eines Körpers (Fig. 37). Hierbei läßt man die Kraft senkrecht auf die Endfläche (den Rücken) des Keiles einwirken, während die Last (eigentlich die Doppellast) als Druck rechtwinklig gegen die beiden schrägen Seitenflächen (die Seiten des Keiles) wirkt.



Als Keil kann man jedes dreiseitige Prisma bezeichnen, dessen Grundflächen gleichschenklige Dreiecke bilden. — Der von den Seitenflächen eingeschlossene Winkel heißt Keilwinkel.

Die Erfahrung lehrt, daß man beim Keile um so weniger Kraft anzuwenden braucht, je schmaler der Rücken desselben im Verhältnis zur Länge ist, daß aber ein schmaler Keil tiefer eingetrieben werden muß als ein breiter, wenn die Wirkung dieselbe sein soll.

Aus einem Vergleiche des Keiles mit der schiefen Ebene läßt sich ein genaues Verhältnis zwischen Kraft und Last ableiten. Da jedes gleichschenklige Dreieck durch das von der Spitze auf seine Basis gefällte Lot in zwei kongruente rechtwinklige Dreiecke geteilt wird, so kann man sich den Keil aus zwei gleichen schiefen Ebenen (ba und bc, Fig. 38) zusammengesetzt denken, welche mit ihrer Basis (bd) fest verbunden



sind. Stellt man sich nun vor, diese beiden Hälften (bad und bcd) des Keiles seien so miteinander verbunden, daß die Seitenflächen desselben zusammenfallen (Fig. 39), die Basis jeder der beiden schiefen Ebenen also nach aufsen gekehrt ist, so geben die beiden Hälften des Rückens (nämlich da und d₁c der Fig. 39) offenbar die Richtungen an, in welchen die Doppellast auf den Keil einwirkt. Es läßt sich daher erwarten, daß die Kraft, welche zur Überwindung der einfachen Last erforderlich ist, zu dieser Last in demselben Verhältnis steht, wie die Höhe jeder der beiden gleichen schiefen Ebenen zur Länge dieser Ebenen (§ 11). Um die Doppellast im Gleichgewichte zu halten, muß die Kraft doppelt so groß sein. Zu der auf jede Seite des Keiles einwirkenden Last muß sich also die ganze Kraft verhalten, wie die doppelte Höhe der schiefen Ebene sich zur Länge der Ebene verhält, oder mit anderen Worten: wie der Rücken des wirklichen Keiles sich zu einer der beiden Seiten verhält. — Ist der Keil (Fig. 39) ganz eingetrieben, so hat die Kraft den Weg ab zurückgelegt, der Widerstand der Last dagegen ist in seiner eigenen Richtung um die Strecke ad + cd₁, also um die Länge des Rückens, überwunden. (Verhältnis der Wege?)

Dies läßt sich nach Anleitung von Fig. 40 (folg. Seite) mit annähernder Genauigkeit bestätigen.

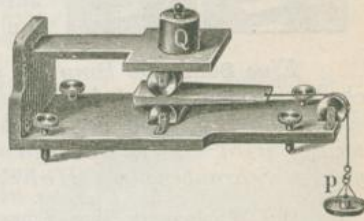
zum recht rücken, druck chen

Am **Keile** entsteht Gleichgewicht, wenn die Kraft sich zu der als Seitendruck wirkenden Last verhält, wie der Rücken (r) des Keiles zur Seite (s) desselben. — Die Wege, welche Kraft und Last in ihrer eigenen Richtung zurücklegen, stehen im umgekehrten Verhältnis von Kraft und Last.

In Zeichen: $P:Q = r:s$ und $W_p:W_q = Q:P$.

Die Anwendung des Keiles ist eine sehr mannigfaltige. Zahlreiche Werkzeuge, wie Messer, Nadeln, Scheren, Schwerter, Stemmeisen, Meißel, Beile, Spaten u. s. w., überhaupt alle Werkzeuge, welche zum Spalten, Schneiden oder Stechen dienen, bilden Keile. Oft wendet man den Keil auch zur Befestigung von Gegenständen an. Alle Nägel z. B. stellen Keile dar; die Räder der Maschinen werden auf ihren Wellen meist durch Keile befestigt, desgl. Holzapfen zu besserem Anschluß in den zugehörigen Löchern u. s. w. Auch zur Ausübung eines bedeutenden Druckes lassen sich Keile anwenden (Keilpressen).

Fig. 40.



Übungsstoff. 1. In welcher besonderen Weise kommt die schiefe Ebene beim Keile zur Anwendung? — 2. Warum sind Beile, Messer u. dgl. so geschliffen, dafs sie ziemlich schmale Keile bilden? — 3. Rasiermesser sind gewöhnlich an einer Seite hohl geschliffen; warum wohl? — 4. Bei welchen Säugetieren tritt die Keilform der Zähne einer bestimmten Zahngruppe ganz besonders hervor? — 5. Inwiefern ist bei der gewöhnlichen Anwendung des Keiles zum Spalten von Holz die Reibung vorteilhaft? — 6. In welcher Beziehung steht nach den Beobachtungen, welche man im täglichen Leben machen kann, die Gröfse des Keilwinkels zur Kraftersparnis? — 7. Warum darf der Keilwinkel nur bis zu gewissen Grenzen verkleinert werden? — 8. Zum Abhauen von Eisen u. dgl. mufs der Keilwinkel im allgemeinen gröfser genommen werden als zum Spalten von Holz; warum wohl? — 9. Vermittelst einer Keilpresse will man (abgesehen von der Reibung) durch eine auf den Rücken des Keiles wirkende Kr. von 50 kg einen Widerstand von 450 kg überwinden. Wie mufs der Keil eingerichtet sein? Verhältnis! — 10. Wie läfst sich aus dem für die schiefe Ebene geltenden Gesetze a. das Verhältnis von Kr. und L., b. das Verhältnis der Wege für den Keil ableiten?

§ 13. Die Schraube.

Fig. 41 stellt die bekannte Einrichtung einer Bücherpresse dar. C ist eine Schraube, durch deren Kopf ein Stab, AB, gesteckt ist, Q der Gegenstand, welcher gepresst werden soll. Durch wiederholtes Umdrehen der Schraube läfst sich ein sehr starker Druck oder auch, wie bei Fig. 42, ein Zug ausüben. Dies erklärt sich daraus, dafs die schräg ge-

Fig. 41.

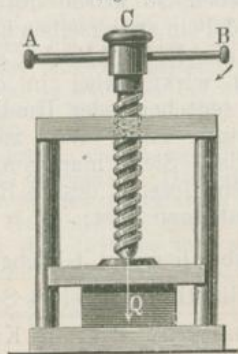
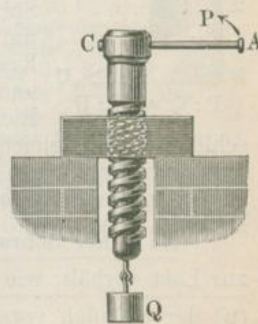


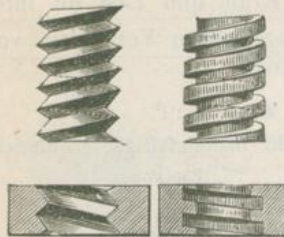
Fig. 42.



richteten Hervorragungen (Windungen), welche sich am Umfange der Schraube befinden, in ebenso gerichtete Vertiefungen des festliegenden Querbalkens eingreifen, sodass bei der Drehung zugleich eine senkrechte Verschiebung der Schraube erfolgt. Welchen Zweck haben die Querstäbe AB und AC?

Fig. 43.

Fig. 44.



Eine vollständige Schraube besteht aus zwei Teilen: der Schraubenspindel und der Schraubenmutter. Bei der Schraubenspindel liegen die Windungen auf der äußeren, bei der Schraubenmutter auf der inneren Fläche (Fig. 43 und 44).

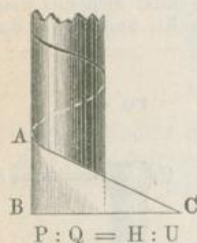
Eine Schraube kann als ein Cylinder angesehen werden, auf welchem ein Gewinde, d. h. eine unter immer gleichem Winkel sich herumwindende Erhöhung angebracht ist. Ein einzelner Umgang des Gewindes wird Schraubengang, der Abstand zweier aufeinander folgenden Schraubengänge Höhe des Schraubenganges genannt.

Die Windungen einer Schraube können scharfgängig (Fig. 43) oder flachgängig sein (Fig. 44). Kraft und Last können sowohl auf die Schraubenspindel, als auf die Schraubenmutter einwirken. Im ersteren Falle liegt die Schraubenmutter fest, und die Spindel wird um ihre Achse gedreht, wobei diese gleichzeitig eine fortschreitende Bewegung ausführt; im letzteren Falle hat die Spindel eine feste Lage, und die Schraubenmutter wird gedreht und verschoben.

Die Erfahrung lehrt: Je enger die Windungen einer Schraube sind, desto weniger Kraft braucht man bei derselben zur Ausübung eines Druckes oder Zuges anzuwenden, desto öfter aber muss man die Schraube umdrehen, um die gleiche Wirkung zu erhalten. — Genaueres ergibt folgende Betrachtung:

Denkt man sich um einen Cylinder (Fig. 45) ein rechtwinkliges

Fig. 45.



Dreieck als schiefe Ebene gewunden, so stellt die Hypotenuse desselben einen Schraubengang dar, dessen Höhe der Höhe AB der schiefen Ebene (AC) gleich ist. Wäre nun die Windung erhaben und von einer festliegenden Schraubenmutter umgeben, so würde durch eine volle Umdrehung der Spindel ein an derselben hängendes Gewicht (vgl. Fig. 42) um die Höhe AB der schiefen Ebene gehoben. Die Kraft wirkt dabei in der Richtung der Basis BC und legt bei jeder Umdrehung der Spindel in dieser Richtung einen Weg zurück, welcher der Basis der schiefen Ebene gleich ist. Sieht man von der Reibung ab, so gelangt man daher zu folgendem Gesetze, dessen Richtigkeit sich ebenfalls durch geeignete Versuche bestätigen lässt:

An einer **Schraube** herrscht Gleichgewicht, wenn die Kraft sich zur Last verhält, wie die Höhe (h) eines Schraubenganges zum Umfange (u) der Spindel, vorausgesetzt, dass die Kraft am Umfange der Spindel

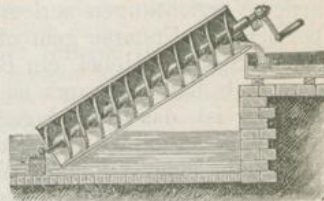
wirkt. — Bei einer Drehung der Schraube verhalten sich die Wege von Kraft und Last umgekehrt zu einander, wie sich Kraft und Last selbst verhalten.

In Zeichen: $P : Q = h : u$ und $W_p : W_q = Q : P$.

Bem. Die in Fig. 45 dargestellte Schraube nennt man links, die übrigen Schrauben, Fig. 41—44, rechts (wie ein Korkzieher) gewunden.

Wie bei der Schraubenpresse dienen auch die an Schraubstöcken, Hobelbänken, Schraubzwingen, Wagenbremsen u. s. w. angebrachten Schrauben zur Ausübung eines kräftigen Druckes. Mittelt Schrauben (Schraubenwinden) lassen sich ferner bedeutende Lasten heben, z. B. gesunkene Häuser wieder in die richtige Lage bringen. Auch zur Fortbewegung von Dampfschiffen (siehe Fig. 57), zum Richten großer Geschütze, zum genauen Einstellen von Mikroskopen u. dgl. werden Schrauben angewandt. In unzähligen Fällen bedient man sich der Schrauben zur Befestigung von Gegenständen (Schrauben mit eingeschnittenem Kopfe). Eine schraubenartige Vorrichtung, welche dazu dient, Wasser auf geringe Höhen zu fördern, ist die sogen. Wasserschraube (Fig. 46), deren Schraubenflächen mit einem cylindrischen Mantel umgeben sind. In schräger Lage schöpft dieselbe bei jeder Umdrehung unten Wasser, das dann immer höher steigt und oben wieder abfließt. (Die älteste derartige Vorrichtung ist die Archimedische Wasserschnecke, eine schraubenförmig gewundene Röhre.)

Fig. 46.



Übungsstoff. 1. Vgl. die beiden schiefen Ebenen miteinander, welche am Keile und an einer vollständigen Schraube vorkommen, hinsichtlich a. ihrer gegenseitigen Lage, b. ihres Verhaltens beim Gebrauche dieser Werkzeuge. — 2. Nenne mit Schrauben versehene Werkzeuge, Instrumente u. s. w., bei denen a. die Spindel gedreht wird und die Schraubenmutter festliegt, b. das Umgekehrte stattfindet. — 3. Die Schrauben zweier Bücherpressen seien gleichdick, das Gewinde der einen aber sei enger als das der anderen. Durch welche läßt sich der stärkere Druck ausüben, u. w.? — 4. Welcher mech. N. ist damit verbunden? — 5. Durch die Umdrehungen einer Schraube soll eine gleichmäßige und sehr langsame geradlinige Bewegung hervorgerufen werden (Drehbank, Mikroskop u. s. w.). Wie muß die Schraube eingerichtet sein? — 6. Wv. Kr. muß man anwenden, um mittelst einer Schraube einen Widerstand von 750 kg zu überwinden, wenn die Höhe des Schraubenganges 5 mm und der Umfang der Spindel 8 cm betrage? (Als rechth. Dreieck zu zeichnen.) — 7. Wievielmal so groß ist in diesem Falle der Weg, welchen die Kr. zurücklegt, als die Strecke, auf welcher die L. überwunden wird? — 8. Wie würde sich die Wirkung ändern, wenn die Kr. nicht am Umfange der Spindel, sondern an einem quer durch den Kopf derselben gesteckten Stabe (Fig. 41 und 42) angriffe und der Angriffspunkt 5mal so weit von der Achse der Spindel entfernt wäre als der Umfang derselben? — 9. Welchen Einfluß würde dies auf das Verhältnis der Wege ausüben? — 10. Wie läßt sich bei einer Schraube aus den Strecken, welche sich aus der drehenden und fortschreitenden Bewegung ergeben, das Verhältnis zwischen Kr. und L. ableiten? — 11. Welches sind die beiden einfachen Maschinen, auf die sich alle übrigen zurückführen lassen? — 12. Je nachdem bei der Anwendung der einfachen Maschinen nur eine Drehung oder eine Gleitung oder beides zugleich erfolgt, lassen sich dieselben in drei Gruppen teilen; welche Maschinen gehören zu jeder dieser Gruppen?

§ 14. Maschine. Goldene Regel der Mechanik.¹⁾ Die bisher betrachteten einfachen Vorrichtungen, deren man sich zur Überwindung von Widerständen bedient, nämlich der Hebel, die Rolle, das Wellrad, die schiefe Ebene, der Keil und die Schraube, haben den Zweck, zu vermitteln, daß die Wirkung einer Kraft günstiger ausfalle, als wenn letztere unmittelbar auf die Last einwirkt. So gestattet der gleicharmige Hebel und die feste Rolle eine vorteilhafte Änderung der Krafrichtung, während durch die übrigen Vorrichtungen an Kraft oder an Geschwindigkeit gewonnen wird.

Jede Vorrichtung, welche dazu dient, eine Kraft in vorteilhafter Weise auf eine Last wirken zu lassen, wird Maschine genannt.

Die genannten sechs Maschinen lassen sich nicht wieder in maschinenartige Vorrichtungen zerlegen und werden daher als **einfache Maschinen** bezeichnet. Ersteres geht ohne weiteres daraus hervor, daß ein unbiegsamer Stab als Hebel, ein Brett als schiefe Ebene benutzt werden kann; den Stab hat man nur so zu unterstützen, daß er um einen Punkt drehbar ist, das Brett dagegen in eine schräge Lage zu bringen. Rollen und Wellrad sind, wie wir gesehen haben, nichts anderes als Hebel, welche in eigentümlicher Weise zur Anwendung kommen, während Keil und Schraube besondere Arten der schiefen Ebene sind. Nehmen wir darauf Rücksicht, in welcher Weise mit Hülfe der einfachen Maschinen ein Widerstand überwunden wird, so ergiebt sich, daß Hebel, Rolle, Wellrad und Schraube bei ihrer Anwendung gedreht werden, der Keil hingegen sich bei seinem Gebrauche geradlinig fortbewegt, die schiefe Ebene endlich ihre Lage unverändert beibehält. Während ferner die beiden, den Keil zusammensetzenden schiefen Ebenen fest miteinander verbunden sind, gleitet bei einer vollständigen Schraube die eine der beiden schiefen Ebenen auf der anderen fort.

Alle zusammengesetzten Maschinen enthalten als Hauptbestandteile einfache Maschinen, auf deren Wirkung die aller Teile der zusammengesetzten zurückgeführt werden soll.

Bei der Betrachtung der sechs einfachen Maschinen wurde für jede einzelne derselben nachgewiesen, daß die Wege, welche Kraft und Last bei der Überwindung des Widerstandes in ihrer eigenen Richtung zurücklegen, sich stets umgekehrt wie Kraft und Last verhalten, daß also der Kraftweg 2-, 3-, 4... mal so groß ist als der Lastweg, wenn die Kraft nur $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$... der Last beträgt. — Zwar scheint die ihre Lage nicht verändernde schiefe Ebene hiervon eine Ausnahme zu machen, da bei ihr, wenn die Kraft z. B. parallel zur Ebene wirkt, der Kraftweg demjenigen Wege immer gleich ist, welchen der auf ihr fortbewegte Körper in Wirklichkeit zurücklegt. Berücksichtigt man jedoch, in welcher Richtung der bewegte Körper vermöge der Schwere bei direkter Einwirkung der Kraft einen Widerstand leistet, und in welcher Richtung die Kraft diesen Widerstand bei Anwendung der Maschine überwindet, so überzeugt man sich leicht, daß als die eigentlichen Last- und Kraft-

¹⁾ μηχανή (mechané), Werkzeug.

wege diejenigen Strecken aufzufassen sind, welche Last und Kraft in ihrer eigenen Richtung zurücklegen. In diesem Sinne aber ist bei der schiefen Ebene die Höhe, um welche die Last gehoben wird, als Lastweg zu bezeichnen. Für alle Maschinen gilt demnach auch der Satz:

Was bei einer Maschine an Kraft gewonnen wird, geht am Wege verloren, oder: der mechanische Vorteil ist stets gleich dem mechanischen Nachteile. (Goldene Regel der Mechanik. *)

Es könnte hiernach scheinen, als ob der Gebrauch der einfachen Maschinen keinen praktischen Nutzen gewährte, zumal auch noch Reibungshindernisse zu überwinden sind und also eigentlich sogar mehr Arbeit aufzuwenden ist, als schliesslich geleistet wird. Die Erfahrung lehrt jedoch, dass ohne Maschinen sehr häufig die zur Verfügung stehenden Kräfte gar nicht ausreichen würden, gewisse Lasten zu bewegen. Der wirkliche Nutzen besteht also wesentlich darin, dass die Maschinen es ermöglichen, kleinere Kräfte auf längere Zeit wirksam zu machen, um dadurch Leistungen zu erzielen, zu denen sonst viel grössere Kräfte erforderlich sein würden. Ausserdem gewährt die Anwendung einfacher Maschinen meist noch den Vorteil, dass man die Kraft in einer bequemeren Richtung wirken lassen kann.

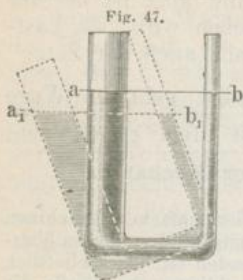
Übungstoff. 1. In welchem Falle bewegt sich der Angriffspunkt der L. beim Heben des Steines (Fig. 13 und 14) in der Krafrichtung selbst und in welchem Falle entgegengesetzt? — 2. Vgl. die Strecken miteinander, um welche der Angriffspunkt der L. von dem der Kr. entfernt ist, wenn ein Stab einmal als einarmiger, ein andermal als zweiarmiger Hebel gebraucht wird, in beiden Fällen aber der mech. V. derselbe ist. — 3. Wie weit ist bei Anwendung a. einer festen, b. einer losen Rolle der Angriffspunkt der L. von dem der Kr. entfernt? — 4. Vgl. die Richtungen miteinander, in denen Kr. und L. sich dabei bewegen, wenn die Seilteile parallel sind. — 5. Wodurch unterscheiden sich bei einem mit Kurbel versehenen Wellrade die Wege, welche Kr. und L. zurücklegen, hinsichtlich a. ihrer Gestalt, b. ihrer Länge? — 6. Welche Wege hat man bei einer schiefen Ebene miteinander zu vergleichen, wenn die goldene Regel der Mechanik darauf Anwendung finden soll? — 7. Inwiefern kann man sagen, dass bei der schiefen Ebene die Kr. in veränderter Richtung wirkt? — 8. Ein Keil werde von oben in einen Klotz eingetrieben. In welcher Richtung werden dabei durch die senkrecht wirkende Kr. die Widerstände überwunden? — 9. Welche Lage haben die Richtungen, in denen die Widerstände überwunden werden, gegen die Richtung der Kr.? — 10. Vgl. die Wege, welche Kr. und L. bei einer Schraube zurücklegen, miteinander in Bezug a. auf ihre Gestalt, b. auf ihre Länge.

B. Von den flüssigen Körpern.

§ 15. Freie Oberflächen. Leitend verbundene (kommunizierende) Gefässe. Die Erscheinung, dass eine in Ruhe befindliche Flüssigkeit bei jeder beliebigen Stellung ihres Gefässes eine Horizontalebene bildet (§ 1), ändert sich nach allbekanntem Erfahrungen nicht, wenn man die Flüssigkeit etwa durch Eintauchen eines festen Körpers so trennt, dass die Teile noch an irgend einer Stelle zusammenhängen. Werden Gefässe, welche aus mehreren in offener Verbindung stehenden Teilen bestehen (Giefskannen, Kaffeetöpfe u. dgl.), mit einer Flüssigkeit gefüllt, so steigt die Flüssigkeit auch im Ausflussrohre, und zwar bei jeder Stellung des Gefässes augenscheinlich

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 60.

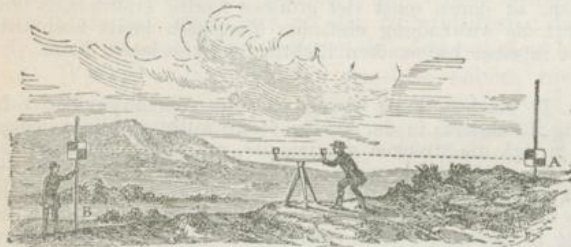
bis zu gleicher Höhe (*Versuch mit einem Glasgefäße nach Fig. 47).



Zusammengesetzte Gefüße, deren Teile so miteinander verbunden sind, daß die darin enthaltene Flüssigkeit ungehindert aus einem Teile in den anderen fließen kann, werden leitend verbundene oder kommunizierende¹⁾ Gefüße genannt.

Über den Stand der Flüssigkeiten in leitend verbundenen Gefüßen giebt die Kanalwage (Fig. 48) den genauesten Aufschluß. Sie besteht aus einer etwa 1 m langen und 3—4 cm

Fig. 48.



weiten Messingröhre, welche an jedem Ende eine kurze, senkrechte

Glasröhre trägt, und dient zum Nivellieren, d. h. zur Ermittlung von Höhenunterschieden behufs Herstellung von Wassergräben, Röhrenanlagen zur Entwässerung von Ackerland u. dergl. Zum Gebrauche wird

das Instrument mit Wasser gefüllt, an dessen Rändern man vor- und rückwärts vorbeisieht. In leitend verbundenen (kommunizierenden) Gefüßen liegen die freien Oberflächen einer in Ruhe befindlichen Flüssigkeit in derselben Horizontalebene.

Bem. Nur bei ganz engen Röhren findet eine Abweichung statt, von der später die Rede ist (§ 54).

Weitere Anwendung leitend verbundener Gefüße.

Wasserstandsgläser: An Wasserbehältern mit undurchsichtigen Wänden, bei denen es wichtig ist, den Stand der Flüssigkeit zu kennen (z. B. Dampfkessel der Dampfmaschinen), werden außen senkrecht stehende Glasröhren angebracht, welche so befestigt sind, daß sie an beiden Enden mit dem Innenraume des Gefüßes in offener Verbindung stehen.

Springbrunnen: Ist der eine der beiden Schenkel zweier mit Wasser gefüllten kommunizierenden Röhren bedeutend kürzer als der andere und oben mit einer engen Mündung versehen, so entsteht ein Springbrunnen.

Wasserleitungen: Aus Teichen, Seen oder Behältern, welche in sogen. Wassertürmen aufgestellt sind, läßt sich das Wasser durch Röhren bis in die obersten Stockwerke der Häuser leiten, wo es mit um so größerem Drucke ausfließt, je höher der Wasserspiegel über der Ausflusmündung liegt.

¹⁾ communicate, mitteilen, in Verbindung stehen, zusammenhängen.

Artesische Brunnen: Wo der Erdboden ausgedehnte, geneigte oder muldenförmige Schichten von Geröll, Kies oder dergl. (Fig. 49) enthält, welche beiderseits von dichtem Thon oder Mergel eingeschlossen sind und irgendwo zutage treten, können durch Einsickern der atmosphärischen Niederschläge unterirdische Wasserbecken entstehen. Wird nun beim Bohren eines Brunnens eine solche Schicht getroffen, so steigt das Wasser im Bohrloche hinauf. Je nach der Höhe des Wasserstandes in der durchlassenden Schicht entstehen auf diese

Fig. 49.



Weise gewöhnliche Brunnen oder Springbrunnen, welche oft bedeutende Mengen Wasser liefern. — Die artesischen Brunnen haben ihren Namen von der Grafschaft Artois (spr. Artoa) in Frankreich, wo sie schon in früherer Zeit häufig angelegt worden sind.

Durch das Gesetz der kommunizierenden Gefäße erklärt sich auch die Erscheinung, daß das Grundwasser mit dem Steigen und Fallen benachbarter Flüsse steigt und fällt.

Übungsstoff. 1. Im Innern des wagerechten Teiles einer zum praktischen Gebrauch eingerichteten Kanalwage befindet sich nahe am Ende eine Querwand mit kleiner Öffnung. Einfluß auf die Schnelligkeit, mit welcher das W. bei schräger Haltung der Röhre seinen Stand ändert? (Vorteil beim Transport!) — 2. Kann es beim Gebrauche der Kanalwage auf die Richtigkeit des Verfahrens einen Einfluß ausüben, ob die Verbindungsröhre wagerecht oder ein wenig schräg steht? Grund! — 3. Mittelst einer Kanalwage sei die Lage zweier Punkte, A und B (Fig. 48), bestimmt. Um wv. liegt der eine höher als der andere, wenn nach den Ablesungen an der Nivellierlatte A 76 cm, B 130 cm unter der Visierlinie liegt? — 4. Warum an der Nivellierlatte A 76 cm, B 130 cm unter der Visierlinie liegt? — 5. Warum muß auch das obere Ende einer Wasserstandsrohre mit dem Innenraume des Behälters in offener Verbindung stehen? (Vgl. § 123.) — 6. Wie läßt sich aus einem Trichter, einem Gummischlauche und einer zugespitzten Glasröhre ein kleiner Springbrunnen herstellen? — 7. Wie verhält sich die Höhe, welche der Strahl eines Springbrunnens erreicht, zu der Höhe des Wasserstandes im Behälter? Erkläre dies. — 8. Wovon hängt die Höhe des Wasserstrahles eines artesischen Brunnens wesentlich ab, und warum können in ebenen Gegenden keine artesischen Brunnen vorkommen, welche Springbrunnen bilden? — 9. Inwiefern können Erdschichten wie die oben abgebildete beim Bergbau (etwa bei Anlage eines Stollens) sehr störend werden? — 10. Inwiefern ist bei der Anlage von Wasserleitungen das Gesetz der kommunizierenden Gefäße zu berücksichtigen? — 11. Können Wasserleitungen auch über Anhöhen gelegt werden, und unter welcher Bedingung? — 12. Bei Hochwasser macht sich das Gesetz über leitend verbundene Gefäße oft in sehr unangenehmer Weise geltend; inwiefern? — 13. Worin mag es seinen Grund haben, daß diese Ersch. bei schnellem Steigen des Hochwassers gewöhnlich etwas später eintritt und bei schnellem Fallen desselben erst allmählich wieder verschwindet?

§ 16. Allseitiger Druck der Flüssigkeiten.)* Wird ein Gefäß, das mit einer Flüssigkeit gefüllt ist, an irgend einer Stelle leak, so sickert oder fließt die Flüssigkeit um so stärker aus, je tiefer die schadhafte Stelle unter dem Flüssigkeitsspiegel liegt. Lockert man an gefüllten Regenfassern oder dergl. den Stöpsel und läßt ihn dann los, so wird er vom ausströmenden Wasser um so weiter fortgeschleudert, je höher das Wasser im Gefäße steht (Fig. 50, folg. Seite).

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 79.

Wie wirkt hiernach eine Flüssigkeit auf Boden und Wand des Gefäßes? — Was wird eintreten, wenn Kähne oder Schiffe im Wasser leck werden, und was läßt sich daraus schließen?

Fig. 51.

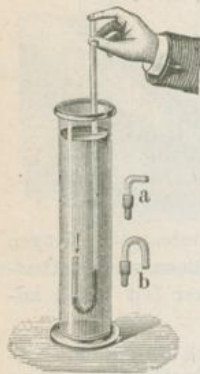
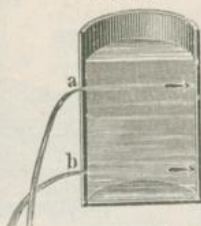


Fig. 50.



* **Versuch.** Taucht man eine Uförmig gebogene Glasröhre, welche etwas (gefärbtes) Wasser enthält, in Wasser ein, indem man die Öffnung des langen Schenkels der Röhre mit dem Finger fest verschließt (Fig. 51), so sinkt die Flüssigkeit im kurzen Schenkel und zeigt dadurch einen Druck an. Dasselbe erfolgt auch, wenn man auf den kurzen Schenkel einmal eine kurze knieförmig gebogene Glasröhre (a), ein andermal eine Uförmig gebogene Glasröhre (b) befestigt. In gleichen Tiefen ist der Abstand der beiden Flüssigkeitsoberflächen in der Regel an allen Punkten derselbe. Derartige Versuche lehren:

Flüssigkeiten üben sowohl auf die Gefäßwände als auch in ihrem Innern (auf die Flüssigkeitsteilchen selbst) nach allen Richtungen einen Druck aus, der mit der Tiefe zunimmt und in gleichen Tiefen an allen Punkten derselbe ist, welche Gestalt das Gefäß auch haben mag.

Wegen des starken Wasserdruckes müssen große Fässer, Bottiche u. dgl., tief liegende Röhren von Wasserleitungen, ferner Deiche und Schleusenthore, sowie die Wände der Schiffe (namentlich die Böden derselben) sehr stark sein. — Gegenstände, welche auf dem Grunde des Meeres liegen, haben bei großer Tiefe einen bedeutenden Druck auszuhalten. Fische und andere Meeresbewohner empfinden diesen Druck nicht, da derselbe durch einen gleichen Gegendruck von innen aufgehoben wird.

Sind mit Flüssigkeit gefüllte Gefäße um eine senkrechte Achse drehbar, so kann das seitliche Ausfließen der Flüssigkeit eine Drehung des Gefäßes zur Folge haben (Probiergläschen mit kleiner seitlicher Öffnung, Fig. 52; Segnersches Wasserrad, Fig. 53, folg. Seite). Die Drehungsrichtung ist dabei der Ausflufsrichtung des Strahles entgegengesetzt. (*Versuch nach Fig. 52.)

Fig. 52.



Die Ursache dieser Erscheinung ist der Seitendruck des Wassers. Da das Wasser in derselben Tiefe auf alle Punkte der Gefäßwand einen gleichen Druck ausübt, so heben sich an je zwei gerade entgegengesetzten Punkten die Druckkräfte auf, d. h. keine von beiden Kräften kann, solange diese zusammen wirken, das Gefäß in Bewegung setzen. Sobald aber der Druck an einer Stelle aufgehoben wird, muß durch den gerade entgegengesetzten Druck, und zwar in der Richtung desselben, eine Bewegung erfolgen: **Rückwirkung** oder **Reaktion**. (Die

Drehung kann offenbar nur dann eintreten, wenn die Richtung des Strahles nicht genau durch die senkrechte Achse hindurchgeht.)

Anwendung des Wasserdruckes.

Räder, welche durch Rückwirkung des Wassers in Bewegung gesetzt werden, heißen **Reaktionsräder** oder **Reaktionsturbinen**. Eine sehr einfache Vorrichtung dieser Art ist das sogen. **Segnersche Wasserrad** (Fig. 53). Es besteht aus

einem aufrechten, hohlen Cylinder, welcher sich um seine Achse drehen kann und unten zwei oder mehrere quer gerichtete, ebenfalls hohle Arme trägt. Jeder Arm hat eine seitliche Öffnung. Wird von oben Wasser hineingeleitet, so fließt es unten in Strahlen aus, und der Cylinder dreht sich durch Rückwirkung des Wassers. Reaktionsräder, bei denen zur Verminderung der Reibung das Wasser von unten in den Cylinder geleitet wird, werden unter dem Namen **Reaktionsturbinen** im großen angewandt.

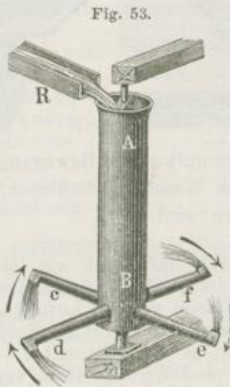


Fig. 53.

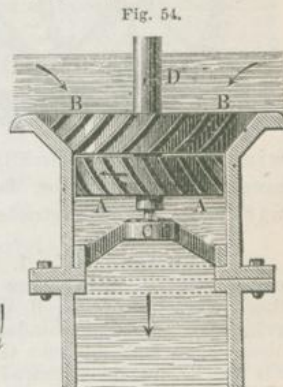


Fig. 54.

Von den Reaktionsrädern unterscheiden sich die **eigentlichen Turbinen**¹⁾ oder **horizontalen Wasserräder** (Fig. 54). Bei diesen wird das Wasser zunächst in einen weiten, trichterförmigen (oder auch cylindrischen) Raum geleitet, welcher durch feststehende, gekrümmte Eisenplatten, **Leitschaufeln** (BB), in zahlreiche Zellen abgeteilt ist. Dadurch wird die Richtung des Wassers derart geändert, daß es einen kräftigen Druck gegen die Schaufeln eines horizontalen Rades (Rad

schaufeln, AA) ausübt, sodaß dieses sich dreht. Bei den eigentlichen Turbinen erfolgt demnach die Umdrehung des Wasserrades nicht durch Rückwirkung, sondern durch den Druck herabfallenden Wassers.

Gewöhnlich läßt man das Wasser auf **senkrecht stehende Räder** einwirken und zwar so, daß es von oben in die Schaufeln des Rades fällt (Fig. 55) und durch

den Stofs, besonders aber durch sein Gewicht, das Rad dreht (**oberschlägige** oder **oberschlächtige Räder**), oder so, daß es vor der Achse des Rades auf die Schaufeln desselben fällt (**mittelschlägige** oder **mittelschlächtige Räder**), oder aber in der Weise, daß es mit großer Geschwindigkeit unter dem Rade hindurchfließt (Fig. 56, folg. Seite) und durch einen kräftigen Stofs das Rad in Bewegung setzt (**unterschlägige** oder **unterschlächtige Räder**).

Bei den **Rädern** und **Schrauben** der **Dampfschiffe** ist die Wirkung umgekehrt wie bei

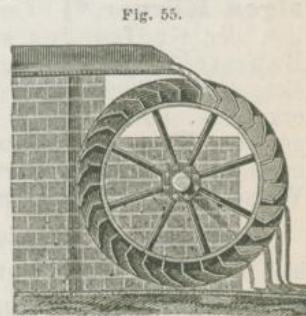
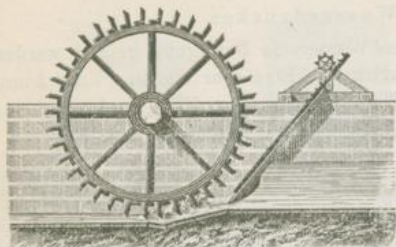


Fig. 55.

¹⁾ turbo, Wirbel, Kreisel.

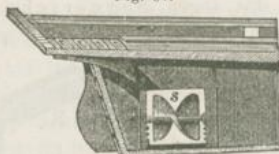
den vorher genannten Wasserrädern, und zwar ist bei den Raddampfern an jeder Seite des Schiffes auf einer quer liegenden Achse ein Schaufelrad befestigt, während bei den Schraubendampfern eine mit mehreren Flügeln versehene Schraube hinten unter dem Schiffe (s. Fig. 57) auf einer

Fig. 56.



bei den Schraubendampfern eine mit mehreren Flügeln versehene Schraube hinten unter dem Schiffe (s. Fig. 57) auf einer Längsachse befestigt ist. (Die Flügel von

Fig. 57.



Schiffsschrauben, wie sie gegenwärtig gebaut werden, stellen Teile von Schrauben-

windungen dar.) Durch Dampfkraft in Bewegung gesetzt, werfen beide, die Räder sowohl als die Schraube, das Wasser nach hinten, sodafs das Schiff durch Rückwirkung vorwärts getrieben wird.

Übungsstoff. 1. Wie läfst sich am leichtesten entdecken, ob ein Fafs undicht ist? — 2. Inwiefern ist die Lage der undichten Stellen hierbei von Einflufs? (Leck eines Schiffes.) — 3. Warum werden Luftblasen beim Aufsteigen im W. immer gröfser? — 4. Welchen Einflufs müfste es auf die Gröfse eines hohlen Gummiballes ausüben, wenn man ihn sehr tief in W. eintauchte? — 5. Warum ist es vorteilhafter, das W. in ein Reaktionsrad von unten statt von oben eintreten zu lassen? — 6. Welche Lage nehmen nach Fig. 54 die Leitschaufeln der Turbinen gegen die Radschaufeln ein, u. w.? — 7. Inwiefern sind die Ursachen der Drehung bei den unter- und überschlägigen Wasserrädern verschieden? — 8. Bei überschlägigen Wasserrädern werden Kastenschaufeln statt flacher Schaufeln angewandt; w.? — 9. Warum kann bei einem unterschlägigen Rade das W. hinter dem Rade nicht dieselbe Geschw. haben wie vor demselben? — 10. Inwiefern läfst sich aus der Abnahme der Geschw. schliessen, ob die Wasserkraft mehr oder weniger ausgenutzt ist? — 11. Die Wasserräder der in Gebirgsthäälern angelegten und durch das W. der Gebirgsbäche getriebenen Schneidemöhlen sind stets überschlägig; warum wohl? — 12. Müssen die Räder von Dampfchiffen flache Schaufeln oder Kastenschaufeln besitzen, u. w.? — 13. Mufs die Schiffsschraube mit der vorderen oder hinteren Fläche ihrer Windungen einen Druck gegen das W. ausüben a. beim Vorwärts-, b. beim Rückwärtsfahren?

§ 17. Das spezifische Gewicht der festen und flüssigen Körper. *) Vergleichen wir die Körper miteinander hinsichtlich der Gröfse des senkrechten Druckes, welchen gleiche Raumteile vermöge der Schwere auf ihre Unterlage ausüben, so geben sich schon ohne Anwendung einer Wage auffällige Unterschiede zu erkennen. (Beispiele: Blei und Kork, Quecksilber und Wasser.) Nach genauen Wägungen ist das Gewicht von 1 ccm Blei beinahe 50 mal so grofs als von 1 ccm Kork und über 11 mal so grofs als von 1 ccm Wasser; Quecksilber wiegt noch mehr. Es gilt überhaupt der Satz:

Bei gleichem Rauminhalte haben die Körper je nach der Beschaffenheit des Stoffes, aus welchem sie bestehen, ganz verschiedene, aber bestimmte Gewichte, welche den Stoffen eigentümlich sind.

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 83.

Das einem Körper eigentümliche Gewicht, d. h. das Gewicht der in 1 ccm enthaltenen Masse in Grammen wird sein spezifisches Gewicht (Eigengewicht) genannt.

Da 1 ccm Wasser 1 g wiegt, so kann man auch sagen: Das spec. Gewicht eines Körpers ist die Zahl, welche anzeigt, wievielmals so groß das absolute Gewicht des Körpers ist als das eines gleichen Raunteiles Wasser.

a. Spec. Gewicht einiger festen Körper.

Platin, gemünzt . . .	21,7	Eisen, gegossen . . .	7,2	Schwefel	2,00
Gold, " . . .	19,3	Zinn, " . . .	7,3	Wachs, ungefähr . . .	0,97
Blei, gegossen . . .	11,4	Zink, gewalzt	7,2	Kautschuk	0,93
Silber, gehämmert . .	10,5	Schwerspat	4,4	Eis	0,92
Kupfer, " . . .	8,9	Marmor	2,84	Eichenholz, trocken .	1,17
Messing, gegossen . .	8,4	Quarz	2,65	Buchenholz, " . . .	0,60
Nickel, " . . .	8,3	Fensterglas	2,64	Pappelholz, " . . .	0,36
Eisen, geschmiedet .	7,8	Kochsalz	2,10	Kork	0,24

b. Spec. Gewicht einiger Flüssigkeiten.

Wasser	1,00	Salzsäure	1,21	Leinöl	0,95
Quecksilber	13,6	Milch, ungefähr . . .	1,03	Petroleum	0,89
Schwefelsäure, konz.	1,85	Seewasser	1,03	Weingeist	0,79

In einer Flüssigkeit sinken alle diejenigen Körper unter, deren spec. Gewicht größer ist als das der Flüssigkeit; diejenigen, deren spec. Gewicht kleiner ist, schwimmen auf derselben und steigen, wenn sie untergetaucht und dann sich selbst überlassen werden, darin auf. Vergleiche in dieser Beziehung einige der angeführten Körper mit Wasser und berücksichtige die eigene Erfahrung.

Übungsstoff. 1. Wv. wiegt a. 1 ccm, b. 1 cdm der in der Tabelle angegebenen K.? — 2. Ein Gefäß enthalte W., ein anderes die gleiche Raummenge Qu. Welche auffällige Ersch. wird sich beim Aufheben der Gefäße zeigen? — 3. Inwiefern hat man bei der Wahl der Gefäße zur Aufbewahrung größerer Mengen Qu. auf das hohe spec. Gew. desselben Rücksicht zu nehmen? — 4. Nenne K., welche a. in Qu. untersinken, b. auf Qu. schwimmen. — 5. Nenne nichtmetallische K., welche in Weingeist untersinken, in W. dagegen nicht. — 6. Ferner solche, die auf beiden Flgkn. schwimmen. — 7. Eine U förmig gebogene Röhre enthalte in dem einen Schenkel Qu., im andern W. In welchem Schenkel wird die Flgk. am höchsten stehen, u. w.? — 8. Ein Stück Blei wiege 11,4 kg; wv. W. wird durch dasselbe beim Untertauchen verdrängt? — 9. Wv. W. wird von 1 kg Blei, Kupfer, Schmiedeeisen oder Marmor beim Untertauchen verdrängt? — 10. Wv. aber von 1 kg Wachs, Kautschuk, Eis oder Kork, wenn diese K. untergetaucht werden? — 11. Wie erklärt es sich, daß Schmiedeeisen ein höheres spec. Gew. hat als Gufseisen? — 12. Welchen Einfluss übt somit nach der Tabelle die Bearbeitung der Metalle auf das spec. Gew. aus? Erkl.! — 13. Ordne die in der Tabelle angeführten festen K. nach ihrem spec. Gew. in Gruppen!

C. Von den luftförmigen Körpern.

§ 18. a. Allseitiger Druck der Luft.*) Stechheber. Da die Luft wie alle Körper der Erde schwer ist und mit den Flüssigkeiten die Eigenschaft gemein hat, daß ihre Teile sehr leicht verschiebbar sind, so läßt sich erwarten, daß ein in der Luft befindlicher Körper

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 84.

durch die ihn umgebende Luft von allen Seiten einen Druck erleidet, wie ein in Wasser untergetauchter Körper einem allseitigen Drucke des

Fig. 58.



Wassers ausgesetzt ist. Dies wird durch gewisse Erscheinungen bestätigt.

Versuch a. Aus einem ganz mit Wasser gefüllten und darauf mit einem Blatte Papier überdeckten Trinkglase (Fig. 58) fließt das Wasser nicht aus, wenn man das Glas umkehrt und das Blatt während des Umkehrens mit der flachen Hand festhält oder mit einem Teller bedeckt.

wenn das Gefäß

Fig. 59.

Fig. 60.



oben verschlossen und die untere Mündung desselben ziemlich eng ist. Diese Erscheinung entsteht beim Gebrauche des **Stechhebers**, einem *Gefäße aus Glas oder Blech, welches an seinem oberen Ende zum bequemen Verschlusse halsförmig verengt ist und unten in eine Spitze ausläuft* (Fig. 59). Man bedient sich desselben im täglichen Leben, um aus Fässern eine Probe der darin enthaltenen Flüssigkeit durch den Spund herauszuheben.

Versuch b. Wird ein Stechheber in Wasser getaucht, so bleibt er gefüllt, wenn man beim Herausziehen des Hebers die obere Mündung desselben mit dem Daumen verschließt. Das Wasser fließt aus, sobald man den Daumen entfernt. — Wie läßt sich mit einem Stechheber, an dessen unterem Ende ein Gummischlauch befestigt ist, oder mit 2 durch einen Gummischlauch verbundenen Glasröhren (Fig. 60)

nachweisen, daß die Luft nach allen Richtungen

einen Druck ausübt?
 Stechheber, welche aus geraden, in ihrer Mitte kugelig oder cylindrisch erweiterten Glasröhren bestehen, werden **Pipetten** genannt. Zum Füllen des erweiterten Theiles solcher Röhren wird durch Ansaugen mit dem Munde Luft aus denselben entfernt.

Die Beobachtungen lehren:

Die Luft übt vermöge ihrer Schwere nach allen Seiten einen gleichstarken Druck aus.

Daß die Luft einen Druck ausübt, weiß man erst seit der Mitte des 17. Jahrhunderts; bis dahin suchte man die auf dem Luftdrucke beruhenden Erscheinungen in anderer Weise zu erklären. — Wenn vom Luftdrucke schlechthin die Rede ist, so ist stets der Druck der Atmosphäre¹⁾, d. h. der die Erde umgebenden Lufthülle, gemeint.

Auf dem Drucke der Luft beruhen aufser den angeführten noch zahlreiche andere bekannte Erscheinungen: Spärliches Ausfließen beim Abzapfen von Wein, Bier u. dgl., wenn der Spund der Fässer nicht geöffnet ist, beim Ausgießen von Kaffee, Thee u. dgl., wenn der (nicht durchbohrte)

¹⁾ ατμός (atmos), Dunst; σφαίρα (sphaira), Kugel.

Deckel den Kannen dicht anliegt, oder beim Öffnen eines rohen Eies, wenn nur an einem Ende eine kleine Öffnung hergestellt ist, ferner beim Umkehren der Ölpipetten z. B. für Nähmaschinen, wenn kein Druck auf den Boden ausgeübt wird; Aufsteigen des Tabakrauches in Pfeifen beim Gebrauche derselben u. s. w.

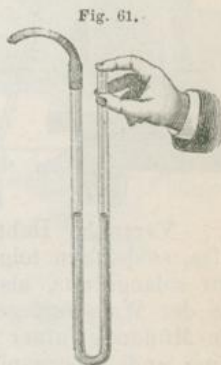
b. Spannkraft eingeschlossener Luft. *) Da luftförmige Körper sich nach allen Richtungen auszudehnen streben (§ 1), so erleiden die Wände der Gefäße, in denen ein luftförmiger Körper enthalten ist, aufser dem Drucke, welchen die freie Luft von außen auf sie ausübt, auch von innen überall einen Druck. Dies giebt sich offenbar am leichtesten zu erkennen, wenn die Wand des Gefäßes dem Drucke nachgiebt. So dehnen sich z. B. Gummiblasen (Luftballons der Kinder) nach allen Seiten aus, wenn sie mit Leuchtgas gefüllt werden, desgl. Seifenblasen, wenn man mehr Luft in sie hineinbläst, oder die Luft aus ihrer Umgebung entfernt wird (Ansaugen einer Flasche, in welcher derartige Blasen enthalten sind). Bekannte Erscheinungen, wie das Fortfliegen des Stempels, sowie das Zurückschnellen desselben, welches jedesmal eintritt, wenn der Stempel rasch aufgezogen und dann losgelassen wird, lehren ferner, daß dieser Druck von der Dichtigkeit der eingeschlossenen Luft abhängt, d. h. zunimmt, wenn der Raum, den die Luft ausfüllt, verkleinert, hingegen abnimmt, wenn er vergrößert wird.

Eingeschlossene luftförmige Körper üben infolge ihrer Ausdehnbarkeit einen allseitigen Druck aus; derselbe nimmt mit der Verkleinerung des Raumes zu, mit der Vergrößerung desselben ab.

*Der Druck, welchen luftförmige Körper infolge ihrer Ausdehnbarkeit ausüben, wird **Spannung** genannt; die Kraft, mit der sie sich auszudehnen streben, bezeichnet man als **Expansivkraft** ¹⁾ oder **Spannkraft**.*

Strömt ein luftförmiger Körper aus einem beweglichen Gefäße mit genügender Kraft aus, so wird dieses durch Rückwirkung (Reaktionsdruck) nach rückwärts getrieben (vgl. § 16). Raketen z. B. steigen, da die Pulvergase heftig nach unten ausströmen, durch die Rückwirkung mit großer Geschwindigkeit nach oben.

Übungsstoff. 1. Erkläre den Gebrauch der Pipetten. — 2. Desgl. die Ersch. des folg. Versuches: Füllt man eine ziemlich lange, Uförmig gebogene Glasröhre (Fig. 61) etwa zur Hälfte mit gefärbtem W. und entfernt dann aus dem einen Schenkel durch Ansaugen einen Teil der Luft, so sinkt das W. im anderen, verschlossenen Schenkel; bläst man dagegen kräftig Luft hinein, so steigt es in demselben. Wird nach dem Ansaugen wie nach dem Hineinblasen der bis dahin mit dem Finger verschlossene Schenkel geöffnet, so findet im ersteren Falle ein noch stärkeres Sinken, im letzteren ein noch stärkeres Steigen der Flgk. statt. — 3. Wie ist es zu erklären, a. daß eine in W. getauchte Handspritze beim Zurückziehen des Stempels sich mit W. füllt, b. daß aus einer Knallbüchse der Pfropfen beim Hineinschieben des Stempels fortfliegt? — 4. Wie muß man verfahren, wenn der



*) Vgl. II. Lehrstufe, § 85.

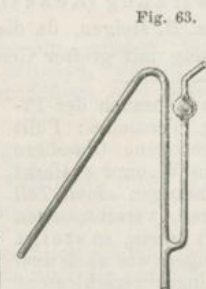
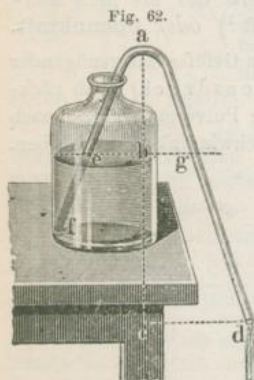
1) expando, dehne aus.

Inhalt eines Eies aus einer kleinen Öffnung der Schale ausfließen soll? — 5. Inwiefern muß beim Abzapfen von Bier, Wein u. dgl. auf den Druck der Luft Rücksicht genommen werden? — 6. Kaffee- und Theekannen haben im Deckel gewöhnlich ein kleines Loch; warum? — 7. An Deckeln, in denen ein solches Loch fehlt, ist oft ein leises Klappern hörbar, während die Flgk. ausfließt. Erkl.! — 8. Wie erklärt sich das Festsaugen eines hohlen Federhalters, Fingerhutes oder ähnlichen Gegenstandes an der Lippe? — 9. Warum fließt aus einer enghalsigen, ganz mit W. gefüllten Flasche beim Umkehren derselben nichts aus? — 10. Warum fließt das W. aus einem umgekehrt gehaltenen Trinkglase nicht aus, wenn man dessen Öffnung mit Gaze überbindet? — 11. Große Geldstücke kann man an eine glatte Wand oder dergl. schlagen, sodafs sie hängen bleiben. Erkläre dies! — 12. Ein an den Rand eines Tisches gelegtes Blatt Papier, unter welches man etwa ein Lineal so gelegt hat, dafs dieses zum Teil über den Rand des Tisches hervorragt, läßt sich durch einen kräftigen Schlag auf den vorstehenden Teil des Lineals nicht heben. Grund! — 13. Geschütze erleiden beim Abfeuern einen Rückstoß. Erkl.! — 14. Wodurch läßt sich die Spannung eines Bogens vergrößern, und wodurch die Spannung der Luft? — 15. Woraus läßt sich schließen, dafs die in manchen Getränken enthaltene Kohlensäure, die Wasserdämpfe in den Cylindern der Lokomotiven, sowie die im Rohre der Geschütze wirkenden Pulvergase eine hohe Spannung haben?

Apparate, welche auf dem Luftdrucke und der Spannkraft eingeschlossener Luft beruhen.

§ 19. Heber. Zerstäubungsapparat. Heber dienen im allgemeinen dazu, Flüssigkeiten aus einem Gefäße in ein anderes zuzufüllen, ohne dafs das volle Gefäfs dabei aus seiner Stelle gebracht zu werden braucht. Je nach der Art ihrer Anwendung und Einrichtung unterscheidet man Stechheber (§ 18) und Saugheber.

Der Saugheber (Fig. 62) besteht aus einer *knieförmig gebogenen und überall gleichweiten Röhre*, welche mit ihrem kürzeren Schenkel in die Flüssigkeit eingetaucht und darauf durch Saugen mit dem Munde luftleer gemacht wird. Die Flüssigkeit steigt dann im eingetauchten Schenkel hinauf und fließt durch den äußeren Schenkel aus.



Bei ätzenden und ähnlichen, der Gesundheit schädlichen Flüssigkeiten wendet man Saugheber an, welche mit einem Ansatzrohre versehen sind (sogen. Giftheber, Fig. 63). Während des Ansaugens wird bei denselben die Ausflusmündung geschlossen.

Versuch. Hebt man mit einem Saugheber Wasser aus einem Gefäße, so können folgende Erscheinungen eintreten: **1.** Das Wasser fließt nur solange aus, als die Mündung des äußeren Schenkels tiefer liegt als der Wasserspiegel im Gefäße, und zwar um so kräftiger, je tiefer die Mündung unter dem Wasserspiegel sich befindet. **2.** Liegen Mündung und Wasserspiegel gleichhoch, so findet ein Ausfließen nicht mehr statt. **3.** Sobald die Mündung des äußeren Schenkels höher liegt als der Wasserspiegel, fließt das Wasser wieder zurück.

Saugheber, welche aus einer ziemlich engen Röhre bestehen (Fig. 64), kann man, wenn die Mündungen in gleicher Höhe liegen, ganz aus dem Wasser herausheben, ohne dafs ein Ausfließen erfolgt. Warum?

Fig. 64.

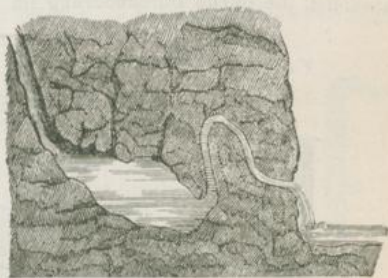


Erklärung: Wenn der Saugheber mit Flüssigkeit gefüllt ist, so hat diese in jedem der beiden Schenkel das Bestreben, wieder auszufließen. Es wirken somit beiderseits zwei Kräfte einander entgegen, nämlich der Druck der Flüssigkeit und der Luftdruck. Letzterer ist an beiden Stellen gleichgroß, ersterer dagegen je nach der Lage der Mündung des äußeren Schenkels gleich oder verschieden.

a. Liegt die Mündung des äußeren Schenkels mit dem Flüssigkeitsspiegel in gleicher Höhe, so sind die senkrechten Abstände beider vom Knie (dem höchsten Punkte a, Fig. 63) des Hebers einander gleich. In beiden Schenkeln drückt die Flüssigkeit gleichstark nach unten. Dadurch wird die Wirkung des Luftdruckes beiderseits um gleichviel verkleinert. Der Überdruck der Luft ist also an beiden Stellen gleich; eine Bewegung der Flüssigkeit kann nicht eintreten.

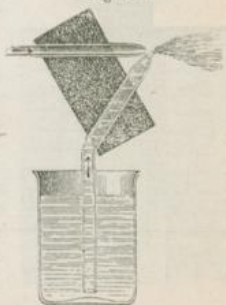
b. Liegt die Mündung des äußeren Schenkels tiefer oder höher als der Wasserspiegel (1 und 3), so sind die senkrechten Abstände derselben vom Knie des Hebers ungleich. Die Flüssigkeit wird daher nach derjenigen Seite hingetrieben, wo der Überdruck der Luft am kleinsten ist, also nach der Mündung des äußeren Schenkels, wenn diese tiefer, hingegen nach dem Gefäß hin, wenn sie höher liegt als der Flüssigkeitsspiegel. — Das Ausfließen muß offenbar um so schneller erfolgen, je tiefer die Ausflusmündung unter dem Flüssigkeitsspiegel liegt, denn um so kleiner ist an derselben der hemmende Überdruck der Luft.

Fig. 65.



Durch die Wirkung heberförmiger Abfluskanäle bei unterirdischen Wasserbehältern sucht man auch die Thätigkeit der sogenannten intermittierenden, d. h. mit Unterbrechung fließenden Quellen zu erklären (Fig. 65). Es ist indes wahrscheinlich, dafs solche Quellen auch durch andere Ursachen in Thätigkeit gesetzt werden können, vor allem durch den Druck der in den unterirdischen Hohlräumen eingeschlossenen Gase (Kohlensäure).

Fig. 66.



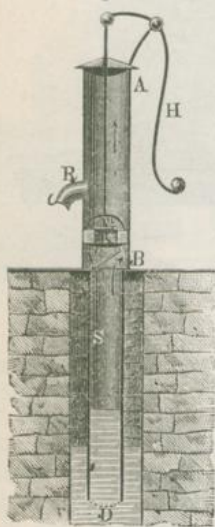
Zerstäubungsapparat. Bei den sogenannten Zerstäubungsapparaten, welche zum Benetzen von Zimmerpflanzen, zum Zerstäuben wohlriechender Flüssigkeiten u. s. w. gebraucht werden, kommt der Druck der äußeren Luft dadurch zur Wirkung, dafs man über die Mündung einer kurzen, aufrechten Röhre, welche in die Flüssigkeit eingetaucht wird, einen kräftigen Strom von Luft oder Wasserdämpfen hinwegtreibt (Fig. 66).

Indem letzterer aus seiner Umgebung, also auch aus der eingetauchten Röhre, Luft mit fortreißt, steigt die Flüssigkeit in der Röhre durch den Überdruck der äußeren Luft und fliegt, sobald sie vom Luft- oder Dampfströme erfasst wird, in Staub auseinander. (*Versuch.)

Bei Zerstäubungsapparaten, welche dazu dienen, gewisse Arzneimittel so fein zu zerteilen, daß sie eingeatmet werden können, erzeugt man mittelst eines damit verbundenen kleinen Kochapparates einen Strom heißer Wasserdämpfe, die das Zerstäuben der betreffenden Flüssigkeit bewirken. Solche Apparate werden *Inhalationsapparate* genannt.

Übungsstoff. 1. Worin stimmen Stechheber und Saugheber überein, und wodurch unterscheiden sie sich voneinander hinsichtlich ihrer Gestalt und ihres Gebrauches? — 2. Welchen Zweck hat die bauchige Erweiterung des Stechhebers? — 3. Was wird eintreten, wenn man einen Stechheber, während die darin enthaltene Flgk. ausfließt, am oberen Ende verschließt, u. w.? — 4. In einem nur etwa halb gefüllten Stechheber sinkt das W. in der Röhre merklich, indem man den Heber aus der Flgk. zieht. (Bei Qu. schon in einer einfachen Glasröhre deutlich zu erkennen.) Wie mag sich dies erklären? — 5. Mittelst eines Saughebers soll eine Flgk. aus einem Gefäße in ein anderes gehoben werden. Welche Lage muß hierbei der Boden des leeren Gefäßes gegen den Spiegel der Flgk. haben, u. w.? — 6. Wodurch läßt sich das Ausfließen der Flgk. verstärken und wodurch ganz aufheben? Erkl.! — 7. Warum muß das untere Ende des in Fig. 63 dargestellten Hebers während des Ansaugens verschlossen werden? — 8. Welchen Zweck hat die kuglige Erweiterung an jenem Heber? — 9. Angenommen, die Höhlung in dem Felsen, Fig. 65, enthalte zunächst gar kein W.: wie hoch muß dann bei einem Zuflusse von oben das W. darin steigen, damit ein Ausfließen erfolgen kann? — 10. Wie tief kann der Wasserspiegel sinken, bis das Ausfließen aufhört? — 11. Was wird eintreten, wenn der Wasserspiegel bis unter die Ausflusmündung sinkt? — 12. Eine Flasche sei durch einen zweifach durchbohrten Kork luftdicht verschlossen; in der einen Durchbohrung sei eine heberförmig gebogene Röhre luftdicht befestigt. Was wird eintreten, wenn man, während die in der Flasche enthaltene Flgk. aus der Röhre ausfließt, die offene Durchbohrung im Kork verschließt, u. w.?

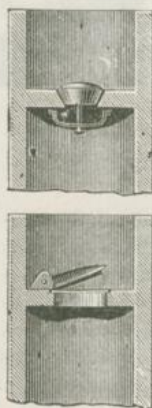
Fig. 67.



§ 20. Saugpumpe und Saugdruckpumpe.

Beide sind Vorrichtungen, welche dazu dienen, Wasser durch Auf- und Abbewegung eines Kolbens mit Hilfe des Luftdruckes aus Brunnen u. s. w. zu fördern.

Fig. 68 u. 69.



Die wesentlichen Teile einer *Saugpumpe* (Fig. 67) sind *Saugrohr*, *Stiefel* und *Kolben*. Ersteres ist eine hölzerne oder eiserne Röhre (S), welche in das Wasser des Brunnens hinabreicht und unten durch eine siebförmige Platte, oben durch ein Ventil (*Bodenventil*, v) verschlossen ist. Dieses besteht entweder aus einer Klappe, oder aus einem hohlen Messingkegel (Fig. 68 und 69). Auf dem Saugrohr steht der sogen. *Stiefel*, d. h. eine Röhre (AB), in welcher ein luftdicht anliegender, durchbohrter Kolben

(K) auf- und abbewegt werden kann. Der Kolben enthält ebenfalls ein Ventil (Kolbenventil, v_1), das sich wie das Bodenventil nach oben öffnet. Über dem Kolben ist am Stiefel ein Ausflusrohr (R) befestigt.

Das Öffnen und Schließen der Ventile erfolgt abwechselnd. Wird der Kolben hinaufgezogen, so öffnet sich das Bodenventil, und das Kolbenventil ist geschlossen; wird er hinuntergeschoben, so schließt sich das Bodenventil, und das Kolbenventil öffnet sich. Das in den Stiefel eingedrungene Wasser tritt durch den Kolben hindurch und wird von diesem gehoben. Pumpen von dieser Einrichtung werden daher auch wohl als Saughebpumpen bezeichnet.

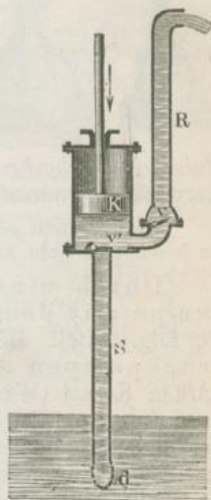
Zur Erklärung nehme man an, das Wasser stehe im Saugrohre anfangs so hoch wie im Brunnen. Wird dann der Kolben in die Höhe gezogen, so hebt die abgesperrte Luft vermöge ihrer Ausdehnbarkeit das Ventil ein wenig und füllt bei jeder Kolbenstellung den vergrößerten Raum aus. Dadurch nimmt die Spannung der abgesperrten Luft ab; mithin kann durch den Überdruck der äußeren Luft das Wasser im Saugrohre gehoben werden. Da das gehobene Wasser einen Gegen- druck ausübt, so kann das Aufsteigen des Wassers sich nur solange fortsetzen, als überhaupt noch ein Überdruck von außen vorhanden ist.

Erfahrungsmäßig darf sich das Bodenventil höchstens 6—7,5 m über dem Wasserspiegel im Brunnen befinden. Bei tieferen Brunnen muß der Stiefel entsprechend länger gemacht werden und sein unteres Ende mit in den Brunnenraum hinabreichen, da sonst der Luftdruck nicht ausreichen würde, das Wasser im Saugrohre bis über das Bodenventil zu heben. Diese Beobachtung gab im Jahre 1643 Veranlassung zur Entdeckung des Luftdruckes durch Torricelli (spr. Torritschelli),* einen Schüler des berühmten italienischen Naturforschers Galilei. Vorher hatte man das Aufsteigen des Wassers in den Saugpumpen durch den „Abscheu der Natur vor dem leeren Raume“ (horror vacui) erklärt. — Sollen Saughebpumpen dazu verwendet werden, Wasser sehr hoch, z. B. in die obersten Stockwerke der Häuser, zu heben, so wird der Stiefel oben dicht verschlossen und an demselben statt des kurzen Ausflusrohres seitlich ein Steigrohr angebracht (siehe R, Fig. 75), oder man wendet eine Saugdruckpumpe an.

Die Saugdruckpumpe oder Druckpumpe (Fig. 70) enthält außer dem Saugrohre, dem Stiefel und dem Kolben stets noch ein Steigrohr (R), d. h. ein Rohr, welches dicht über dem Bodenventil in den Stiefel mündet und das in diesen eindringende Wasser durch den Druck des Kolbens aufnimmt und weiterführt. Der Kolben der Saugdruckpumpe ist daher nicht durchbohrt. (Spiel der Ventile?)

Druckpumpen werden nicht nur benutzt, um Wasser nach hoch gelegenen Stellen zu fördern, sondern überhaupt in allen denjenigen Fällen, in denen der Fortbewegung des Wassers im Steigrohre ein nicht unbedeutender Druck entgegenwirkt, also z. B. auch zum Speisen der Windkessel von Feuerspritzen und der Dampfkessel von Dampfmaschinen. Bei ersteren muß der Gegendruck der eingeschlossenen Luft, bei letzteren der Druck der Dämpfe überwunden werden. Druck-

Fig. 70.



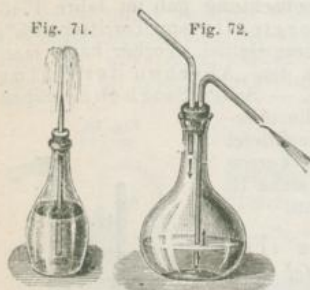
*) Vgl. II. Lehrstufe, § 84a.

pumpen lassen sich daher auch anwenden, um Dampfkessel und Wasserleitungsrohre auf ihre Wandstärke zu prüfen.

Bei der einfachsten Einrichtung einer Druckpumpe steht der Stiefel mit seinem unteren Ende unmittelbar im Wasser (Spritzbüchse der Kinder).

Übungsstoff. 1. Worin stimmt die Einrichtung einer Saugpumpe mit der einer Druckpumpe überein, und wodurch unterscheiden sie sich voneinander? — 2. Welchen Zweck hat die siebförmige Platte unter dem Saugrohre? — 3. Warum müssen die Kolben einer Pumpe möglichst dicht schliessen? — 4. Kegelventile (Fig. 68) werden hohl gemacht; w.? — 5. Welchen mech. V. und welchen mech. N. hat die Anwendung eines Pumpenschwengels? — 6. In trockenen Sommern werden Pumpen bisweilen „lahm“. Erkl.! — 7. Welches Mittel pflegt man anzuwenden, um solche Pumpen wieder brauchbar zu machen? — 8. Welche von den beiden Pumpen fördert das W. nur beim Aufgange, welche auch beim Niedergange des Kolbens? — 9. Welche Pumpe erfordert daher zu ihrem Gebrauche unter sonst gleichen Verhältnissen mehr Kraft? — 10. Warum wendet man trotzdem bei geringen Höhen Saugpumpen an? — 11. Warum ist es vorteilhaft, die Stiefel der Pumpen ziemlich weit zu machen? — 12. Warum braucht das Saugrohr nicht auch so weit zu sein? — 13. Inwiefern hängt die Schnelligkeit, mit welcher das W. im Saugrohre aufsteigt, von der Weite dieses Rohres ab? — 14. Warum müssen Druckpumpen im allgemeinen dichter und stärker gearbeitet sein als Saugpumpen? — 15. Warum muß bei einem sehr tiefen Brunnen oder Schachte der Stiefel einer Pumpe in den Brunnen- oder Schachtraum hinabreichen? — 16. Auf welche dreifache Weise läßt sich nach § 19 und 20 bewirken, daß eine Flgk. in einer Röhre durch den Druck der äußeren Luft aufsteigt?

§ 21. Heronsball und Feuerspritze. Gebläse.



Das einfachste Verfahren, eine Flüssigkeit durch den Druck eingeschlossener Luft zu heben (Fig. 71), besteht darin, daß man die über der Flüssigkeit im Gefäße befindliche Luft durch Hineinblasen mit dem Munde verdichtet. Zu diesem Zwecke muß die Röhre im Gefäße luftdicht befestigt sein, bis in die Flüssigkeit hinabreichen und oben aus dem Gefäße hervorragen. (* Versuch.)

Ein teilweise mit Wasser gefülltes Gefäß, in welchem eine luftdicht durch den Hals hindurchgehende Glasröhre bis in das Wasser hinabreicht, wird Heronsball genannt.

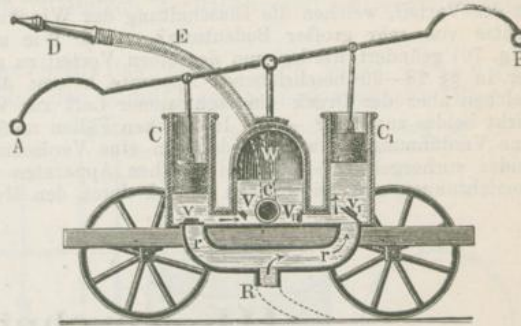
Fig. 72 stellt einen als Spritzflasche dienenden Heronsball dar, welcher ein besonderes Rohr zum Hineinblasen von Luft enthält.

Durch eine zweckmäßige Verbindung der Druckpumpe mit dem Heronsballe entsteht die **Feuerspritze** (Fig. 73, folg. Seite). Bei derselben wird mittelst einer oder zweier Saugdruckpumpen (C und C₁) wiederholt Wasser in einen umgekehrten starken Kessel (Windkessel oder Heronsball, W) getrieben, welcher unten seitlich zum Anschrauben eines Schlauches (E) mit einem Rohransatze (c) versehen ist. Da die im Kessel enthaltene Luft nicht entweichen kann, so wird sie durch das eindringende Wasser verdichtet. Sie wirkt dann vermöge ihrer Spannkraft auf das Wasser zurück und preßt dieses in den Schlauch. Aus dem Mundstücke (D) desselben

strömt das Wasser während des Pumpens in ununterbrochenem Strahle aus. — Eine Feuerspritze ist somit ein mit Windkessel und biegsamem Steigrohre versehenes Druckpumpenwerk.

Fig. 73.

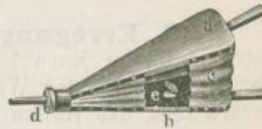
Bei der in Fig. 73 dargestellten Einrichtung stehen die Stiefel der beiden Pumpen unterhalb der Bodenventile mit einem kurzen Rohre in Verbindung, an welchem ein als Saugrohr (R) dienender Schlauch befestigt werden kann, den man beim Gebrauche der Spritze in ein nahe Gewässer leitet. Spritzen ohne Saugrohr sind mit einem oben offenen Kasten versehen, welcher Pumpen und Windkessel umgiebt und mit Wasser gefüllt wird.



Im täglichen Leben werden sehr häufig Luftverdichtungs-Apparate angewandt, durch welche nicht ein Wasserstrahl, sondern ein Luftstrom erzeugt werden soll.

Fig. 74.

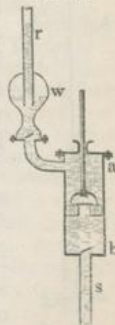
Der bekannteste derselben ist der zum Anfachen des Feuers dienende einfache Blasebalg (Fig. 74). Er besteht aus zwei Brettern, deren Ränder durch einen in Falten gelegten ledernen Balg (c) miteinander verbunden sind, und von denen das eine (a) an einem Ende auf- und abbewegt werden kann, das andere (auf der Innenseite) mit einem Klappenventile (e) versehen ist. Der Innenraum mündet vorn in eine eiserne Röhre. Zweck des Ventils?



In Schmieden, zur Anfachung des Feuers in Hochöfen u. s. w. werden zusammengesetzte Gebläse von sehr verschiedener Einrichtung angewandt. — Auch beim Atmen wird durch Erweiterung und Verengung der Brust ein Ein- und Ausströmen der Luft bewirkt. Beim Einatmen wird die Luft, welche in den Lungen enthalten ist, verdünnt, weil diese sich mit der Brusthöhle erweitern, beim Ausatmen dagegen verdichtet, weil Brust und Lungen sich zusammenziehen. Im ersteren Falle ist daher außen, im letzteren innen ein Überdruck vorhanden.

Übungsstoff. 1. In welchem Teile der Feuerspritze kommt der Druck der äußeren Luft, in welchem dagegen der Druck eingeschlossener Luft zur Wirkung, und wodurch? (Überdruck!) — 2. Wie bewegen sich die Ventile (Fig. 73), wenn die Spritze in Thätigkeit ist? — 3. Vgl. die Einrichtung der Pumpen einer Feuerspritze mit der in Fig. 70 dargestellten Pumpe. (Wesentlicher Unterschied zwischen den Saug-, wie zwischen den Steigrohren!) — 4. Eine kleine Saugdruckpumpe soll durch einen Gummischlauch mit einer Spritzflasche so verbunden werden, daß ein Apparat entsteht, welcher wie eine Feuerspritze wirkt. Wie ist dies auszuführen? — 5. Welcher Teil der Feuerspritze (Fig. 73) bildet einen Hebel? (Mech. V. und N.!) — 6. Wovon ist die Höhe, bis zu welcher der Strahl einer Feuerspritze aufzusteigen vermag, hauptsächlich abhängig, und inwiefern? — 7. Warum ist es nicht gleichgültig, welche Stärke die Kesselwand hat? — 8. Um zu bewirken, daß das W. bei einer mit Steigrohr versehenen Pumpe möglichst gleichmäßig abfließt, versieht man das Steigrohr mit einem Windkessel, (Fig. 75). Warum kann bei solcher Einrichtung in der Saughebepumpe das W.

Fig. 75.



ngs-
nem

mit
? —
rum
atile
t. N.
den
um
pen
? —
Ver-
ihen
lich
? —
eigt,
lge-
nufs
den
läßt
ruck

Das
rch
zu
die
che
nde
die
ein,
ben
ch.)
Ge-
den
ird

cher

ek-
Fig.
ag-
ten
wel-
nem
icht
itet.
and
ben

auch während des Kolbenniederganges im Steigrohre aufsteigen? — 9. Warum kann aber dennoch nicht eine größere Menge W. gefördert werden, als ohne diese Einrichtung? — 10. Es könnte scheinen, als ob eine solche Pumpe leichter gehen müßte, da das W. nur zum Teil durch den Druck der eingeschlossenen Luft im Steigrohre gehoben wird. Warum ist eine solche Meinung falsch? — 11. Warum ist der Vorteil, welchen die Einschaltung des Windkessels gewährt, für eine Feuerspritze von sehr großer Bedeutung? — 12. Wie müßte die Saugdruckpumpe (Fig. 70) geändert werden, um denselben Vorteil zu gewähren? — 13. Bei welchen der in §§ 18—20 beschriebenen Apparate kommt der Druck der freien Luft, bei welchen aber der Druck eingeschlossener Luft zur Wirkung? — 14. Bei welchem wirkt beides zugleich? — 15. In welchen Fällen muß, damit die Wirkung erfolgt, eine Verdünnung, in welchen dagegen eine Verdichtung der Luft, und wann muß beides vorhergehen? — 16. Bei welchen Apparaten wird dies durch mechanische Vorrichtungen und bei welchen einfach durch den Mund bewerkstelligt?

III. Abschnitt.

Vom Schalle.

§ 22. Erregung des Schalles. Die Töne der musikalischen Instrumente, der Knall der Geschütze, die mannigfaltigen Geräusche, wie das Rasseln der Wagen, das Heulen des Windes, das Plätschern des Wassers, das Rollen des Donners u. s. w., — alle derartigen Sinneseindrücke werden als Schall bezeichnet.

Schall wird alles genannt, was wir mit unserem Gehöre wahrnehmen. Einen Schall von bestimmter Höhe oder Tiefe nennt man Ton. Ist ein Schall kurz und kräftig, so wird er Knall genannt. Eine unregelmäßige, rasche Folge von Schallempfindungen verschiedener Art und Stärke heißt Geräusch.

Das Verfahren, welches wir anwenden, um zu bewirken, daß eine Saite, ein Stab, eine Glocke oder dergl. tönt, läßt schließen, daß der den Schall erregende Körper, während er den Schall erzeugt, sich im Zustande der Bewegung befindet. Diese Bewegung ist in vielen Fällen durch das Gefühl deutlich wahrzunehmen, wobei ein Festhalten der schwingenden Teile den Schall dämpft oder ihn ganz aufhebt (Stimmgabel, tönende Glocke). Da nicht bei jeder Bewegung eines Körpers ein Schall wahrgenommen wird, so gelangen wir zu dem weiteren Schlusse, daß die Bewegung des Schallerregers von besonderer Art sein muß. Die Richtigkeit dieser Folgerungen läßt sich durch Versuche bestätigen.

Fig. 76.



***Versuch a.** Wird ein dünner Stahlstab (Fig. 76) wiederholt in Schwingungen (Hin- und Herbewegung) versetzt, so läßt sich der schwingende Teil bei langsamer Bewegung mit den Augen verfolgen. Die Bewegung selbst erfolgt lautlos. Nimmt darauf die Schnelligkeit der Schwingungen mehr und mehr

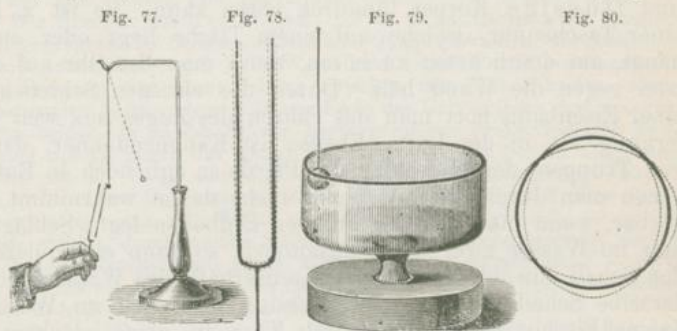
zu, so hört die Gesichtswahrnehmung allmählich auf; an ihre Stelle tritt eine Gehörsempfindung: wir hören einen tiefen Ton, welcher höher wird, wenn die Schwingungen schneller erfolgen. — Könnte man die Geschwindigkeit derselben beliebig steigern, so würde schliesslich wieder lautlose Stille eintreten. (Grenzen der Hörbarkeit von schwingenden Bewegungen.)

*Versuch b. Bringt man das obere Ende einer tönenden Stimmgabel (Fig. 77) oder den Rand einer tönenden Glocke (Fig. 79)

mit dem Kügelchen eines Fadenpendels in Berührung, so wird letzteres abgestossen. —

Wasser wird aus einander gespritzt,

wenn es mit den freien Ästen einer tönenden Stimmgabel oder mit dem Rande einer tönenden Glocke in Berührung kommt. Diese Erscheinung tritt bei einer mit Wasser gefüllten Glocke nur an bestimmten Stellen ein (beim tiefsten Tone nur an 4 Stellen, von denen je 2 einander gegenüberliegen, Fig. 80).



Der Schall wird durch schnell aufeinander folgende Schwingungen eines elastischen Körpers (des Schallerregers) hervorgerufen.

Übungsstoff. 1. Inwiefern hängt a. die Entstehung eines Schalles, b. die Höhe und Tiefe eines Tones von der Zahl der Schwingungen des schallerregenden K. ab? — 2. Warum kann man zu Versuch a nicht jeden beliebigen Stab verwenden? — 3. Welche Beziehung besteht nach der Erfahrung zwischen der Höhe eines Glockentones und der Größe der Glocken? — 4. Welche Mittel werden bei Saiten-Instrumenten angewandt, damit verschiedene Töne entstehen? — 5. Welche Ersch. wird eintreten, wenn man das äußerste Ende des Zinkens einer kräftig tönenden Stimmgabel etwa mit dem Rande eines Glases in Berührung bringt, u. w.? — 6. Warum kann es keinen Einfluss auf das Tönen der Gabel ausüben, wenn man mit dem unteren Ende des Zinkens ebenso verfährt? — 7. Wenn eine Turmglocke kräftig angeschlagen wird, so verschwimmt der sonst scharf abgegrenzte Rand. Erkl.! — 8. Welchen Einfluss muß die Kr., mit welcher eine Stimmgabel oder Glocke angeschlagen, eine Saite gestrichen wird, auf die Weite der Schwingungen ausüben? (Tonstärke!) — 9. An dem äußeren Ende des einen Astes einer recht starken Stimmgabel sei in geradliniger Verlängerung desselben ein spitzer Blechstreifen befestigt. Was für eine Linie wird diese Spitze auf einer beruften Glasscheibe beschreiben, wenn man die Gabel während des Tönens über die Scheibe hinwegzieht? — 10. Inwiefern hängt die Gestalt dieser Linie von der Geschw. ab, mit welcher man die Gabel fortbewegt? — 11. Wie wird die Gestalt der Linie sich ändern, wenn der Ton der Gabel an Stärke abnimmt? — 12. Warum eignet sich eine starke Gabel zu diesem Versuche besser als eine schwache?

§ 23. Fortpflanzung des Schalles. *) Das Geläute einer Glocke, der Knall eines Geschützes, das Rasseln eines Wagens u. s. w. ist bei ruhiger Luft nach jeder Richtung hin hörbar. Wird ein Schall nach einer bestimmten Richtung hin erregt, wie z. B. beim Sprechen oder Rufen, so ist er in dieser Richtung am deutlichsten zu hören.

In der Luft pflanzt sich der Schall nach allen Richtungen fort.

Die Erfahrung lehrt ferner, daß man den Schall auch durch feste und flüssige Körper hindurch hören kann. So ist z. B. das Ticken einer Taschenuhr, welche auf einem Tische liegt oder an einer Wand hängt, am deutlichsten zu hören, wenn man das Ohr auf den Tisch legt oder gegen die Wand hält. Durch die eisernen Schienen des Geleises einer Eisenbahn hört man das Fahren des Zuges aus weit größerer Entfernung als in der Luft. Ebenso ist Kanonendonner, das Marschieren von Truppen, der Hufschlag der Pferde u. dgl. noch in Entfernungen, in denen man durch die Luft nichts mehr davon wahrnimmt, sehr deutlich hörbar, wenn man das Ohr auf den Erdboden legt. Schlägt ein Schwimmer im Wasser zwei Steine zusammen, so kann ein anderer in der Nähe den Schall sowohl innerhalb wie außerhalb des Wassers hören, während derselbe Schall in einiger Entfernung nur noch im Wasser hörbar ist. Zahme Fische lassen sich durch Klingeln u. dgl. locken. Aus diesen und anderen ähnlichen Beobachtungen läßt sich schließen:

Feste und flüssige Körper leiten den Schall im allgemeinen besser als die Luft.

Bei den festen Körpern ist das Vermögen den Schall zu erregen und fortzupflanzen um so geringer, je geringer ihre Elasticität ist. — Weiche lockere Stoffe, z. B. Filz, Watte oder Schnee, ferner pulverförmige Körper, wie Asche, Sägespäne u. dgl., schwächen den Schall stark ab; sie werden daher z. B. zur Ausfüllung der Doppelwände von Fernsprechräumen überall angewandt, wo die außerhalb vorkommenden Geräusche Störungen hervorrufen würden. Zur Dämpfung der Töne im Pianoforte dienen Filzplatten. Die Knochen unseres Kopfes vermögen den Schall gut zu leiten. Schwerhörige hören daher z. B. den Ton einer Stimmgabel oder das Ticken einer Uhr viel deutlicher, wenn sie dieselbe an die Zähne oder an die Stirn halten. Ein Musikinstrument klingt lauter, wenn eine damit verbundene, gespannte Schnur mit ihrem freien Ende zwischen den Zähnen festgehalten oder fest gegen die Wand des Gehörganges gedrückt wird.

Ist die Strecke, welche der Schall vom Orte seiner Entstehung bis zu unserem Ohre zurücklegt, groß, so macht man oft die überraschende Wahrnehmung, daß der Schall viel später gehört wird, als er entsteht. Wenn man z. B. Steinklopfer oder Holzhauer aus der Ferne beobachtet, so hört man den Schlag erst, nachdem Hammer oder Beil schon wieder aufgehoben sind. Andere ähnliche Beispiele sind der Knall eines Geschützes, der Pfiff einer Lokomotive u. s. w. Zur Fortpflanzung des Schalles ist demnach eine gewisse Zeit erforderlich. Die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft hat man durch direkte Messung in der Weise ermittelt, daß man genau feststellte, wieviel Zeit der Knall eines

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 89.

Geschützes gebrauchte, um sich eine gewisse Strecke fortzupflanzen. Hieraus hat sich ergeben:

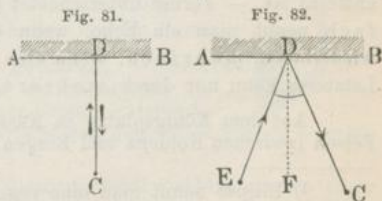
In ruhiger Luft pflanzt sich der Schall ungefähr 340 m in einer Sekunde fort.

Übungsstoff. 1. Welches einfache Mittel pflegt man anzuwenden, um zu bewirken, daß lautes Rufen im Freien nach einer bestimmten Richtung hin am deutlichsten gehört wird? — 2. Was lehrt die Erfahrung über die Fortpflanzung des Schalles mit dem Winde und gegen den Wind? — 3. Warum heißt es im Sprichworte: Der Horcher an der Wand...? — 4. Inwiefern wird Bergleuten, welche von entgegengesetzten Seiten unterirdische Gänge herstellen, die Schallleitung des Erdreiches zu nutze kommen? — 5. Wenn zwei ziemlich weit voneinander entfernt stehende Personen eine dünne Schnur zwischen den Zähnen halten, oder die Enden der gespannten Schnur dem äußeren Ende des Gehörganges fest anlegen, so kann jeder von beiden ein an der Schnur hervorgerufenes leises Geräusch deutlich hören; ein leiser Schlag gegen das untere Ende eines an der Schnur aufgehängten starken Drahtes von 30–40 cm Länge klingt wie fernes Glockengeläute. Erkl.! — 6. Ein Schrei unter einem Deckbette ist kaum hörbar. Grund! — 7. Eine Spieldose sei in einen inwendig ganz mit Watte gefütterten Kasten gestellt, dessen Wand mehrere Löcher enthält, durch welche Schnüre, die an der Dose befestigt sind, hindurchgehen. Welche überraschende Erscheinung läßt sich damit hervorrufen? — 8. Wird das Geräusch, welches ein herannahendes Dampfschiff verursacht, von einem Schwimmer unter oder über dem W. deutlicher gehört werden können, u. w.? — 9. Beim Marschieren nach dem Takte der Musik sind die letzten Reihen eines Regiments Soldaten mit den ersten Reihen niemals in gleichem Schritte. Erkl.! — 10. Welche Änderung muß bei den oben zuletzt angeführten bekannten Erscheinungen eintreten, wenn man sich dem Orte der Entstehung des Schalles immer mehr nähert? — 11. Eine Büchsenkugel fliegt ungefähr 500 m weit in 1 Sek. Vgl. hiermit die Geschw. des Schalles in der Luft.

§ 24. Zurückwerfung des Schalles. Echo. Nachhall.

Instrumente. Steht man in gewisser Entfernung einem Hause, einem Walde oder einer Felswand gegenüber, so kommt ein laut gesprochenes Wort von dort her wieder zurück, sodafs man den Eindruck erhält, als ob sich dort eine zweite Person befände, welche das Wort wiederholte. In großen Sälen oder Gewölben macht man dieselbe Wahrnehmung, oder man hört bei geringerer Entfernung von der zurückwerfenden Wand nur einen Nachhall der gesprochenen Worte.

Solche Erscheinungen entstehen dadurch, daß der Schall von der Wand, gegen welche er gerichtet ist, in ähnlicher Weise zurückgeworfen wird, wie etwa der helle Schein des Sonnenlichtes von einem Spiegel. AB, Fig. 81 und 82, stelle eine solche Wand dar. *Die geraden Linien, in denen sich der Schall vom Schallerreger aus verbreitet, werden Schallstrahlen genannt.* Trifft der Schallstrahl CD, Fig. 81, die Wand senkrecht, so kommt der Schall nach dem Orte seiner Entstehung wieder zurück und wird hier am deutlichsten gehört; trifft er sie in schräger Richtung (ED, Fig. 82), so schlägt der zurückkommende Strahl eine andere Richtung ein (DC).

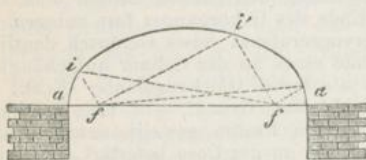


Die Senkrechte, welche man sich auf der vom Schalle getroffenen Wand in demjenigen Punkte errichtet denkt, in welchem der Schallstrahl die Wand trifft, wird **Einfallslot** genannt (DF, Fig. 82). — Der vom einfallenden Strahle und dem Einfallsrote gebildete Winkel (\sphericalangle EDF) heisst **Einfallswinkel**, der vom zurückgeworfenen Strahle und dem Einfallsrote gebildete Winkel **Ausfalls- oder Reflexionswinkel**. — Die Zurückwerfung des Schalles erfolgt nach dem Gesetze:

Der Ausfallswinkel ist gleich dem Einfallswinkel.

Die sichersten Beweise für die Richtigkeit dieses Gesetzes bietet die Zurückwerfung des Schalles bei Hohlspiegeln, sowie in elliptisch gekrümmten Räumen (Fig. 83).¹⁾ In solchen Räumen

Fig. 83.



Senkrechte als Einfallsrot errichtet.)

Der zurückgeworfene Schall wird **Echo oder Wiederhall** genannt, wenn man ihn von dem ursprünglichen deutlich unterscheiden kann; fallen beide Schalle teilweise zusammen, so nennt man den zurückgeworfenen **Nachhall**.

Ob die eine oder andere Erscheinung eintritt, hängt von der Entfernung der Wand ab, welche den Schall zurückwirft. Das menschliche Ohr vermag in 1 Sekunde nur 10 Töne deutlich voneinander zu unterscheiden. Erst nach 0,1 Sek. ist demnach ein Schall im Gehör ganz verklungen. Während dieser Zeit kann der Schall einen Weg von ungefähr 34 m zurücklegen (§ 23). Ist nun der Schallstrahl senkrecht gegen die Wand gerichtet, so legt der Schall denselben Weg zweimal zurück. Damit ein Echo entstehen kann, muß also die Wand wenigstens 17 m von dem Orte der Entstehung des Schalles entfernt sein. Ist sie nicht so weit entfernt, so entsteht nur ein Nachhall.

Das Echo heisst **einsilbig** oder **mehrsilbig**, je nachdem es nur einen Schall oder mehrere rasch aufeinander folgende Schalle wiedergiebt. Ein einsilbiges entsteht, wenn die Wand, welche den Schall zurückwirft, nur einmal 17 m, ein mehrsilbiges, wenn sie mehrmals 17 m von dem Orte der Entstehung des Schalles entfernt ist. — Ferner unterscheidet man **einfache** und **mehrfache Echos**. Einfach nennt man ein Echo, wenn ein oder mehrere Schalle sich nur einmal wiederholen, mehrfach, wenn eine mehrmalige Wiederholung stattfindet. Letzteres kann nur durch mehrere, ungleichweit entfernte Wände erfolgen.

Auf dem Königsplatze in Kassel hört man ein 9faches Echo, beim Lorelei-Felsen (zwischen Koblenz und Bingen) ein 17faches; bei Adersbach in Böhmen wird

¹⁾ Ellipse nennt man eine regelmässig gekrümmte Linie von solcher Beschaffenheit, daß die Summen der Abstände irgend welcher Punkte derselben von den sogen. Brennpunkten (f und f') überall gleich sind. ($if + if' = i'f + i'f'$). Die Linien if , $i'f'$ u. s. w. werden Leitstrahlen genannt.

ein 7faches Echo 3mal gehört. Der Nachhall entsteht in manchen Kirchen, Theatern, Konzertsälen u. dgl. und kann bei einiger Stärke sehr störend wirken, indem er die gesprochenen Worte oder die Töne der Musik undeutlich macht; man sucht ihn zu vermeiden, indem man derartige Räume so baut, daß sie die Schallwellen möglichst zerstreuen.

Bei allseitiger Verbreitung in der Luft erleidet der Schall eine Abschwächung; er bleibt dagegen auch auf weitere Entfernungen fast ungeschwächt, wenn er sich nur in einer Richtung fortpflanzen kann. Hierauf beruhen folgende Instrumente:

1. Das Sprachrohr (Fig. 84 und 85). Um im Freien gesprochene Worte

weithin verständlich zu machen,

Fig. 84.

bedient man sich eines gewöhnlich $1\frac{1}{2}$ bis 2 m langen Rohres,

das an einem Ende mit einem

Mundstücke versehen ist und

nach dem anderen Ende hin

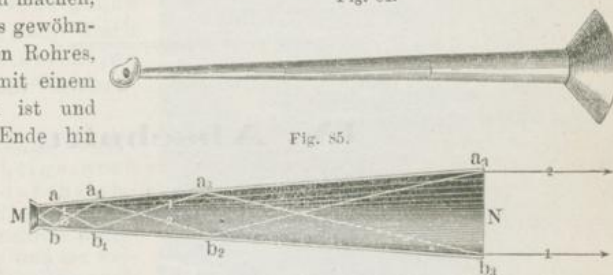
allmählich weiter

wird. — Wie läßt

sich die Wirkung des

Sprachrohres nach

Fig. 85 erklären?



Das Sprachrohr wird namentlich von Schiffen angewandt, um aus größerer Entfernung Personen, die sich auf einem anderen Schiffe oder am Ufer befinden, trotz des Geräusches von Wind und Wellen Worte zurufen zu können.

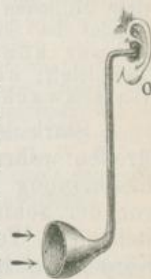
2. Das Schall- oder Kommunikationsrohr. Hiermit bezeichnet man eine 2–3 cm weite Blechröhre, welche an jedem Ende zum bequemen Hineinsprechen etwas erweitert ist und den Zweck hat, Worte nach einem entfernt gelegenen Raume hin deutlich hörbar zu machen. Zum Anrufen wird vielfach eine kleine, im Mundstück angebrachte Pfeife benutzt, deren Ton weithin hörbar ist.

Das Schallrohr findet eine zweckmäßige Anwendung in Geschäftshäusern, in denen es z. B. die Verkaufsräume mit den Arbeitsräumen verbindet, sowie auf Dampfschiffen, auf denen es namentlich vom Kapitän benutzt wird, um vom Deck aus nach den tiefer gelegenen Schiffsräumen deutlich vernehmbare Befehle auszuteilen.

Fig. 86.

3. Das Hörrohr (Fig. 86) soll die Bewegung einer größeren Anzahl von Luftteilchen auf das menschliche Ohr übertragen. Es besteht gewöhnlich aus einer kurzen Röhre, welche an beiden Enden nach entgegengesetzten Richtungen so umgebogen ist, daß der obere, dünne Schenkel bequem ins Ohr und der untere, trichterförmig erweiterte Schenkel dem Sprechenden entgegeng gehalten werden kann.

Das Hörrohr wird von Schwerhörenden gebraucht. — Ärzte wenden Hörrohre an, durch welche schwache Geräusche, die im Innern des Körpers durch die Thätigkeit mancher Organe entstehen, wie z. B. des Herzens, der Lunge beim Atmen, deutlich wahrgenommen werden können.



Übungsstoff. 1. Wie muß man ein Blasinstrument richten, um von einer entfernten Felswand das Echo selbst am besten hören zu können, u. w.? — 2. Wievielmal wird in einem Punkte der Linie DC (Fig. 82) oder in deren Nähe der von E ausgehende Schall hörbar sein? — 3. Führe nach eigener Beobachtung Orte an, an denen ein Echo hörbar ist. — 4. Warum pflegt in Zimmern kein Echo hörbar

zu sein? — 5. Warum braucht man sich beim Sprechen im geschlossenen Raume nicht so anzustrengen wie im Freien? — 6. In leeren Sälen hallen alle Worte und Tritte stärker als in gefüllten. Erkl.! — 7. In gebirgigen Gegenden rollt der Donner bedeutend stärker als in Ebenen; w.? — 8. An einem Orte werde ein 3silbiges Echo gehört. Welchen Einfluß würde es auf dasselbe ausüben, wenn man sich der Wand, welche den Schall zurückwirft, immer mehr näherte? — 9. Eine Wand sei von einer Schallquelle 50 m entfernt. Nach wv. Sek. wird man am Orte der Entstehung des Schalles das Echo hören? — 10. Angenommen, man hörte vom Eisenbahnzuge aus demselben Pfiff der Lokomotive zweimal und zwar das Echo 5 Sek. später: wie weit müßte dann die reflektierende Wand vom Zuge entfernt sein, u. w.? — 11. Vgl. die Einrichtung und Benutzung eines Schallrohres mit derjenigen eines Sprachrohres. — 12. Desgl. ein Sprachrohr mit einem Hörrohre.

IV. Abschnitt.

Vom Lichte.

§ 25. Selbstleuchtende und dunkle Körper. Verbreitung des Lichtes. Die Sonne und die Fixsterne senden Lichtstrahlen aus und werden uns dadurch sichtbar; dagegen besitzen die meisten irdischen Körper, wie die Erfahrung lehrt, die Eigenschaft des Leuchtens nicht. Sie werden vielmehr erst dann sichtbar, wenn sie von dem Licht der Sonne oder eines leuchtenden Körpers getroffen werden.

Körper, welche von selbst sichtbar sind, heißen selbstleuchtend (Lichtquellen); Körper, denen diese Eigenschaft fehlt, werden dunkel genannt. Licht ist die Ursache, durch welche uns die Körper sichtbar werden.

Die Hauptlichtquelle für die Erde ist die Sonne; ihr Licht ist viele Millionen mal stärker als das Licht der meisten Fixsterne. Das Licht des Mondes ist Sonnenlicht, das vom Monde zurückgeworfen wird. — Irdische Körper können durch starke Erhitzung zu Lichtquellen werden (Beispiele!); nur wenige zeigen schon bei gewöhnlicher Temperatur ein schwaches Leuchten, z. B. Phosphor.

Stark leuchtende Körper lassen in ihrer Umgebung häufig Lichtstreifen wahrnehmen, welche sich nach allen Seiten ausbreiten. Diese Erscheinung zeigt sich am schönsten am bewölkten Himmel, wenn das von der Sonne ausgehende Licht durch die Lücken einer vor derselben stehenden Wolke ungehindert hindurchgehen kann (Fig. 87, folg. Seite). Körper, welche weniger stark leuchten, wie glühende Kohlen, Flammen u. s. w., lassen zwar derartige Erscheinungen nicht erkennen, sie sind jedoch von allen Seiten sichtbar, wenn nicht zwischen ihnen und unserem Auge sich ein Körper befindet, durch den wir nicht hindurchsehen können. Hieraus folgt:

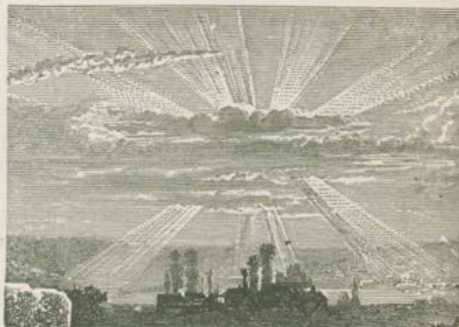
*) Vgl. II. Lehrstufe, § 111 ff.

Von einem leuchtenden Körper geht das Licht nach allen Seiten aus.

Die Linien, welche die Fortpflanzungsrichtung des Lichtes angeben, heißen **Lichtstrahlen**. Der Stoff, durch den das Licht hindurchgeht, wird **Mittel** genannt.

Körper, welche nicht selbst leuchten, sind entweder durchsichtig oder durchscheinend oder undurchsichtig. (Beispiele!) Durchsichtige Körper lassen soviel Licht durch, daß man Gegenstände durch sie hindurch deutlich erkennen kann; durchscheinende Körper lassen weniger Licht durch sich hindurch; undurchsichtige Körper sind für Licht undurchdringlich.

Fig. 87.



Es giebt weder vollkommen durchsichtige, noch vollkommen undurchsichtige Stoffe. Das reinste Glas erscheint farblos, wenn mehrere Scheiben aufeinander liegen und ein weißer Körper dahinter gehalten wird. In sehr tiefen Gewässern kann man den Grund nicht sehen, wenn das Wasser auch noch so klar ist. Wäre die Luft vollkommen durchsichtig, so könnte der Himmel nicht blau erscheinen. Undurchsichtige Körper, z. B. die Metalle, werden durchscheinend, wenn man sie zu sehr dünnen Blättchen auswalzt.

Übungsstoff. 1. Nenne selbstleuchtende und dunkle K. — 2. Desgl. einen K., welcher sich durch Reiben sehr leicht leuchtend machen läßt. (Wichtige Anwendung im täglichen Leben!) — 3. Andere Beispiele von K., welche zu Lichtquellen werden können! — 4. Welche Veränderung findet im Zustande solcher K. statt, ehe das Leuchten beginnt? — 5. In welchen Fällen ist bei der Beurteilung, ob ein irdischer K. selbstleuchtend ist, ein möglichst dunkler Raum erforderlich, und wann ist dies weniger nötig? Beispiele! — 6. Welche Täuschung kann daher hierbei leicht vorkommen? — 7. Wenn man ein Stück Blech oder dergl. in eine leuchtende Flamme hält, so lagern sich auf demselben da, wo es von der Flamme berührt wird, schwarze Kohleteilchen (Ruß) ab. Dies findet nicht mehr statt, wenn das Blech schon stark erhitzt ist. Worin mag es hiernach seinen Grund haben, daß die Flamme leuchtet? — 8. Wie erklärt es sich, daß ein Raum von einem Punkte aus erleuchtet werden kann? — 9. Nenne durchsichtige und durchscheinende K.! — 10. Wie verhält sich a. gewöhnliches, b. mattgeschliffenes, c. gepulvertes Glas gegen Licht; desgl. Eis, Schnee, Wasser, Wasserdampf und Wolken? — 11. Wenn auf lange Dürre ein Regen folgt, so ändert sich der Grad der Durchsichtigkeit der Luft, wie sich an weit entfernten Gegenständen deutlich erkennen läßt; inwiefern?

§ 26. Geradlinige Fortpflanzung des Lichtes. Schatten. Fällt Sonnenlicht durch einen schmalen Spalt in ein dunkles Zimmer, so sieht man die in der Luft schwebenden Staubteilchen in geraden Linien erleuchtet; ferner sind die von hellen Gasflammen oder elektrischen Lampen ausgehenden und durch starken Nebel dringenden Lichtstrahlen ein Beweis für die geradlinige Fortpflanzung des Lichtes, ebenso die bisweilen am Himmel hinter Wolken hervortretenden

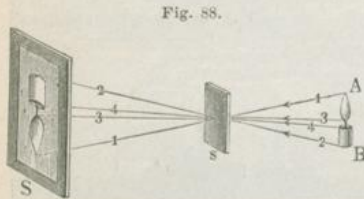
Lichtstreifen (Fig. 87). Blickt man durch kleine Öffnungen beliebig weit voneinander entfernter, undurchsichtiger Körper nach irgend einer Lichtquelle, so ist diese nur dann sichtbar, wenn die Öffnungen in gerader Linie liegen, vorausgesetzt, daß die Luft zwischen Auge und Lichtquelle überall die gleiche Beschaffenheit hat, oder der Lichtstrahl nicht noch durch einen anderen durchsichtigen Körper hindurchgeht. Es gilt demnach der Satz:

In einem durchaus gleichartigen Mittel pflanzt sich das Licht in geraden Linien fort.

Erscheinungen,

welche sich aus der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes erklären:

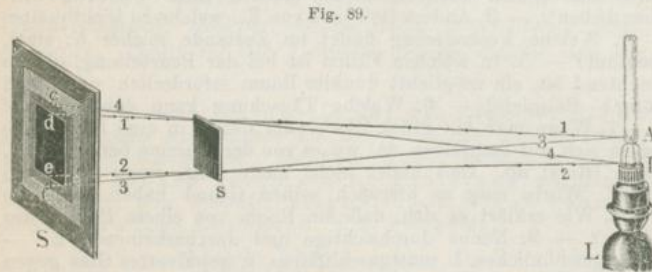
* **Versuch a.** Stellt man im verdunkelten Zimmer einem weißen oder durchscheinenden Schirme (S, Fig. 88) eine Flamme gegenüber und zwischen beide einen undurchsichtigen Schirm (s), welcher in der Mitte eine kleine Öffnung hat, so entsteht auf ersterem ein umgekehrtes Bild der Flamme, dessen Größe sich mit der Entfernung der Schirme von der Flamme



ändert.

Bilder, welche auf einem Schirme aufgefangen werden können, heißen wirkliche oder objektive Bilder.

Versuch b. Verfährt man ebenso unter Anwendung eines kleinen, undurchsichtigen Schirmes ohne Öffnung (Fig. 89), so erhält man einen



scharf abgegrenzten Schatten, wenn beide Schirme einander möglichst nahe stehen. Entfernt man darauf die Schirme mehr und mehr voneinander, so fangen die Ränder des Schattens an undeutlich zu werden, indem sich ein zweiter Schatten bildet, welcher den ursprünglichen als matt beleuchteter Rahmen umgiebt. Mit zunehmender Entfernung ändert sich die Größe der beiden Schatten.

Derjenige Teil eines beschatteten Raumes, welcher gar kein Licht erhält, wird Kernschatten genannt; der Raum, welcher nur von einem Teile der Lichtquelle beleuchtet wird, heißt Halbschatten.

Die Entstehung der beiden Schatten erklärt sich in folgender Weise. *a. Kernschatten:* Denkt man sich von den äußersten Punkten der Lichtquelle (A und B, Fig. 89), gerade Linien (1 und 2) gezogen, welche die gegen-

über
derje
eind
Grer
und
quel
auf
der
hin
scha
von
die

liche
Him
mels
einer
die
die

Scha
dabe
finste
rung

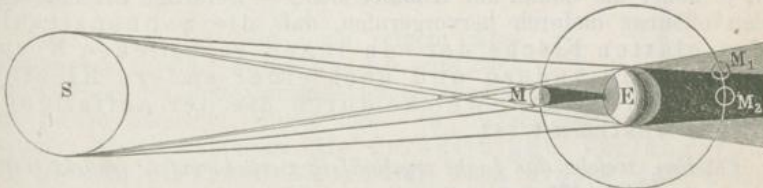
Erde
(M₂),

Stan
dies
2 in
den,
Öffn
nehr
kehr
fluß
Scha
wird
Gege
tung
schei
nahe
breit
Gebä
breit

überliegenden Ränder des undurchsichtigen Schirmes (s) berühren, so wird dadurch derjenige Raum zwischen den beiden Schirmen begrenzt, in welcher gar kein Licht eindringen kann. *b. Halbschatten:* Stellt man sich ferner vor, eine jener beiden Grenzlinien des Kernschattens (etwa Ad) werde um den Punkt, in welchem sie den undurchsichtigen Schirm berührt, so gedreht, daß sie dabei durch die ganze Lichtquelle hindurchgeht (von A nach B), so giebt sie in ihrer neuen Lage (Bc) die äußere Grenze des Halbschattens an. Auf diesem Wege durchschreitet die Linie in der Umgebung des Kernschattens einen Raum, dessen Helligkeit offenbar nach außen hin zunehmen muß, denn je weiter die Linie sich bei ihrer Drehung vom Kernschatten entfernt hat, desto größer ist auch der durchschrittene Teil der Lichtquelle, von welchem Licht in die Umgebung des Kernschattens gelangen kann. — Wäre die Lichtquelle nur ein leuchtender Punkt, so könnte kein Halbschatten entstehen.

Sonnen- und Mondfinsternis. Wie dunkle Wolken den unter ihnen befindlichen Luftraum beschatten, so entsteht im Weltraume ein Schatten von jedem Himmelskörper, welcher sein Licht von der Sonne erhält. Tritt ein anderer Himmelskörper, welcher kein eigenes Licht hat, bei seiner Bewegung im Weltraume in einen solchen beschatteten Raum, so wird er verdunkelt, wie der Erdboden durch die Wolke verdunkelt wird. Erkläre hiernach Fig. 90. (In der Figur bedeutet S die Sonne, M den Mond, E die Erde.)

Fig. 90.



Die Verfinsternung, welche auf der Erde dadurch entsteht, daß die Erde in den Schatten des Mondes tritt, wird Sonnenfinsternis genannt. Je nachdem die Erde dabei in den Kern- oder in den Halbschatten des Mondes (M) gelangt, ist die Verfinsternung stärker oder schwächer. Im ersteren Falle bezeichnet man die Verfinsternung als totale, im letzteren als partielle Sonnenfinsternis.

Gelangt der Mond bei seiner Umdrehung um die Erde in den Kernschatten der Erde, so entsteht eine Mondfinsternis, und zwar eine totale, wenn der Mond ganz (M_2), eine partielle, wenn er nur teilweise (M_1) verfinstert erscheint.

Übungstoff. 1. Bei der Vermessung eines Feldes soll zwischen zwei Stangen ein Punkt gesucht werden, welcher in derselben Geraden liegt. Wie ist dies auszuführen, und worauf beruht die Richtigkeit des Verfahrens? — 2. Von 2 ineinander verschiebbaren Röhren (Fig. 91) habe die engere einen durchscheinenden, die weitere einen undurchsichtigen Boden mit kleiner Öffnung in der Mitte. Was wird man in der Röhre wahrnehmen, wenn man sie hell beleuchteten Gegenständen zugekehrt und hierbei die weite Öffnung vors Auge hält? Einfluß der Verschiebung! Erkl.! — 3. Wie muß sich der Schatten (Fig. 89) ändern, wenn der Schirm s verschoben wird? — 4. Zu welcher Tageszeit sind die Schatten der Gegenstände im Freien am kürzesten und wann am längsten? Grund! — 5. Richtung derselben morgens, mittags und gegen Abend? — 6. Bei recht hellem Sonnenschein ist der Schatten eines Gebäudes an den von letzterem auslaufenden Rändern nahe am Gebäude scharf begrenzt, in weiterer Entfernung aber mit einem immer breiter werdenden verschwommenen Rande versehen; letzterer ist an den mit dem Gebäude parallel laufenden Schattenrändern überall von gleicher Breite, aber um so breiter, je höher das Gebäude ist und je tiefer die Sonne steht. Erkl.! — 7. Schärfe

Fig. 91.



weit
licht-
der
licht-
nicht
gilt

at in

en:

ifsen

Fig.

zwi-

igen

eine

f er-

der

der

nme

nen,

nen,

inen

ab-

ten

en,

ide

ein-

ög-

ste-

fernt

fdie

nehr

von-

den,

ur-

Mit

n.

nicht

nem

gen-

der

gegen-

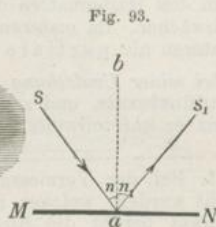
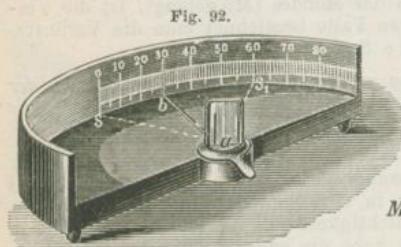
des Schattens von den Teilen eines Stakets oder dergl.? — 8. Bei hohem Sonnenstande und sehr heller Beleuchtung läuft der Kernschatten eines Baumstammes deutlich von den Baumrändern ab in eine Spitze aus. Grund! — 9. Welche Gestalt hat der Schatten einer Kugel im Sonnenlichte auf einem hellen Schirme, wenn die Strahlen senkrecht gegen den Schirm fallen? — 10. Vgl. damit den Schatten, welcher durch das Licht eines sehr hell leuchtenden Punktes entstehen würde. — 11. Unter welcher Bedingung ist der Schatten einer kreisförmigen Scheibe ebenso beschaffen? Grund! — 12. Suche hiernach die Bedingungen auf, unter denen aus der Kreisform des Schattens auf die Kugelgestalt des schattenwerfenden Gegenstandes geschlossen werden kann? — 13. Der Schatten, welcher bei Mondfinsternissen von der Erde auf dem Monde entsteht, ist immer kreisförmig begrenzt. Welchen Schluß zieht man hieraus?

§ 27. Zurückwerfung des Lichtes. Ebene Spiegel.*)

Beim Auf- und Untergange der Sonne sieht man oft weit entfernte Fensterscheiben sehr hell glänzen. Läßt man Sonnenstrahlen gegen einen Spiegel fallen, dessen glänzende Fläche einer Wand zugekehrt ist, so erblickt man auf letzterer einen hellen Schein, welcher mit der Drehung des Spiegels seine Lage ändert. Bei klarem Himmel sieht man das Bild der Sonne in jedem ruhigen Gewässer, und zwar erscheint es um so tiefer, je höher die Sonne am Himmel steht. — Derartige Erscheinungen werden offenbar dadurch hervorgerufen, daß die Sonnenstrahlen an der glatten Fläche der von ihnen getroffenen Körper ihre Richtung ändern und nach einer andern Richtung hingeworfen werden, welche durch die der auffallenden Strahlen bestimmt ist.

Flächen, welche das Licht regelmäßig zurückwerfen (reflektieren)¹⁾, werden spiegelnde Flächen genannt.

Versuch. Hält man im verdunkelten Zimmer etwa eine Kerzen-



flamme hinter den senkrechten Spalt (0, Fig. 92) in einem halbkreisförmigen Gradbogen, in dessen Mittelpunkte ein kleiner, drehbarer Spiegel angebracht ist, so zeigt sich auf dem Gradbogen ein Lichtstreifen. Bei der Drehung des Spiegels verschiebt sich derselbe so, daß die Lichtstreifen vor und nach ihrer Zurückwerfung mit dem das Einfallslot darstellenden Zeiger (b) stets gleiche Winkel einschließen ($\sphericalangle sab = \sphericalangle bas_1$; vgl. Fig. 93).

Der vom Einfallstrahle und dem Einfallslot gebildete Winkel ($\sphericalangle sab$) wird Einfallswinkel, der zwischen dem Einfallslot und dem zurückgeworfenen Strahle liegende Winkel ($\sphericalangle bas_1$) Ausfallswinkel oder Reflexionswinkel genannt.

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 98.

1) reflectöre, zurückwenden.

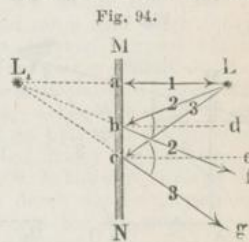
Über die Zurückwerfung des Lichtes gilt folgendes Gesetz, dessen Richtigkeit durch alle Erscheinungen der Spiegelung bestätigt wird:

1. Der zurückgeworfene Strahl liegt in derselben Ebene, in welcher der einfallende Strahl und das Einfallslot liegen. 2. Der Ausfallswinkel ist gleich dem Einfallswinkel.

Aus dem Versuche folgt ferner: Wird ein Spiegel um einen Winkel gedreht, so dreht sich das Bild um den doppelten Winkel.

Anwendung des Reflexionsgesetzes zur Bestimmung der Lage der Bilder.

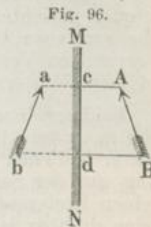
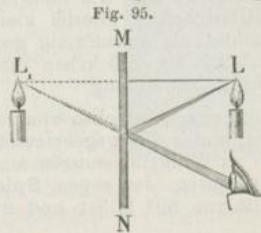
L (Fig. 94) stelle einen leuchtenden Punkt und MN einen Spiegel dar, welcher von den drei Strahlen La, Lb und Lc getroffen werde; La treffe den Spiegel rechtwinklig, Lb und Lc in schräger Richtung. Die Geraden bd und ce seien die zu den beiden letzteren Strahlen gehörigen Einfallslote, bf und cg die dazu gehörigen zurückgeworfenen Strahlen.



Der Strahl La geht nach seinem Ausgangspunkte zurück; warum? — Lb wird nach dem 1. Teile des Reflexionsgesetzes so zurückgeworfen, daß bf mit Lb und bd in derselben Ebene liegt. In dieser Ebene liegt auch Le; warum? Folglich müssen die geradlinigen Verlängerungen der beiden Strahlen La und fb sich hinter dem Spiegel schneiden. Dieser Schnitt sei L_1 . — Nach dem 2. Teile des Reflexionsgesetzes ist $\sphericalangle dbf = \sphericalangle Lbd$. Hieraus läßt sich schließen, daß $\sphericalangle abL_1 = \sphericalangle abL$; warum? Da nun auch $\sphericalangle baL_1 = \sphericalangle baL$ (als Rechte) und $ab = ab$, so ist $\triangle L_1ab \cong \triangle Lab$; folglich $L_1a = La$. — Beweis für Lc!

Da nun ein leuchtender Punkt von unserem Auge immer in derjenigen Richtung wahrgenommen wird, in welcher die von ihm ausgehenden Strahlen ins Auge gelangen, so muß uns der Punkt L in L_1 erscheinen, wenn das Auge von den zurückgeworfenen Strahlen bf, cg u. s. w. getroffen wird, d. h.

alle von dem leuchtenden Punkte L ausgehenden Strahlen werden von dem Spiegel so zurückgeworfen, daß sie von einem ebensoweit hinter demselben liegenden Punkte L_1 (dem Bildpunkte) herzukommen scheinen. Die Verbindungslinie beider Punkte steht senkrecht zur Ebene des Spiegels. Befände sich statt des Punktes ein Gegenstand vor dem Spiegel (Fig. 95 und 96), so würde sich nach derselben Konstruktion für jeden einzelnen Punkt des Gegenstandes die Lage des Bildpunktes finden lassen. Die Vergleichung von Bild und Gegenstand zeigt,



dafs die rechte und die linke, die vordere und die hintere Seite vertauscht sind. (Bestätigung durch die Erfahrung!)

Bei einem ebenen oder Planspiegel erscheint das Bild eines Gegenstandes ebenso weit hinter der spiegelnden Fläche, als der Gegenstand vor derselben sich befindet. Bild und Gegenstand haben gleiche Gröfse und Gestalt, ihre Seiten sind vertauscht (symmetrisch).

Die durch ebene Spiegel entstehenden Bilder sind in Wirklichkeit nicht vorhanden und werden daher scheinbare oder subjektive Bilder genannt.

Erkläre die Entstehung der drei Bilder L_1 , L_2 und L_3 des leuchtenden Punktes L (Fig. 97). Bestätigung durch den Versuch (Fig. 98).

Fig. 97.

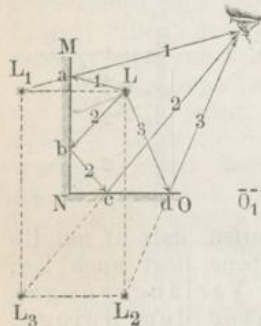


Fig. 98.

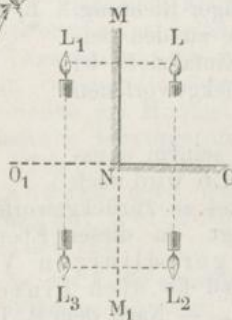
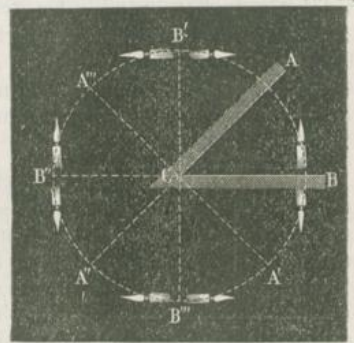


Fig. 99.



Durch zwei ebene Spiegel, welche einen Winkel einschließen, entstehen von einem zwischen ihnen befindlichen Gegenstande so viele Bilder, als der Winkel in 360° enthalten ist, weniger 1 (siehe Fig. 98 und 99). — Parallele Spiegel erzeugen unendlich viele Bilder, deren Sichtbarkeit wegen der wiederholten Reflexion immer geringer wird (vgl. Fig. 100, folg. Seite).

Die Entstehung regelmäßig gruppierter Bilder durch Winkelspiegel hat zur Erfindung des **Kaleidoskops**¹⁾ oder Schönguckers geführt (1817). Dasselbe besteht aus einer Röhre, in welcher gewöhnlich zwei schmale Spiegel einen Winkel von 45° , 40° , 36° u. s. w. miteinander bilden. Am Ende dieser Spiegel befinden sich zwischen zwei quer gerichteten Glasscheiben allerlei kleine, gefärbte Glasstückchen u. dgl., welche von vorn betrachtet als sternförmig geordnete Figuren erscheinen, die bei der geringsten Verschiebung der Stückchen ihre Form ändern. Das Kaleidoskop findet beim Musterzeichnen Anwendung.

Feldmesser wenden zum Abstecken von rechten Winkeln **Winkelspiegel** an, welche aus zwei kleinen, unter 45° gegeneinander geneigten Spiegeln bestehen. — Seefahrer bedienen sich zu Winkelmessungen am Himmel, welche sie zu ihrer Orientierung auf der See ausführen, des sogen. **Spiegelsextanten**, eines Instrumentes, das einen Kreisabschnitt von 60° bildet und 2 kleine Spiegel enthält, von denen der eine drehbar ist.

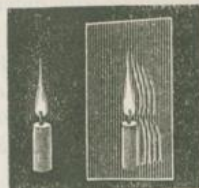
Die allgemeinste Anwendung findet die Reflexion des Lichtes im täglichen Leben durch die gewöhnlichen Glasspiegel. Bei denselben spiegelt sowohl die vordere, als auch die hintere Seite des Glases. Letz-

¹⁾ καλός (kalós), schön, εἶδος (eidos), Gestalt, und σκοπέω (skopeo), schaue.

tere ist mit Zinnamalgame (Zinn und Quecksilber) belegt und ruft das eigentliche Bild hervor. Geht von einem Gegenstande viel Licht aus (Flamme, glühende Kohle u. dgl.) und ist die Spiegelplatte hinreichend dick, so sind mehrere Bilder sichtbar, da jedes Bild für die andere spiegelnde Fläche wieder zum Gegenstande wird (Fig. 100). — Metallspiegel (polierte Metallplatten) erzeugen nur ein Bild.

Die Benutzung des Amalgams als Spiegelbelag stammt aus dem 14. Jahrhundert.

Fig. 100.

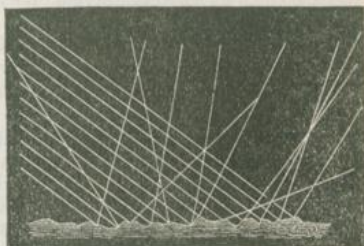


Übungsstoff. 1. Warum zeigen Fensterscheiben nur bei tiefem Sonnenstande einen starken (feurigen) Glanz? — 2. Welche Stellung muß der Beobachter zur Sonne und Fensterscheibe einnehmen, damit jene Ersch. eintritt? — 3. Durch welche Änderungen der Stellung a. des Beobachters, b. der Scheibe kann die Ersch. verschwinden? — 4. Angenommen, der Spiegel, Fig. 92, sei zunächst um 5° und darauf um 15° gedreht. Um wv. würde sich dann der Lichtstreifen jedesmal gedreht haben? — 5. Um wv. Grad muß man einen Spiegel aus seiner senkrechten Lage drehen, damit das Bild des eigenen Körpers aus der senkrechten in die wagerechte Lage übergeht; um wv. Grad ferner, damit der Kopf des Bildes nach unten gerichtet ist? — 6. Wie erklärt es sich, daß die Gegenstände am Ufer eines Gewässers im W. umgekehrt erscheinen? — 7. Wie mag es sich erklären, daß diese Bilder bei gleicher Beleuchtung nicht so hell sind als die durch Glasspiegel erzeugten Bilder? — 8. Woran ist es ohne Lot leicht zu erkennen, ob ein sehr nahe am W. stehendes Gebäude schief steht? — 9. Erkläre die Ersch., daß man das Bild einer brennenden Lampe vom Zimmer aus durch die Fensterscheiben hindurch außerhalb des Zimmers sehen kann. — 10. Worin hat es seinen Grund, daß derartige Bilder bedeutend matter erscheinen als gewöhnliche Spiegelbilder? — 11. Welcher Täuschung ist man ausgesetzt, wenn hinter Schaufenstern im Hintergrunde Spiegelglas und seitlich 2 parallele Spiegel angebracht sind? — 12. Wie ist es zu bewirken, daß die hinter Schaufenstern wagerecht liegenden Gegenstände senkrecht erscheinen? — 13. Wie läßt sich die Dicke von Spiegelglas mit Hilfe einer gegen den Spiegel gehaltenen Messerspitze oder dergl. bestimmen? — 14. Wie läßt sich die Entstehung der Bilder durch Planspiegel aus den beiden Reflexionsgesetzen ableiten?

§ 28. Zerstreuung des Lichtes. Morgen- und Abenddämmerung.

Wenngleich wir bei Körpern mit unebenen Flächen diejenigen Lichterscheinungen, welche glatte Flächen hervorrufen, niemals wahrnehmen, so müssen wir doch schliessen, daß auch sie Lichtstrahlen zurückzuwerfen vermögen (warum?). Da die zahlreichen kleinen Oberflächen der Unebenheiten solcher Körper die verschiedensten Richtungen haben, so kann dabei die Zurückwerfung nicht mit der Regelmäßigkeit erfolgen, mit welcher die Strahlen durch glatte Flächen reflektiert werden (Fig. 101). Welche Richtung würden die in der Figur dargestellten Strahlen nach ihrer Reflexion gegeneinander einnehmen, wenn die Fläche glatt und eben wäre?

Fig. 101.



Unebene Flächen werfen das Licht nach allen Seiten zurück und zerstreuen es also: Unregelmäßige Zurückwerfung oder Zerstreuung des Lichtes.

Durch die unregelmäßige Zurückwerfung des Lichtes werden uns Körper mit unebenen Flächen von allen Seiten sichtbar, während spiegelnde Flächen um so weniger gesehen werden können, je glatter sie sind, und dann nur durch starke Spiegelung oder durch ihre Umrahmung erkannt werden.

Auch in der Luft findet eine Zerstreuung des Lichtes statt. Hierauf beruht die Entstehung der **Morgen- und Abenddämmerung**, d. h. *derjenigen Erscheinung, daß die Helligkeit vor dem Aufgange der Sonne allmählich zu-, nach dem Untergange der Sonne allmählich wieder abnimmt*. Wenn nämlich die Sonne so tief unter dem Horizonte steht, daß ihre Strahlen unser Auge nicht mehr direkt treffen können, so gelangt das Licht derselben dadurch zu uns, daß die höheren Luftschichten davon getroffen werden und die darin schwebenden Staub- und Wassertheilchen (Nebel, Wolken), sowie die Lufttheilchen selbst das Licht nach verschiedenen Seiten hin zurückwerfen. Dies ist jedoch nur solange möglich, als die Sonne sich nicht über 18° unter dem Horizonte befindet. Bis zu dieser Grenze ist die Beleuchtung offenbar um so schwächer, je tiefer die Sonne unter dem Horizonte eines Ortes steht, denn um so mehr gehen die Strahlen über die am besten reflektierenden dichteren Luftschichten des Ortes hinweg. Ohne diese Wirkung der Atmosphäre würde der helle Tag sich plötzlich in finstere Nacht verwandeln und umgekehrt.

Die Dauer der Dämmerung ist nicht überall auf der Erde gleich. Am Äquator, wo die Sonne zweimal im Jahre senkrecht, sonst nahezu in senkrechter Richtung über den Horizont hinaufsteigt und unter denselben hinabsinkt, währt die Dämmerung bei der dortigen nächtlichen Klarheit des Himmels nur sehr kurze Zeit. Die kürzeste Dämmerung fällt hier mit den Tag- und Nachtgleichen zusammen. Nach den Polen hin dauern die Dämmerungen immer länger, namentlich weil der Winkel, welchen der tägliche Lauf der Sonne beim Auf- und Untergange mit dem Horizonte bildet, polwärts immer kleiner wird und die Sonne also länger in der Nähe des Horizontes verweilt. Die Zeiten der kürzesten Dämmerung entfernen sich hier immer weiter von der Tag- und Nachtgleiche. Während ferner am Äquator das ganze Jahr hindurch Tag und Nacht schnell ineinander übergehen, dauert in unseren Gegenden die Dämmerung zur Zeit der längsten Sommertage die ganze Nacht hindurch und am Pole solange, daß die Polarnacht dadurch fast um 100 Tage abgekürzt wird.

Die unregelmäßige Reflexion des Sonnenlichtes befördert am Tage eine gleichmäßige Verbreitung der Helligkeit. Dadurch werden namentlich bei direkter Beleuchtung die Gegensätze zwischen Licht und Schatten gemildert. Auf sehr hohen Bergen treten diese Gegensätze wegen der größeren Reinheit der Luft weit mehr hervor als in tiefer gelegenen Gegenden.

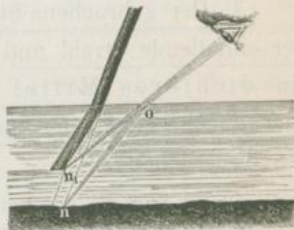
Übungsstoff. 1. Wann ist eine Eisfläche kaum, und wann sehr deutlich sichtbar? Erkläre beides? — 2. Warum werden in Neubauten die Fensterscheiben mit Kalk bespritzt? — 3. Warum kann ein Gemälde bei derselben Beleuchtung nicht von allen Seiten gleichdeutlich gesehen werden? — 4. Inwiefern kann die Himmelsgegend, nach welcher ein Zimmer liegt, einen Einfluß auf die Sichtbarkeit der an den Wänden aufgehängten Bilder ausüben? Beispiele! — 5. Wie läßt sich durch ein Blatt weißen Papiers beim Lesen während der Dämmerung die Deutlichkeit der Schrift erhöhen? — 6. Man stelle sich vor, alle Gegenstände in einem Zimmer reflektierten das Licht regelmäßig. Welche Erschn. würden dadurch bei direktem Sonnenlichte und bei Lampenbeleuchtung entstehen, und wie würde dies dauernd auf unsere Augen wirken? — 7. Welchen Vorteil gewährt hiernach die unregelmäßige Reflexion des Lichtes in der Natur? — 8. In welcher Weise müßte morgens und abends Hell und Dunkel wechseln, wenn in den höheren Luftschichten keine Zerstreuung des Lichtes stattfände? — 9. Inwiefern kann man sagen, daß durch die Atmosphäre die Tage verlängert werden? — 10. Welchen Einfluß übt die

geogr. Lage eines Ortes hierauf aus? Grund! — 11. Welche Unterschiede zeigen Licht und Schatten bei klarem und bei bewölktem Himmel? — 12. In unseren Wohnzimmern ist bisweilen eine Ersch. wahrzunehmen, aus welcher man schließen kann, daß Sonnenstrahlen durch Staubteilchen zurückgeworfen werden. Welche Ersch.? — 13. Wenn nach andauernder Dürre starker Regen eintritt und der Himmel bald darauf klar wird, so erscheint der Horizont schärfer begrenzt, und die Gegensätze zwischen Licht und Schatten treten stärker hervor als sonst. Erkl.! — 14. Im Hochgebirge kommt es oft vor, daß die Firsten der Berge in hellem Glanze strahlen, während in den Thälern bereits dunkle Nacht herrscht. Erkl.!

§ 29. Brechung des Lichtes. *) Atmosphärische Strahlenbrechung.

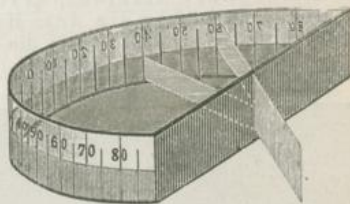
Die bekannte Erscheinung, daß ein schräg in Wasser stehender gerader Stab geknickt aussieht (Fig. 102), hat eine gewisse Ähnlichkeit mit den durch Spiegelung hervorgerufenen Erscheinungen. Denn man sieht den eingetauchten Teil des Stabes an einer anderen Stelle, als an welcher er sich wirklich befindet, wie in einem Spiegel die vor demselben befindlichen Gegenstände an Orten erscheinen, wo sie in Wirklichkeit nicht vorhanden sind. Da nun Spiegelbilder dadurch entstehen, daß die von den Gegenständen ausgehenden Lichtstrahlen in veränderter Richtung in unser Auge gelangen, so liegt der Gedanke nahe, daß auch jene Erscheinung durch eine Richtungsänderung derjenigen Strahlen hervorgerufen werde, welche von dem gebrochen erscheinenden Teile des Stabes aus in unser Auge gelangen. Dies wird durch folgenden Versuch bestätigt:

Fig. 102.



Versuch. Läßt man in ein halb mit Wasser gefülltes, halbkreisförmiges Glasgefäß (Fig. 103), dessen gebogene Wand matt geschliffen

Fig. 103.



und dessen ebene Wand bis auf einen schmalen Spalt undurchsichtig ist, etwa von einer Kerzenflamme Lichtstrahlen eindringen, so entsteht auf dem Gradbogen in und über dem Wasser ein heller Lichtstreifen. Beide Streifen liegen geradlinig übereinander, wenn die Strahlen rechtwinklig einfallen; sie entfernen sich jedoch umsomehr voneinander, je schräger man die Strahlen einfallen läßt, und zwar bleibt der untere Lichtstreifen dabei hinter dem oberen zurück.

Lichtstreifen werden demnach bei schrägem Eintritte aus Luft in Wasser nach dem Einfallslot hin abgelenkt. — Denkt man sich, aus dem Wasser gingen Lichtstrahlen (in der Richtung des unteren hellen Streifens der Figur) durch den Spalt nach außen, so würden sie beim Übergange in die Luft umgekehrt vom Einfallslot weg abgelenkt werden. (Wende dies auf Fig 102 an.)

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 98 u. ff.

Die Ablenkung, welche Lichtstrahlen erleiden, wenn sie aus einem Mittel in ein anderes übergehen, nennt man **Brechung**. — Die beiden Winkel, welche der einfallende und der gebrochene Strahl mit dem Einfallslot bilden, werden als **Einfallswinkel** und **Brechungswinkel** bezeichnet. — Versuche über Lichtbrechung lehren allgemein:

Gehen Lichtstrahlen aus einem Mittel in ein anderes über, so werden sie von ihrer ursprünglichen Richtung um so stärker abgelenkt, je schräger sie die Trennungsfäche beider Mittel treffen; senkrecht einfallende Strahlen erleiden keine Brechung.

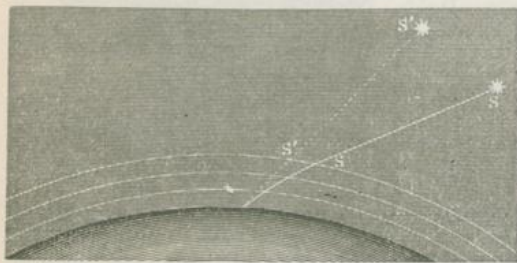
Die Lichtbrechung erfolgt wie die Zurückwerfung des Lichtes gesetzmäßig:

1. Der gebrochene Strahl liegt in derselben Ebene, in welcher der einfallende Strahl und das Einfallslot liegen. 2. Beim Übergange in ein dichteres Mittel werden Lichtstrahlen nach dem Einfallslot hin, beim Übergange in ein dünneres Mittel vom Einfallslot weg gebrochen.

Ob ein Stoff für den Durchgang von Lichtstrahlen als dichter (optisch dichter) zu bezeichnen ist, läßt sich nicht immer nach dem spec. Gewichte beurteilen. So wird das Licht z. B. durch Glas stärker gebrochen als durch Wasser und durch Wasser stärker als durch Luft; Wasser vermag jedoch die Lichtstrahlen nicht so stark zu brechen als manche andere (brennbare) Flüssigkeiten, wie z. B. Weingeist und Öle, obgleich diese Stoffe specifisch leichter sind als Wasser. Manche brennbare Flüssigkeiten brechen das Licht sogar noch stärker als gewöhnliches Glas, z. B. Schwefelkohlenstoff. — Durch die Luft wird das Licht um so stärker gebrochen, je dichter sie ist.

Durch die Brechung, welche das Licht der Gestirne in der Erdatmosphäre erleidet, erscheinen uns die Gestirne um so mehr gehoben, je näher sie dem Horizonte stehen (**atmosphärische Strahlenbrechung**, (Fig. 104). Indem die Lichtstrahlen aus dem Weltraum in die Erd-

Fig. 104.



atmosphäre eintreten, werden sie nach dem Einfallslot hin gebrochen. Da nun die Dichtigkeit der Luft nach der Erdoberfläche hin allmählich zunimmt, so wiederholt sich die Brechung unzählige Male. Aus dem geraden Lichtstrahl wird somit ein gekrümmter Strahl, welcher seine hohle Seite der Erde zuwendet. Wird unser Auge von solchen Strahlen getroffen, so erblicken wir das Gestirn in der geradlinigen Verlängerung des in das Auge fallenden Strahlenteiles, mithin an einem höheren Punkte (S_1), als an welchem es sich befindet. Je schräger die Strahlen in die Atmosphäre einfallen, um so mehr erscheint demnach das Gestirn gehoben. — Hierdurch wird der Aufgang der Sonne ein wenig verfrüht, der Untergang verspätet, die Tagesdauer also ein wenig verlängert. Diese Verlängerung

beträgt in unseren Gegenden nur einige Minuten, in den Polargegenden sogar mehrere Tage. Sonne und Mond erscheinen infolge der Strahlenbrechung dicht am Horizonte nicht vollständig kreisrund, sondern von oben nach unten abgeplattet, da der untere Rand dieser Himmelskörper mehr gehoben wird als der obere, während der wagerechte Durchmesser derselbe bleibt.

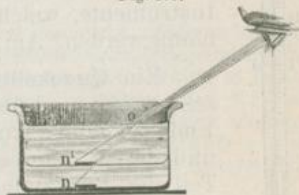
Weit entfernte irdische Gegenstände erscheinen infolge der atmosphärischen Strahlenbrechung bisweilen auffällig gehoben. So sieht man z. B. bei Hastings (spr. Hehstings) in England zuweilen die über zehn Meilen entfernte französische Küste, bei Reggio (spr. Redscho) in Calabrien die Küste von Sicilien mit in der Luft schwankenden Palästen, Ruinen u. dgl., während bei gewöhnlicher Luftbeschaffenheit diese Küsten nicht sichtbar sind, da sie unter dem Horizont liegen. Derartige Erscheinungen, welche mit plötzlichem Wechsel der Luftzustände sich oft zauberhaft schnell ändern, wurden einer Fee zugeschrieben, daher ihr Name: *Fata morgana*; an der deutschen Nordseeküste bezeichnet man diese Wirkungen der atmosphärischen Strahlenbrechung als *Kimmung*. — Wegen der atm. Strahlenbrechung ist für alle hohen Punkte der Erde die Sehweite ungefähr $\frac{1}{16}$ größer, als sie bei geradliniger Fortpflanzung der Lichtstrahlen sein würde.

Außer den bereits angeführten erklären sich aus der Brechung des Lichtes noch zahlreiche andere Täuschungen. So scheint uns z. B. jedes klare Gewässer, dessen Boden wir sehen können, flacher zu sein, als es wirklich ist; Kähne und Schiffe erscheinen, von aufsen durch das Wasser hindurch betrachtet, weniger tief, als sie sind; Fische scheinen dem Wasserspiegel näher zu sein u. s. w. Bewegt sich die Oberfläche eines Gewässers, so scheinen die darin befindlichen Gegenstände zu schwanken. Über einem offenen Feuer, stark geheizten Öfen u. dgl. scheint die Luft zu zittern; an heißen Sommertagen zeigt sich diese Erscheinung bisweilen auch über Dächern und dürrern Boden. Auch das Funkeln oder Zittern der Fixsterne hat seinen Grund in der Strahlenbrechung; es ist besonders stark bei gewissen Luftzuständen und bei solchen Sternen, die in der Nähe des Horizontes stehen.

Im täglichen Leben findet die Lichtbrechung eine sehr nützliche Anwendung bei den Instrumenten, welche den Zweck haben, das Sehvermögen des Menschen zu erhöhen (Brillen, Vergrößerungsgläser, Fernrohre u. dgl.).

Übungsstoff. 1. Worin stimmen Brechung und Reflexion des Lichtes überein, und wodurch unterscheiden sie sich? — 2. Woraus kann man schließen, daß von den auf W. fallenden Sonnenstrahlen ein Teil zurückgeworfen wird, ein anderer aber in das W. eindringt? — 3. Aus der Sichtbarkeit im W. untergetauchter K. läßt sich schließen, daß wenigstens ein Teil des in das W. eingedrungenen Lichtes wieder zurückkommt; inwiefern? — 4. Wird die Richtung der schräg gegen die Wasseroberfläche fallenden Strahlen eine steilere oder flachere, wenn letztere a. in das W. eintreten, b. aus dem W. austreten, und wovon hängt die Stärke dieser Richtungsänderung ab? — 5. Welche Ersch. stellt Fig. 105 dar? (n sei eine Münze.) Erkl.! — 6. Das Gefäß werde bei Betrachtung der Münze a. mit W. gefüllt, b. etwa mit einem Saugheber wieder geleert. Wie ändert sich die Ersch.? — 7. Der Boden jenes Gefäßes bestehe aus Glas und sei bis auf eine kleine Öffnung aufsen mit undurchsichtigem Papier beklebt; das W. sei durch Kreidestaub, einige Tropfen Milch, Seife oder dergl. ein wenig getrübt, und der durch ein Blatt Papier verdeckte Raum über dem W. enthalte ein wenig Rauch. Welche Ersch. würde sich dann zeigen, wenn man von unten recht helles Lampenlicht in das W. eintreten ließe? — 8. Angenommen, das Gefäß, Fig. 103, werde zunächst mit W. und darauf mit Weingeist oder Terpentinöl gefüllt. Welche Ersch. wird man dann nach dem spec. Gew. dieser Flgkn. leicht erwarten, und welche treten ein? — 9. Um Fische im W. zu schießen, zu stechen oder zu greifen, muß die Lichtbrechung beachtet werden; inwiefern ist hierbei a. auf die Richtung, b. auf die Tiefe, in wel-

Fig. 105.



cher man die Fische im W. sieht, Rücksicht zu nehmen? — 10. Wie werden die Räder eines etwa bis an die Achsen in ruhigem und klarem W. stehenden Wagens aussehen, wenn man sie von der Seite betrachtet, u. w.? — 11. Welche Änderung wird man wahrnehmen können an der Gestalt der Hand, wenn man sie senkrecht in W. taucht, am ganzen K., wenn man beim Baden immer tiefer ins W. hineingeht? Erkl.! — 12. Wie muß ein auf die Erde gelangender Sonnenstrahl die Atm. treffen, um seine ursprüngliche Richtung beizubehalten? — 13. Angenommen, es sollte der Winkel gemessen werden, welchen eine gerade Linie, die man sich vom Auge bis zu einem Stern gezogen denkt, mit der Horizontalen bildet. Inwiefern ist hierbei die Größe des durch die Lichtbrechung entstehenden Beobachtungsfehlers von der Stellung des Gestirns abhängig?

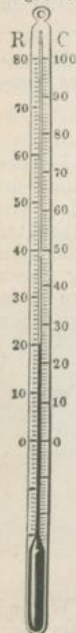
V. Abschnitt.

Von der Wärme.

A. Wirkungen der Wärme.

§ 30. Wärmeempfindung. Thermometer.*) Mittelung der Wärme.

Fig. 106.



Wenn man einen festen Körper berührt, so hat man außer dem Gefühle, daß er hart oder weich, rauh oder glatt u. s. w. ist, häufig noch eine andere Empfindung, nach welcher man den Körper als heiß, warm, kühl oder kalt bezeichnet. Dieselbe Empfindung können auch flüssige und luftförmige Körper in uns hervorrufen: wir sprechen z. B. von warmem und kaltem Wasser, von warmer und kalter Luft.

Die nicht wahrnehmbare Ursache, durch welche diese Empfindungen in uns hervorgerufen werden, heißt Wärme.

Wie warm oder kalt ein Körper ist, läßt sich durch das Gefühl nur annähernd richtig beurteilen. Tauchen wir z. B. die Hand in lauwarmes Wasser, so erscheint uns dasselbe warm, wenn die Hand kälter, hingegen kalt, wenn sie wärmer war als das Wasser. Zur genauen Bestimmung des Wärmegrades dienen Instrumente, welche Thermometer¹⁾ oder Wärmemesser genannt werden. Am gebräuchlichsten sind Quecksilberthermometer.

Ein Quecksilberthermometer (Fig. 106) besteht aus einer sehr engen und überall gleichweiten Glasröhre, welche an einem Ende zu einem kugelförmigen oder cylindrischen Gefäße aufgeblasen und deren anderes Ende zugeschmolzen ist. Das Gefäß und ein Teil der Röhre sind mit Quecksilber gefüllt, der übrige Teil der Röhre ist luftleer. Auf oder neben der Röhre (auf Holz, Metall oder dergl.) befindet sich zum Ablesen des Wärmegrades eine

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 117.

¹⁾ θερμός (thermos, Wärme.

$80^{\circ} \text{ Réaumur} = 100^{\circ} \text{ Celsius}$
 $1^{\circ} = \frac{5}{4}$
 $1^{\circ} \text{ C} = \frac{4}{5} \text{ R}$

Skala, d. h. eine numerierte Teilung, in welcher zwei Punkte gewöhnlich durch die Buchstaben EP oder FP (Eispunkt oder Frierpunkt) und SP (Siedepunkt) besonders hervorgehoben sind. Bis zum ersten Punkte sinkt das Quecksilber, wenn man das Thermometer in schmelzenden Schnee taucht, bis zum letzteren steigt es, wenn man die Dämpfe von kochendem Wasser auf das Thermometer einwirken läßt. Da von diesen Punkten die Teilung ausgeht, so werden sie als Fundamentalpunkte bezeichnet; ihr Abstand wird Fundamentalabstand genannt. Letzterer ist in eine bestimmte Anzahl gleicher Teile, Grade, geteilt.

Nach der Beschaffenheit der Skala unterscheidet man Thermometer nach Réaumur (spr. Reomür) und Celsius. Bei ersteren ist der Fundamentalabstand in 80, bei den letzteren in 100 Grade geteilt. Diese Teilung wird häufig noch über die Fundamentalpunkte hinaus fortgesetzt. Man zählt die Grade vom Eispunkte aus. Hier steht daher 0 (wonach der Eispunkt auch Nullpunkt heißt), während den Siedepunkt je nach der Skala die Zahl 80 oder 100 bezeichnet. Die Grade über 0 werden Wärmegrade, jene unter 0 Kältegrade genannt; erstere bezeichnet man durch ein vorgesetztes Pluszeichen (+), letztere durch ein Minuszeichen (-). Ein nachfolgendes R oder C giebt die Art der Skala an. — Was bedeutet hiernach: +20° C und -20° R?

Man gebraucht ein Thermometer in der Weise, daß man den unteren, gefäßförmigen Teil desselben mit dem zu untersuchenden Körper in Berührung bringt. Hierbei findet gewöhnlich ein Steigen oder Fallen des Quecksilbers in der Röhre statt, das solange andauert, bis der Wärmegrad bei beiden Körpern gleich ist. Die dann vom Quecksilberfaden angezeigte Zahl der Skala giebt den Wärmegrad oder die **Temperatur** des Körpers an.

Ein solcher Temperatur-Ausgleich tritt stets ein, wenn zwei Körper von verschiedener Temperatur einander lange genug berühren, wie sich durch das Thermometer leicht nachweisen läßt. Hierbei nimmt der kältere Körper von dem wärmeren solange Wärme auf, bis beide dieselbe Temperatur haben. (Füllen eines kalten Gefäßes mit heißer Flüssigkeit, Mischen von kaltem und heißem Wasser, Ablöschen von glühendem Eisen durch Eintauchen in kaltes Wasser u. s. w.)

Die Temperatur der Körper ist veränderlich. — Wenn Körper von ungleicher Temperatur einander berühren, so findet eine Ausgleichung der Temperatur statt: **Mitteilung der Wärme**.

Die Ausdrücke Wärme und Temperatur dürfen nicht miteinander verwechselt werden, da Wärme die Ursache der Wärmeerscheinungen, Temperatur hingegen nur den Grad der Erwärmung anzeigt. — Ebenso unrichtig würde es ferner sein, Wärme und Kälte für etwas wesentlich Verschiedenes zu halten. Ein Körper ist kalt, heißt: der Grad seiner Erwärmung ist gering, oder er hat eine niedrige Temperatur, nicht aber, er enthalte gar keine Wärme. — In Deutschland werden im täglichen Leben vielfach Thermometer mit der Skala von Réaumur benutzt; die Skala von Celsius wird besonders in Frankreich gebraucht.

- Übungsstoff.**
1. Worin stimmen die Therm. nach R und C überein, und wodurch unterscheiden sie sich? —
 2. Warum muß der freie Raum der Therm.-Röhre luftdicht sein? —
 3. Warum sind die Therm. unten gefäßförmig erweitert? —
 4. Warum ist die Wand des Gefäßes dünn, die Wand der Röhre dagegen dick? —

die
gens
nung
echt
ein-
Atm.
, es
vom
ist
ilers

ei-
hrt,
auh
ach
ich-
üge
em

m-

Ge-
and
enn
das
nen
ge-
ter.

ner
em
sen
ein
der
tall
ine

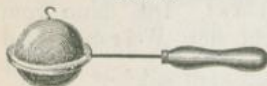


5. Welche Schutzvorrichtung befindet sich an Zimmer-Thermometern gewöhnlich über der Kugel? — 6. Für manche Zwecke reicht es aus, Therm. zu benutzen, deren Skala nur bis 40 oder 50° hinaufgeht. Warum dürfen solche Therm. nicht in Flgkn. eingetaucht werden, welche eine höhere Temp. haben? — 7. Die Kugeln zweier Therm. seien gleichdick, die Röhren dagegen ungleichweit. Bei welchem wird dann das Qu. bei gleicher Temp.-Erhöhung am schnellsten steigen und fallen, u. w.? — 8. Was wird eintreten, wenn die Röhren gleichweit und die Kugeln ungleichdick sind? — 9. Durch welche Einrichtung läßt es sich demnach erreichen, daß die Teilstriche der Skala eines Therm. möglichst weit auseinanderfallen? — 10. Kugeln haben bei dem größten Rauminhalte die kleinste Oberfläche. Leite hieraus ab, warum für sehr empfindliche Therm. sich die in Fig. 106 dargestellte Form besser eignet. — 11. Wv. Grad C sind $+12^{\circ}$, $+17^{\circ}$, $+25^{\circ}$ und -12° , -17° , -25° R? — 12. Wv. Grad R sind $+20^{\circ}$, $+33^{\circ}$, $+49^{\circ}$ und -20° , -33° , -49° C?

§ 31. Ausdehnung der Körper durch die Wärme. a. Ausdehnung fester Körper.

Aus zahlreichen Erfahrungen des täglichen Lebens geht hervor, daß die festen Körper, besonders die Metalle, unter dem Einfluß der Wärme ihr Volumen auffällig verändern. Telegraphendrähte z. B. erscheinen im Winter straff gespannt, während sie im Sommer schlaff hängen; beim Legen von Eisenbahnschienen, eisernen Röhrenleitungen, Kupfer- und Zinkplatten auf Dächern und ähnlichen Metallverbindungen muß ein hinreichender Spielraum für die Ausdehnung bei Temperaturzunahme gelassen werden u. s. w.

Fig. 107.

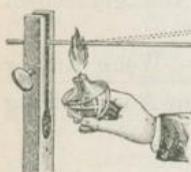


Versuch a. Wie wird sich die Metallkugel (Fig. 107) gegen den Metallring verhalten, durch welchen sie bei gewöhnlicher Temperatur eben hindurchfallen kann, wenn a. die Kugel, b. der Ring stark erhitzt wird?

Über das Verhalten des Glases bei stärkerer Erwärmung giebt folgender Versuch Aufschluß.

Versuch b. Erhitzt man eine wagrecht befestigte Glasröhre von

Fig. 108.



$\frac{1}{2}$ bis 1 m Länge und einigen mm Dicke unterwärts nahe am befestigten Ende (Fig. 108), so hebt sich das freie Ende um einige cm und sinkt nach Entfernung der Flamme wieder herab. Erklärung!

Aus den angeführten Erfahrungen und Versuchen folgt das Gesetz:
Werden feste Körper erwärmt, so dehnen sie sich aus; durch Ab-

kühlung ziehen sie sich zusammen.

b. Ausdehnung flüssiger und luftförmiger Körper.

Das Quecksilber im Thermometer steigt bei der Erwärmung, weil es sich ausdehnt; daß auch andere Flüssigkeiten als Quecksilber durch Temperaturerhöhung sich ausdehnen, läßt sich durch Versuche leicht bestätigen.

Versuch c. Ein Probiertgläschen fülle man etwa zur Hälfte mit Petroleum oder Alkohol und erwärme es in heißem Wasser (warum nicht über einer Flamme?); die Ausdehnung der Flüssigkeit ist deutlich erkennbar.

Versuch d. Eine gut verkorkte und ganz mit kaltem Wasser gefüllte Glasflasche, in welcher eine enge Glasröhre luftdicht befestigt ist, wird durch Eintauchen in heißes Wasser schnell erwärmt. Das Wasser in der Röhre sinkt zunächst ein wenig, dann steigt es. Erklärung (unter Beziehung auf Versuch b)!

Die Ausdehnung der Luft durch Erwärmung ist noch auffälliger, als die der Flüssigkeiten und zeigt sich an zahlreichen Beobachtungen. (Beispiel: Eine mit Luft gefüllte und straff zugebundene Blase.)

Versuch e. Eine Retorte oder Kochflasche wird mit ihrer Mündung in Wasser getaucht. Erwärmt man die Retorte mit einer Flamme, so entweichen zahlreiche Luftblasen durch das Wasser; kühlt man sie ab, so dringt Wasser in dieselbe ein; warum?

Versuch f. Eine nur wenig Wasser enthaltende, fest verschlossene Flasche (Fig. 109), durch deren Kork eine enge Glasröhre gesteckt ist, wird etwa durch Auflegen der Hände ein wenig erwärmt; das Wasser steigt schnell in der Röhre hinauf, wenn letztere bis in das Wasser hinabreicht. Durch Abkühlung sinkt es schnell wieder.

Mit dieser Vorrichtung lassen sich geringe Temperaturveränderungen leicht sichtbar nachweisen. Apparate, welche Temperaturveränderungen anzeigen, werden, wenn sie nicht mit einer Skala versehen sind, **Thermoskope**, d. h. Wärmeanzeiger, genannt.

Aus den Versuchen c bis f ergibt sich das Gesetz:

Flüssige oder luftförmige Körper dehnen sich aus, wenn sie erwärmt werden; sie ziehen sich zusammen, wenn sie abgekühlt werden.

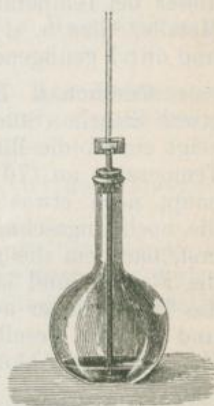
Genauere Versuche lehren:

Bei gleicher Temperaturerhöhung dehnen sich die luftförmigen Körper stärker aus als die flüssigen und diese stärker als die festen Körper.

Die Temperaturerhöhung und die Ausdehnung sind demnach zwei Hauptwirkungen der Wärme.

Übungsstoff. 1. Warum werden eiserne Reifen stark erhitzt, wenn sie um Räder gelegt werden sollen? — 2. Inwiefern ist die Raumveränderung, welche die Gesteine durch Temperaturwechsel erleiden, von Einfluß auf die Verwitterung derselben? — 3. Lampencylinder und Glasflaschen werden abgesprengt, indem man sie durch Reiben mittelst einer darumgelegten Schnur stark erhitzt und die erhitzte Stelle mit kaltem W. bespritzt. Erkl.! — 4. Dickwandige Flaschen, Gläser, Lampencylinder u. s. w. zerspringen beim Erwärmen leichter als dünnwandige; w.? (Wandstärke von Trink- und Kochflaschen!) — 5. An welcher Stelle muß die Wand eines

Fig. 109.



Lampencylinders am dünnsten sein, u. w.? — 6. Eingeschliffene Glasstöpsel lassen sich durch Erwärmen des Flaschenbalses lockern. Ausführung und Erkl.! — 7. Warum dürfen Öl-, Petroleum- und Spiritusfässer, namentlich in kühler Jahreszeit, für den Versand nicht ganz gefüllt werden? — 8. An Maßcylindern, d. h. an Glascylindern, welche mit Teilstrichen (etwa für ccm) versehen sind und zum Messen von Flgkn. dienen, ist gewöhnlich auch die Temp. angegeben, für welche die Teilung Gültigkeit hat (z. B. 12° R oder 15° C); w.? — 9. Was wird eintreten, wenn man einen Heronsball erwärmt? Grund! — 10. Ein Heronsball soll mit W. gefüllt werden, ohne daß er geöffnet wird. Wie ist dies möglich? (Füllen von Thermometer-Röhren.) — 11. Beim Verbrennen von Steinkohle entstehen Gase. Erkläre hiernach, warum brennende Kohlen bisweilen mit starkem Knalle auseinanderspringen. (Kastanien im Feuer.) — 12. Wie erklärt es sich, daß von Flaschen mit kohlensäurehaltigen Getränken häufig die Korke abspringen, wenn die Flaschen aus dem kalten Keller in einen warmen Raum gebracht werden?

§ 32. Änderung der Aggregatzustände.*) a. Schmelzen und Erstarren. Eis und Schnee verwandelt sich bei 0° in Wasser, dieses bei Temperaturen unter 0° umgekehrt wieder in Eis oder Schnee. Metalle, Glas u. s. w. lassen sich im Feuer erweichen und verflüssigen und durch genügende Abkühlung wieder in feste Körper verwandeln u. s. w.

Versuch a. In einem Becherglase schmelze man über einer Flamme etwas Stearin (Stück von einer Kerze). Sobald das Schmelzen beginnt, zeigt ein in die flüssige Masse gehaltenes Thermometer eine bestimmte Temperatur an (70° C); dieselbe bleibt so lange unverändert, als überhaupt noch etwas von dem Stearin fest ist (man beobachte auch, daß die noch ungeschmolzenen Teile am Boden liegen bleiben!) und steigt erst, nachdem die ganze Masse flüssig geworden ist. Man entfernt nun die Flamme und läßt die geschmolzene Masse abkühlen. Erst nachdem das Thermometer auf 70° gesunken ist, beginnt die Erstarrung derselben und solange dieselbe vor sich geht, bleibt die Temperatur unverändert. Eine weitere Abkühlung tritt erst ein, nachdem die ganze Masse erstarrt ist.

Dieselben Beobachtungen können leicht an anderen Körpern (z. B. Paraffin, Wachs, Schwefel, Blei) gemacht werden; es ergibt sich, daß der Übergang aus dem festen in den flüssigen und aus dem flüssigen in den festen Zustand (Schmelzen und Erstarren) immer bei ein und derselben Temperatur stattfindet.

Durch genügende Erwärmung werden feste Körper flüssig; durch Abkühlung werden flüssige Körper fest. — Für jeden schmelzbaren Körper giebt es eine bestimmte Temperatur, bei welcher er schmilzt: **Schmelzpunkt.** Bei derselben Temperatur wird der flüssige Körper wieder fest: **Erstarrungspunkt.**

Über die Änderung des Rauminhaltes, welche beim Schmelzen und Erstarren der Körper eintritt, lehren die Versuche:

Beim Schmelzen dehnen sich die meisten Körper aus; beim Erstarren ziehen sie sich zusammen.

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 118 ff.

Die beobachtete Thatsache, daß geschmolzenes Stearin über den noch ungeschmolzenen Stücken schwimmt, ist damit in Übereinstimmung; das Stearin hat sich beim Schmelzen ausgedehnt. Ebenso verhalten sich die meisten anderen Körper; das Wasser dagegen macht eine wichtige Ausnahme. Wasser dehnt sich beim Gefrieren stark aus. Dies läßt sich daraus schliessen, daß z. B. Flaschen, welche ganz mit Wasser gefüllt sind, zerspringen, wenn das Wasser gefriert, sowie daß Eis auf Wasser schwimmt (aus 10 ccm Wasser entstehen ungefähr 11 ccm Eis und umgekehrt). Eis zieht sich demnach beim Schmelzen zusammen. — Unter den Metallen verhält sich Gußeisen, Wismut und Antimon ebenso.

Schmelzpunkte einiger Körper in Graden nach C.

Quecksilber.	— 39°	Blei.	ungef. 300°	Gußeisen	1100 bis 1200°
Eis	0°	Zink	„ 400°	Stahl	1300 „ 1400°
Stearin u. Wachs ungef.	+70°	Silber u. Kupfer „	1000°	Schmiedeeisen	1500 „ 1600°
Zinn	„ 230°	Gold.	„ 1200°	Platin	ungef. 1700°

Meerwasser gefriert wegen seines Salzgehaltes erst bei ungefähr $-2,5^{\circ}$ C. Alkohol kann bis -100° erkaltet werden, ohne zu gefrieren.

Die Änderung des Aggregatzustandes ist die dritte Hauptwirkung der Wärme.

b. Verdampfen und Verdichten. I. Das Verdunsten.

Feuchte Körper trocknen an der Luft und zwar um so schneller, je wärmer und trockener dieselbe ist. Führe Erfahrungen hierüber an!

Ein einfacher Versuch lehrt, daß auch die Natur der Flüssigkeit einen Einfluß auf derartige Vorgänge ausübt.

Versuch b. Hängt man drei Streifen Löschpapier, von denen der eine mit Wasser, der andere mit Alkohol und der dritte mit Äther getränkt ist, im Zimmer frei auf, so wird der letzte Streifen am schnellsten, der erste am langsamsten trocken.

Erfahrungen und Versuche lehren:

Flüssige Körper verwandeln sich schon bei gewöhnlicher Temperatur in Dämpfe, welche in die umgebende Luft entweichen: **Verdunstung.** Dieselbe findet nur an der Oberfläche statt und erfolgt bei verschiedenen Flüssigkeiten (Äther, Alkohol, Wasser) verschieden schnell.

Die Verdunstung erfolgt um so schneller, je höher die Temperatur ist und je weniger Dämpfe die Luft enthält. Auch unter 0° kann noch eine Verdunstung stattfinden. Eis z. B. verdunstet bei trockener Luft, feuchte Wäsche wird auch bei Frostwetter trocken, wenngleich langsamer als sonst. Mit Eis und Schnee bedeckte Wege werden bei anhaltend trockenem Froste staubig.

II. Das Verdampfen (Sieden).

Versuch c. Beobachtung des Siedens von Brunnenwasser in einer offenen Kochflasche mit eingesetztem Thermometer: Aufsteigen von Luftblasen, Bildung von Dampfblasen, die zuerst an der Oberfläche wieder verschwinden (singendes Geräusch!), endlich wallende Bewegung durch die ganze Flüssigkeit, Entweichen des Dampfes und feuchter Niederschlag in der Mündung der Kochflasche. Das Thermometer bleibt während des Siedens unverändert bei 100° C stehen.

Die Verwandlung einer Flüssigkeit in Dampf wird **Sieden** genannt, wenn die Dampfbildung durch die ganze Masse der Flüssigkeit stattfindet; die Temperatur, bei welcher das Sieden eintritt, heißt **Siedepunkt**.

Um zu ermitteln, wie sich die Siedepunkte der bei Versuch a zum Verdunsten benutzten Flüssigkeiten zu einander verhalten, läßt sich in folgender Weise verfahren:

***Versuch d.** Taucht man in stark erhitztes Öl zwei ziemlich enge, aber gleichweite Probierröhrchen, von denen das eine Wasser, das andere Alkohol von gewöhnlicher Temperatur enthält, so fängt zuerst der Alkohol, darauf auch das Wasser an zu sieden. Erhitzt man ebenso Alkohol und Äther zugleich in heißem Wasser, so siedet der Äther zuerst. — Vgl. hiernach die Siedetemperaturen von Öl, Wasser, Alkohol und Äther miteinander. — Genaue Versuche lehren:

Jede Flüssigkeit siedet bei einer bestimmten Temperatur (Siedepunkt); solange diese nicht erreicht ist, findet nur eine Verdunstung statt.

Siedepunkte einiger Flüssigkeiten

in Graden nach C.

Reines Wasser . . .	+ 100°	Schwefeläther . . .	+ 35°	Leinöl	+ 315°
Meerwasser ungef.	104°	Alkohol	78°	Quecksilber	360°

III. Das Verdichten. Destillation.

***Versuch e.** Eine Kochflasche steht durch eine Glasröhre mit einem von kaltem Wasser umgebenen Gefäße (Kühlgefäße) in offener Verbindung (Fig. 110). Das Wasser in der Kochflasche wird erhitzt, bis sich unter heftigem Ausströmen von Dämpfen im Kühlgefäße Wasser ansammelt. Nach Entfernung der Flamme hört die wallende Bewegung auf und das Wasser strömt aus dem Kühlgefäße wieder in die Flasche zurück. Erklärung!

Fig. 110.



Aus den Versuchen c und e geht hervor, daß das Wasser durch Wärme sich in Dampf verwandelt, aus welchem bei genügender Abkühlung die ursprüngliche Flüssigkeit wieder entsteht.

Durch Wärme werden flüssige Körper dampfförmig; durch genügende Abkühlung werden Dämpfe wieder tropfbar flüssig.

Die Verdichtung von Dampf zu Flüssigkeit heißt **Kondensation**.¹⁾ — Wasser, das durch Verdichtung von Wasserdämpfen hergestellt worden ist, nennt man **destilliertes** Wasser.

¹⁾ condensare, verdichten. — ²⁾ destillare, herabtröpfeln.

Übungstoff. 1. Welche Metalle schmelzen a. in siedendem Leinöl, b. in schmelzendem Kupfer? — 2. Gefrorene Früchte (Kartoffeln, Äpfel u. dgl.) werden oft wieder genießbar, wenn man sie einige Zeit in recht kaltem W. liegen läßt. In demselben überziehen sie sich mit einer Eiskruste, welche allmählich wieder schmilzt. Erkläre die letzteren Erschn.! — 3. Nach dem Auftauen des Eises im Frühlinge sieht man oft auf Wegen den Erdboden von den darin liegenden Steinen ringsum abgehoben. Erkl. und Hinweis auf den Einfluß, den das in den Spalten der Gesteine gefrierende W. auf den Verwitterungsprozeß hat. — 4. Flüssiger Leim, Kleister u. dgl. überziehen sich an der Luft mit einer Haut und trocknen nach und nach ein. Erkl.! Einfluß der Temp.! — 5. Nach einem Regen trocknet Wäsche weit langsamer als sonst, am schnellsten bei trockenem Winde. Erkl.! — 6. Erkläre folgende Erschn.: a. die Entstehung von Wassertropfen unter den Deckeln der Kochtöpfe, b. das sogen. Beschlagen einer Fensterscheibe, wenn man dagegen haucht, c. die Entstehung von Fensterschweiß, d. das bekannte Beschlagen der Brillengläser. — 7. Wenn das Probiergläschen (Fig. 110) entfernt wird, so steigen die aus der Röhre tretenden Blasen anfangs ganz im W. auf; sobald das W. in der Flasche siedet, verschwinden sie schon an der Mündung der Röhre; hat sich das W. im Cylinder durch die Dämpfe bis zum Sieden erhitzt, so steigen die Blasen wieder ganz im W. auf. Erkl.! — 8. Wenn bei einer Spirituslampe der Docht nach dem Gebrauche der Lampe nicht mit einem Hütchen (aus Glas oder Blech) überdeckt wird, so bleibt er zwar feucht, er ist aber um so schwerer wieder zu entzünden, je länger die Lampe offen gestanden hat. Grund! (Spiritus besteht aus W. und Alkohol, nur letzterer ist brennbar.) — 9. Beziehung zwischen den Siedepunkten der drei bei Versuch a benutzten Flgkn. und der Schnelligkeit, mit welcher diese Flgkn. verdunsteten! — 10. Angenommen, die Flasche, Fig. 110, enthalte Spiritus; welche von beiden Flgkn. wird am schnellsten verdampfen, u. w.? — 11. Vgl. den Spiritusgehalt der aus den Dämpfen gewonnenen Flgk. a. mit dem des anfänglichen Gemisches, b. mit der rückständigen Flgk. in der Flasche. (Destillation.) — 12. Salzsole läßt man, wenn sie sehr viel W. enthält, zunächst an Dornenwänden (Gradierwerk) hinuntertröpfeln und darauf in großen Pfannen sieden; w? Ersteres ist auch im Winter (namentlich bei trockenem Froste) von Erfolg, niemals jedoch bei nassem Wetter. Erklärung!

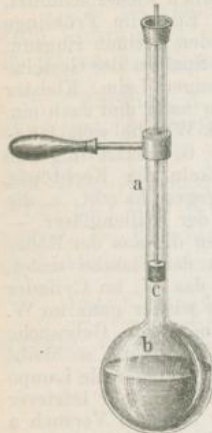
§ 33. Druck der Dämpfe. *) Nach der Erscheinung, daß das Wasser (bei Versuch e, § 32) wieder in die Flasche zurückströmte, lassen sich Dampfspannung und Luftdruck in Bezug auf ihre Größe miteinander vergleichen. Da nämlich die anfangs in der Flasche enthaltene Luft von dem ausströmenden Dampfe mit fortgerissen wurde, so konnte beim Eintreten jener Erscheinung vom Innern der Flasche aus nur noch der Dampf auf das Wasser einwirken, während von außen der Luftdruck wirkte. Solange nun das Wasser siedete, vermochten die Dämpfe offenbar den Druck der äußeren Luft zu überwinden, denn sie strömten aus und verdrängten das in der Röhre enthaltene Wasser. Als aber das Wasser zurückströmte, mußte der Druck des Dampfes durch die Abkühlung so stark abgenommen haben, daß der unveränderte Luftdruck den Gegendruck des Dampfes überwinden konnte. Die äußere Luft trieb somit das Wasser mit zunehmendem Überdruck in die Flasche zurück. Da das Sieden hierbei aufhörte, so gelangen wir zu dem weiteren Schlusse, daß die Bildung von Dampfblasen im Innern des Wassers erst dann erfolgen konnte, als die Dampfspannung groß genug war, den auf dem Wasser lastenden Druck der Luft zu überwinden.

In offenen Gefäßen siedet eine Flüssigkeit, wenn die Spannung ihrer Dämpfe dem Drucke der äußeren Luft gleich ist.

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 122.

Ätherdämpfe vermögen demnach schon bei 35°, Dämpfe von Alkohol bei 78° C einen Druck auszuüben, welcher dem Drucke der Wasserdämpfe von 100° C gleich ist.

Fig. 111.



Durch den Druck von Dämpfen und den Luftdruck läßt sich auch eine Kolbenbewegung hervorrufen:

Versuch a. Erhitzt man in einem am unteren Ende erweiterten Glascylinder (Fig. 111) oder in einer überall gleichweiten Probierröhre etwas Wasser, nachdem man vorher einen leicht beweglichen Kolben hineingeschoben hat, so steigt der Kolben durch den Überdruck der Dämpfe in die Höhe. Taucht man das Gefäß darauf in kaltes Wasser, so geht der Kolben durch den Überdruck der Luft wieder zurück.

Der Druck der Wasserdämpfe findet bei Dampfmaschinen**) eine wichtige Anwendung, indem man die Dämpfe in einem geschlossenen Cylinder auf einen luftdicht schließenden Kolben einwirken läßt, der durch seinen Hin- und Hergang eine Kurbel dreht und dadurch die Maschine in Bewegung setzt.

Was läßt sich hinsichtlich des Druckes erwarten, welchen die drei bei Versuch a, § 32, benutzten Flüssigkeiten bei gleicher, etwa bei gewöhnlicher Lufttemperatur ausüben werden?

Bestätigung durch *Versuch b. Schließt man drei Papierstreifen,

Fig. 112.



von denen der eine mit Äther, der andere mit Alkohol und der dritte mit Wasser benetzt ist, nacheinander luftdicht in eine Kochflasche ein, welche mit einem heberförmigen Manometer (Fig. 112) in offener Verbindung steht, so giebt sich durch das Aufsteigen der in letzterem enthaltenen Flüssigkeit (Qu. oder gefärbtes W.) jedesmal eine Dampfspannung zu erkennen, welche beim Äther am größten, beim Wasser am kleinsten ist. — Derartige Erscheinungen zeigen die Dämpfe aller Flüssigkeiten bei jeder Temperatur.

Dämpfe üben vermöge ihrer Ausdehnbarkeit bei jeder Temperatur einen Druck aus, dessen Größe von der Natur der zugehörigen Flüssigkeit abhängt und durch Wärme zunimmt (Dampfspannung, vgl. § 18).

Übungstoff. 1. Die Heftigkeit, mit welcher das W., Fig. 110, in die Flasche zurückströmt, nimmt mit der Stärke der Abkühlung der Flasche zu. Erkl.! — 2. Ähnliches gilt in Bezug auf Fig. 111; inwiefern? — 3. Warum ist es falsch, zu schließen, daß bei Fig. 111 unter oder über dem Kolben nicht eher ein Überdruck vorhanden sei, bis der Kolben sich bewegt? — 4. Wenn man den Kolben, nachdem die Luft ihn wieder niedergedrückt hat, mit der Hand schnell in die Höhe zieht, so

*) Ausführliches über die Dampfmaschine: II. Lehrstufe, § 123 und 124.

entsteht im W. dieselbe wallende Bewegung, durch welche sich das Sieden einer Flgk. kennzeichnet. Wie mag sich dies erklären? — 5. Wie läßt sich aus den Dampfspannungen, welche Äther, Alkohol und W. bei obigem Versuche zu erkennen gaben, die ungleiche Höhe der Siedepunkte dieser Flgkn. erklären? — 6. Was hätte bei Versuch b eintreten müssen, wenn man die Flasche ein wenig erwärmt; was hingegen, wenn man sie abgekühlt hätte, u. w.? — 7. Inwiefern übt das spec. Gew. der im Manometer (Fig. 112) enthaltenen Flgk. einen Einfluss auf die Höhe aus, bis zu welcher die Flgk. steigt? — 8. Wie stark muß man Qu. erhitzen, damit die Dämpfe desselben den Druck der Luft überwinden können? — 9. Hebe die Beziehungen hervor, welche sich nach den mit W., Alkohol und Äther angestellten Versuchen zwischen der Spannung der Dämpfe dieser Flgkn. bei gewöhnlicher Temp. und der Höhe der Siedepunkte derselben Flgkn. zu erkennen gaben.

B. Fortpflanzung der Wärme.*)

§ 34. Wärmeleitung. Ein brennendes Streichholz kann man mit bloßer Hand nahe an der Flamme halten, ohne sich zu verbrennen, desgl. einen Strohalm, ein Stück Papier u. s. w.; wenn man dagegen eine Nadel, einen Draht oder dergl. an einem Ende erhitzt und am anderen festhält, so verbrennt man sich leicht. *Der Übergang der Wärme von einem Körper zu einem anderen bei unmittelbarer Berührung, sowie das Fortschreiten der Wärme im Innern eines Körpers wird Wärmeleitung genannt.* Die erwähnten festen Körper leiten demnach die Wärme verschieden gut fort.

Genaueres über die Wärmeleitung durch verschiedene Körper lehren folgende Versuche:

***Versuch a.** Ein mit Wasser gefülltes Gefäß (Becherglas oder Blechgefäß) verschließe man mit einem Deckel, in welchem man vier ungefähr 20 cm lange und 7 bis 8 mm dicke Stäbe von Kupfer, Messing, Eisen und Holz oder Glas befestigt hat (Fig. 113). Auf dem oberen Teile der Stäbe seien in Centimeterweite mit Wachs Kügelchen von Blei angeklebt. Erhitzt man dann das Wasser bis zum Kochen, so fallen die Kügelchen von den Metallstäben bis zu den verschiedenen Höhen herab und zwar vom Kupferstabe die meisten, vom Eisenstabe die wenigsten, während sie auf dem Holzstabe alle haften bleiben.

Versuch b. Wird ein mit Wasser gefülltes Probiertgläschen (Fig. 114), auf dessen Boden ein mit Bleidraht beschwertes Stück Eis liegt, nur oben erhitzt, so fängt das Wasser hier an zu kochen, ohne daß das Eis schmilzt. Was ergibt sich aus diesem Versuch über das Wärmeleitungsvermögen des Wassers?

Fig. 113.

K M E H

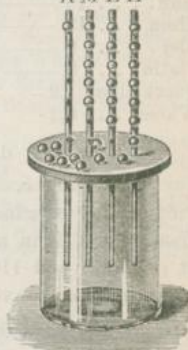


Fig. 114.



*) Vgl. II. Lehrstufe, § 125.

Das Vermögen der Körper, die Wärme durch Leitung fortzupflanzen, ist sehr verschieden. Manche Körper vermögen die Wärme leicht aufzunehmen und in ihrem Innern zu verbreiten (**gute Wärmeleiter**); bei anderen erfolgt dieser Vorgang sehr langsam (**schlechte Wärmeleiter**).

Die besten Wärmeleiter sind die Metalle, namentlich Silber und Kupfer. Hierauf folgen die Mineralien, von denen die meisten nur ein mittleres Leitungsvermögen besitzen und daher als Halbleiter bezeichnet werden. Die Flüssigkeiten sind schlechte Wärmeleiter. Das geringste Leitungsvermögen haben die luftförmigen Körper; daher leiten auch Stoffe, wie Schnee, Holz, Stroh, Wolle, Federn, Pelz, Asche u. s. w., um so schlechter, je lockerer sie sind.

Leitungsvermögen einiger Körper
in Zahlen und Linien ausgedrückt.

Silber	100
Kupfer	74
Gold	53
Messing	23
Zink	19
Zinn	15
Eisen	12
Blei	9
Platin	8
Quecksilber	1,2
Wasser	0,1

Erkläre die Erscheinungen des folgenden Versuches:

Versuch c. Läßt man durch ein Drahtnetz mit engen Maschen Leuchtgas strömen und entzündet darauf das Gas unter oder über dem Netze, so setzt sich die Flamme erst dann nach der anderen Seite fort, wenn der Draht glühend geworden ist (Fig. 115 und 116). (Statt des Leuchtgases kann man auch die brennbaren Gase benutzen, welche von dem glimmenden Dochte einer recht dicken Wachs- oder Stearinkerze aufsteigen.)

Diese Eigenschaft der Drahtnetze findet eine sehr nützliche Anwendung bei

Fig. 115.

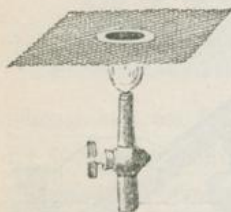


Fig. 116.

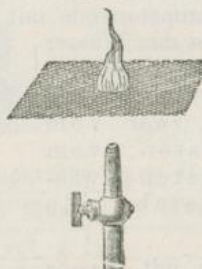


Fig. 117.



den Sicherheitslampen (Fig. 117), welche in Steinkohlengruben zum Schutze gegen sogen. schlagende Wetter dienen. Die Flamme einer Öllampe ist mit einem oben geschlossenen Cylinder aus Drahtgeflecht umgeben. Dadurch, daß das in die Lampe eingedrungene brennbare Grubengas sich entzündet, wird der Bergmann auf die ihm drohende Gefahr aufmerksam gemacht und kann ihr häufig noch rechtzeitig entrinnen. Fig. 117 stellt die ursprüngliche, von dem Engländer Davy (spr. Dewi)

erfundene Einrichtung dar, welche zur Erhöhung des Schutzes später noch wesentlich verbessert worden ist, ohne jedoch vollkommene Sicherheit zu gewähren.

Im täglichen Leben machen wir von der ungleichen Wärmeleitung der Körper die mannigfachste Anwendung. Durch Kleidungsstücke, welche die Wärme schlecht leiten, vermögen wir uns am besten gegen Kälte wie gegen die schädlichen Einflüsse eines schnellen Temperaturwechsels zu schützen. Mit Stroh und anderen schlechten Wärmeleitern bedecken oder umbüllen wir im Winter Gegenstände, um sie vor Frost zu bewahren (Strohmatte in der Gärtnerei, Umwickeln von Brunnenpfosten, Bäumen u. dgl.), wie wir andererseits schlechte Wärmeleiter auch gegen das Eindringen der Wärme anwenden (hohle Mauern der Eiskeller, mit Asche oder dergl. ausgefüllte Doppelwände feuerfester Schränke u. s. w.). Um stark erwärmte Gegenstände ohne Gefahr angreifen zu können, bedienen wir uns ebenfalls schlechter Wärmeleiter (hölzerne Griffe an manchen metallenen Küchen- und Ofengeräten u. dgl.).

Auch in der Natur ist die ungleiche Wärmeleitung sehr wichtig. Da warmblütige Tiere zur Erhaltung ihres Lebens einer gleichmäßigen inneren Temperatur bedürfen, so sind die Körper derselben durch schlechte Wärmeleiter gegen zu großen Wärmeverlust geschützt. Landsäugetiere, welche kalte Gegenden bewohnen, haben daher ein pelzartiges Haarkleid, während bei Wassersäugetieren ab der kalten Zone zu demselben Zwecke sich unter der Hautdecke Fettschichten ablagern. Der Körper der Vögel ist wegen der höheren Blutwärme und des ungünstigeren Verhältnisses, in welchem bei diesen Tieren die Oberfläche zur Masse des Körpers steht, mit dem noch schlechter leitenden Gefieder bedeckt, das um so flaumartiger wird, je kälter die Luft ist. Die Rinde der Bäume leitet die Wärme schlechter als das Holz und dieses quer zu den Fasern schlechter als in der Richtung derselben. Schutz der Knospen durch harzreiche Schuppen u. dgl., Schutz der Saaten durch Schnee.

Auf dem ungleichen Leitungsvermögen der Körper beruhen gewisse Täuschungen, denen wir ausgesetzt sind, wenn wir den Wärmegrad nach dem Gefühle beurteilen. Gute Wärmeleiter erscheinen uns nämlich wärmer als schlechte, wenn sie eine ziemlich hohe, hingegen kälter, wenn sie eine niedrige Temperatur haben, weil sie im ersteren Falle unserem Körper schneller Wärme zuführen, im letzterem Falle hingegen demselben schneller Wärme entziehen.

Übungsstoff. 1. Was wird eintreten, wenn man einen Zwirnsfaden fest um einen Schlüssel gewickelt einer Flamme aussetzt? Erkl.! — 2. Bekommt man auf steinernen oder hölzernen Fußböden leichter kalte Füße? Erkl.! (Tragen von Holzschuhen.) — 3. Erlischt eine glühende Kohle schneller auf einer Eisenplatte oder auf Asche? Grund? — 4. Wie läßt sich diese Eigenschaft der Asche zur Erhaltung der Glut in Öfen verwerten? — 5. An Hausthürgriffen friert die feuchte Hand bei starker Kälte leicht fest. Erkl.! — 6. Zerspringen Gläser leichter auf heißen Metallplatten (z. B. im Ofen) oder auf Steinplatten? (Blatt Papier als Unterlage.) Erkl.! — 7. Unter einem Strohdache ist es im Winter wärmer, im Sommer dagegen kühler als unter einem Ziegel- oder Schieferdache; w.? — 8. Wozu werden Doppelfenster und Doppelthüren angewandt? Erkläre die Wirkung derselben. — 9. Wenn man bei starkem Froste die Füße in den Stiefeln ein wenig zurückzieht, so empfindet man die Kälte nicht so sehr. Erkl.! — 10. Durch wollene Decken kann man sowohl heiße Gegenstände gegen das Erkalten, als Eis gegen das Schmelzen schützen. Erkläre diesen scheinbaren Widerspruch. — 11. Woraus erklärt es sich, daß lockere, filzige K. die Wärme viel schlechter leiten als dichte K., welche aus demselben Stoffe bestehen (z. B. Schnee und Eis, Eisenfeilspäne und Eisen, Sägespäne und Holz, Daunen und grobe Federn u. s. w.)? — 12. Eine erhitzte eiserne Kugel und ein bis zu derselben Temp. erhitztes Stück Eisenblech von gleichem Gew. werden der Kälte ausgesetzt. Was von beiden wird schneller erkalten, u. w.? — 13. Wie verhält sich bei gleicher Form der Körper die Zunahme der Oberfläche zur Zunahme der Masse? (Abzuleiten aus Würfeln von etwa 1, 2 und 3 cm Kantenlänge.) — 14. Wie erklärt es sich hieraus, daß kleine Tiere (unter gleichen äußeren Verhältnissen) einer schlecht leitenden Körperhülle im allgemeinen mehr bedürfen als

große? — 15. Führe Fälle an, in denen das Betasten von Körpern leicht zu einem falschen Urteil über die Temp. derselben führt.

§ 35. Verbreitung der Wärme durch Strömung.*)

Könnte die Wärme in flüssigen und luftförmigen Körpern sich nur durch Leitung fortpflanzen, so würde wegen des geringen Leitungsvermögens dieser Körper z. B. in Kochgefäßen das Wasser seine Temperatur oben nur wenig geändert haben, wenn es sich unten bereits bis zum Sieden erhitzt hätte; die Wärme unserer Öfen würde zwar in deren Nähe, nicht aber im ganzen Zimmer fühlbar sein. Die tägliche Erfahrung lehrt nun, daß die Wärme in solchen Fällen sich ziemlich gleichmäßig verbreitet. Es liegt daher die Vermutung nahe, daß die Wärme sich in Flüssigkeiten und Gasen noch in anderer Weise als durch Leitung fortpflanzen kann. Erfolgt die Erwärmung wie in den angeführten Beispielen von unten, so ist bei dem geringen inneren Zusammenhange solcher Körper zu erwarten, daß die erwärmten Teile, da sie sich durch Wärme ausdehnen und somit spezifisch leichter werden, in der übrigen Masse aufsteigen und kältere Teile wieder an ihre Stelle treten.

Versuch a. Wird in einer Kochflasche (Fig. 118) Wasser, welchem Sägemehl oder gepulverte Holzkohle beigemischt ist, langsam erhitzt, so ist an dem Auf- und Absteigen der festen Teilchen in der Flüssigkeit deutlich eine Strömung zu erkennen, welche von der erwärmten Stelle aus aufwärts, in der Umgebung derselben abwärts gerichtet ist.

Fig. 118.



Flüssigkeiten pflanzen die Wärme von unten nach oben ziemlich rasch durch Strömung fort.

In der Natur findet durch die Sonnenstrahlen eine Erwärmung des Wassers von oben statt. Da die Wärme sich in diesem Falle nur durch Leitung fortpflanzen kann, so erfolgt die Erwärmung von sehr tiefen stillstehenden Gewässern nach unten hin äußerst langsam. In fließenden Gewässern tritt leicht eine Mischung ein.

Fig. 119.



Versuch b. Stellt man auf eine mit Sand gefüllte und ziemlich stark erwärmte Schale von Eisenblech (Fig. 119) über die einander zugekehrten Mündungen zweier etwa 1 cm weiten Glasröhren einen Lampencylinder, so giebt sich in den Röhren wie im Cylinder sehr deutlich eine Luftströmung zu erkennen, wenn man in das äußere Ende der Röhren je ein Stückchen glimmenden Zündschwammes legt.

Andere ähnliche Erscheinungen: 1. In geheizten Zimmern ist bei direk-

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 127 ff.

tem Sonnen- oder sehr hellem Lampenlichte auf einer weissen Wand, welche mit dem (eisernen) Ofen in der Richtung der Lichtstrahlen liegt, ein unregelmässig gekräuselter Schatten wahrnehmbar, der sich beständig aufwärts bewegt. — 2. Wird eine Flamme (Fig. 120) in die Spalte einer ein wenig geöffneten und nach einem kälteren Raume führenden Thür gehalten, so ist sie unten nach innen, oben hingegen nach aussen gerichtet. (Erklärung!)

Fig. 120.



Luftförmige Körper verbreiten die Wärme fast nur durch Strömung.

Im praktischen Leben wird bei Heizvorrichtungen das Aufsteigen der erhitzten Luft dadurch befördert, dass man die Luft durch Schornsteine ziehen lässt. Dasselbe geschieht im kleinen bei unseren Lampen durch Anwendung gläserner Cylinder. Da die erhitzte Luft auf diese Weise sich nicht so schnell abkühlen kann, als wenn sie frei aufsteigt, so bewegt sie sich schneller aufwärts und vermag höher hinaufzusteigen als sonst. Der Luftzug von unten ist demnach stärker, als er sonst sein würde. Dadurch wird eine bessere Verbrennung erreicht. Dies gewährt bei Lampen die Annehmlichkeit, dass die Flammen besser leuchten, bei Heizvorrichtungen den Vorteil, dass das Brennmaterial mehr Hitze entwickelt.

Auch in der Atmosphäre werden durch Erwärmung Strömungen hervorgerufen. Indem die Sonnenstrahlen durch die Atmosphäre hindurchgehen, geben sie an die Luft nur wenig Wärme ab; sie erwärmen vielmehr den festen Boden und die Gewässer, sodass die Luft erst von hieraus ihre Wärme erhält. Die Luft ist somit in ihren Verhältnissen von der Temperatur ihrer Unterlage (Boden und Wasser) abhängig. Dies lehrt schon die tägliche Erfahrung. Während z. B. im Sommer die Luft über dem Wasser kühl ist wie das Wasser selbst, steigt die Temperatur über dem festen Lande oft bis zu kaum erträglicher Hitze. Je stärker nun ein Teil der Erdoberfläche sich erwärmt, um so mehr erlangt (nach Versuch a) die Luft das Bestreben, in der Atmosphäre aufzusteigen. Indem beim Aufsteigen von allen Seiten Luft nachströmt, entstehen Winde.

Übungsstoff. 1. Warum lässt sich W. von unten schneller erwärmen als von oben? — 2. In einer Papierdüte lässt sich W. über einer Flamme bis zum Kochen erhitzen. Erkl.! — 3. Was wird eintreten, wenn man über dem Cylinder einer brennenden Lampe Staubteilchen (Mehl, Asche oder dergl.) verschüttet? — 4. Warum muss der in manchen Kochherden angebrachte Wasserkessel stets so weit mit W. gefüllt sein, als die Flamme hinaufreicht? — 5. Die Wände von Dampfkesseln verbrennen leicht, wenn sich viel Kesselstein in denselben abgelagert hat; w.? — 6. Erkläre das Anbrennen von Speisen. — 7. Welche Erscheinung zeigt eine Papierspirale (Fig. 121) auf einem geheizten Ofen? Erkl.! — 8. Einfluss eines Lampencylinders a. auf Temp. und Geschw. der von der Flamme aufsteigenden Gase, b. auf die Geschw. der zuströmenden Luft? Erkl.! — 9. Beurteile hiernach die Wirkung der Schornsteine. — 10. Welchen Einfluss muss die Höhe der Schornsteine auf Temp. und Rauminhalt der darin aufsteigenden Gase ausüben? — 11. Welche Form müssen demnach hohe Schornsteine haben, damit von oben keine kalte Luft eindringen kann? — 12. Welchen Einfluss würde es auf Temp. und Rauminhalt jener Gase ausüben, wenn sich die Wärme derselben der Wand des Schornsteines schnell mittheilt? — 13. Welche Beziehung muss hiernach zwischen der Weite eines Schornsteines und dem Leitungsvermögen des betr. Baumaterials (Eisen oder Stahl) bestehen? (Blechrohr auf einem steinernen Schornsteine.) — 14. Wie ist es zu er-

Fig. 121.



einem

g. *)

durch

gens

oben

eden

nicht

nun,

eitet.

sig-

fort-

zielen

licher

ärme

lasse

chem

ischt

Ab-

gkeit

elche

der

nten

fort.

ahlen

a die

fort-

sehr

ferst

eine

mit

rmte

die

etwa

ylin-

Cy-

zu

Ende

nden

un-

trek-

klären, daß Schornsteine am besten ziehen, wenn das Feuer schon eine Zeitlang gebrannt hat? — 15. Warum werden in Zimmern die Öffnungen zum Eintritte frischer Luft unten, die Abzugsröhren dagegen oben angebracht? — 16. Warum lassen sich Wohnzimmer im Winter schneller lüften als im Sommer? — 17. Welche Luftbewegung würde eintreten müssen, wenn man die Luft im Cylinder (Fig. 119) von unten ebenso stark abkühlen könnte?

C. Die atmosphärischen Niederschläge.*)

§ 36. Da Wasser bei jeder Temperatur verdunstet, so muß die Atmosphäre stets Wasserdämpfe enthalten. Dies gilt nicht nur von der Luft über dem Meere, den Flüssen u. s. w. sondern auch von der Luft über dem festen Lande, da letzteres ebenfalls Feuchtigkeit enthält und durch Winde ein beständiger Austausch der Luft unterhalten wird. Zum Nachweise der Wasserdämpfe bietet die Abkühlung (nach § 32) ein geeignetes Mittel, da die Dämpfe sich hierdurch in den flüssigen und festen Zustand überführen, also in sichtbare Körper verwandeln lassen.

Versuch. Füllt man ein Glas- oder Blechgefäß mit einer Kältemischung**) (Schnee und Kochsalz), so wird es außen zunächst feucht und überzieht sich schließlich mit einer weißen, aus feinen Eisnadeln bestehenden Kruste. Erklärung!

Erkläre auch folgende bekannte Erscheinungen: Das sogen. „Beschlagen“ und „Gefrieren“ der Fensterscheiben; das Anlaufen der Brillengläser, wenn der Brillenträger im Winter aus dem Freien in ein warmes Zimmer kommt; das Beschlagen eines mit kaltem Wasser gefüllten Glases im warmen Zimmer; das Anlaufen blanker metallener Gegenstände, wenn sie aus einem kalten Raume in einen wärmeren gebracht werden.

Wir gelangen hierdurch zu dem Schlusse, daß die atmosphärischen Niederschläge (Tau, Reif, Nebel, Wolken, Regen, Schnee u. s. w.) durch Abkühlung der in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdämpfe entstehen. Welche Vorgänge im einzelnen dabei stattfinden, ergibt sich hauptsächlich durch genaue Beobachtungen in der Atmosphäre selbst.

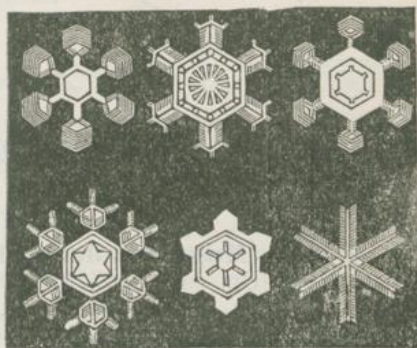
1. Tau und Reif. In heiteren Nächten kühlt sich der Boden mit den darauf befindlichen Gegenständen oft stark ab. Nach solchen Nächten sind die Gegenstände im Sommer gewöhnlich mit zahlreichen Wassertropfen (*Tau*), im Frühling und Herbst mit feinen Eisnadeln (*Reif*) bedeckt. Tau und Reif entstehen dadurch, daß die in der Luft enthaltenen Wasserdämpfe sich auf den erkalteten Gegenständen verdichten, und zwar entsteht *Tau*, wenn die Abkühlung den Gefrierpunkt nicht erreicht, *Reif* hingegen, wenn die Temperatur bis 0° und tiefer sinkt.

2. Nebel und Wolken. Findet in der Luft selbst eine genügende Abkühlung statt, so bilden sich aus dem Wasserdampfe unzählige sehr kleine Wasserkügelchen, welche wegen ihrer Leichtigkeit äußerst langsam niedersinken oder von der Luft getragen werden. In der Nähe der Erdoberfläche erscheinen sie als *Nebel*, in den höheren Luftschichten als *Wolken*.

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 130. — **) § 119.

3. Regen, Schnee, Graupeln, Hagel. Wenn die Kügelchen oder Bläschen, aus denen die Wolken bestehen, sich zu größeren Tropfen vereinigen, so fallen sie aus der Luft herab: es entsteht *Regen*. —

Fig. 122.



Kühlen sich Wolken bei Windstille bis unter 0° ab, so entstehen sechsstrahlige Eiskrystralle von den verschiedensten Formen (Fig. 122), welche als *Schnee* niederfallen. — Bei raschem Temperaturwechsel im Frühling oder Herbst bilden sich aus den in der Luft schwebenden Eiskristallen bei starker Luftbewegung leicht kleine Schneebälle: *Graupeln*. — Größere Eiskörner, deren Herabfallen aus der Luft meist während eines Gewitters stattfindet, bezeichnet man als *Hagel*. Hagelkörner sind gewöhnlich aus verschiedenen Schichten Eis zusammengesetzt, welche einen graupelartigen Kern umschließen.

Die meisten Wasserdämpfe, welche die Luft enthält, und die als Regen, Schnee u. s. w. niederfallen, entstammen dem Meere. Auf demselben findet, namentlich in den heißen Erdstrichen, fortwährend eine starke Verdunstung statt, sodass die Luft jener Gegenden stets reich mit Wasserdämpfen angefüllt ist. Diese können, soweit sie sich nicht über dem Orte ihrer Entstehung schon wieder zu Wolken verdichten, durch Winde weit entfernten Ländern zugeführt werden. Indem das Wasser der atmosphärischen Niederschläge in den Boden eindringt, wird dieser fruchtbar. Das in den Bächen, Flüssen u. s. w. sich ansammelnde Wasser fließt vermöge der Schwere wieder ins Meer zurück. (Kreislauf des Wassers.)

Übungsstoff. 1. Wie ein Ofenschirm die Ofenwärme zurückhält, so halten Wolken und über dem Boden befindliche Gegenstände die Bodenwärme zurück. Erkläre hiernach, dass sich nach taureichen Nächten unter Tischen, Bänken u. s. w. im Freien kein Tau findet, während diese Gegenstände selbst mit Tau bedeckt sind. — 2. Wenn Tau durch eine starke Abkühlung der Gegenstände entsteht, wie ist dann die Thatsache zu erklären, dass z. B. Wiesen bei gleichfreier Lage stets bedeutend stärker betaut sind als Kieswege? — 3. Welchen Grund mag es haben, dass die dünnen Zweige der Bäume stets stärker bereift sind als die dicken? — 4. Ferner dass Thürschlösser, sowie die Köpfe eiserner Nägel in den Wänden stets stärker bereift sind als die Türen und Wände selbst. — 5. Wann ist unser Atem sichtbar und wann nicht? Erkl.! — 6. Der aus dem Schornstein einer Lokomotive aufsteigende Dampf (nicht mit dem Rauch zu verwechseln!) verdichtet sich erst in einem Abstände vom Schornsteine zu Nebel; w? — 7. Die Wolkenfahne einer Lokomotive ist im Winter bedeutend länger als an heißen trockenen Sommertagen. Erkläre dies. — 8. Nach langer Dürre verschwinden häufig die heranziehenden Wolken wieder. Erkl.! — 9. Wenn warme, feuchte Winde nach kälteren Ländern hin wehen, so können leicht Wolken entstehen; weht dagegen ein kalter, feuchter Wind in ein wärmeres Land, über welchem die Luft trocken ist, so können sich nur dann Wolken bilden, wenn der Wind zu größeren Höhen aufsteigt. Grund! — 10. Was wird eintreten, wenn ein kalter Wind in ein Land weht, über welchem die Luft sehr schwül ist, d. h. bei einer hohen Temp. sehr viel Wasserdämpfe enthält? — 11. Wenn nach starkem Froste Tauwetter eintritt, so sehen Mauern wie bereift aus. Erkl.! — 12. Fällt dabei ein feiner Regen, so entsteht Glatteis, wäh-

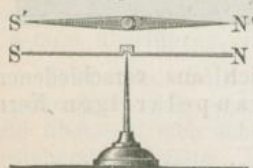
rend bei starkem Regen diese Ersch. nicht eintritt. Erkl.! — 13. Wie ist es zu erklären, daß wässerige Niederschläge an Doppelfestern weniger vorkommen als an einfachen, und in bewohnten Zimmern mehr als in unbewohnten?

VI. Abschnitt.

Vom Magnetismus.

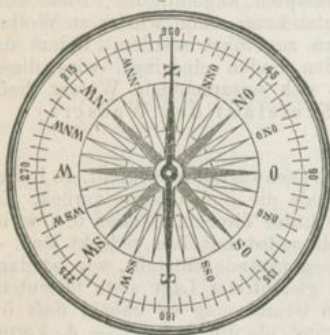
§ 37. Magnetnadel. Magnetische Grunderscheinungen.*)

Fig. 123.



Um zu jeder Zeit die Himmelsgegenden schnell und sicher bestimmen zu können, bedient man sich des bekannten, als Kompaß bezeichneten Instrumentes, das in seiner einfachsten Einrichtung aus einer kleinen messingenen Kapsel besteht, in welcher eine Magnetnadel leicht drehbar aufgehängt ist (Fig. 123). Letztere ist ein dünnes Stahlstäbchen, das auf einer senkrecht stehenden Spitze ruht und die Eigenschaft besitzt, in seiner Ruhelage mit dem einen Ende nach Norden und mit dem anderen Ende nach Süden zu zeigen.

Fig. 124.



Zur Verminderung der Reibung pflegt in der Mitte der Magnetnadel ein Achathütchen angebracht zu sein, in welches die Spitze eingreift. Auf dem Boden der Kapsel befindet sich gewöhnlich eine sternförmige Zeichnung, welche die Himmelsgegenden angiebt und Windrose genannt wird (Fig. 124).

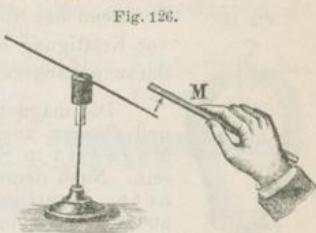
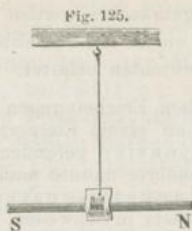
Der von Schiffen zur Orientierung auf der See gebrauchte Kompaß besteht aus einem ziemlich großen kesselförmigen Gehäuse aus Kupferblech, in welchem ein Magnetstab so unterstützt ist, daß er bei jeder Stellung des Schiffes in wagerechter Lage bleibt. Die Windrose ist bei demselben zur genauen Bestimmung

der Himmelsgegenden von einem in Grade getheilten Kreise umgeben und mit der Magnetnadel fest verbunden.

Versuch a. Wird eine Magnetnadel aus ihrer Richtung gebracht und dann sich selbst überlassen, so kehrt sie stets wieder in die ursprüngliche Lage zurück, vorausgesetzt, daß kein Eisen oder Stahl sich in ihrer Nähe befindet. — Bei Annäherung von Eisen oder Stahl wendet sich die Nadel mit ihrer Spitze um so mehr nach dem Metalle hin, je mehr es der Nadel genähert wird. Nach gegenseitiger Berührung haften beide aneinander. Umgekehrt wendet sich auch eine leicht bewegbare eiserne Nadel (Fig. 126, folg. Seite) nach der genäherten

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 131.

Magnetnadel, wie nach jedem Stahlstabe hin, welcher bei freier Aufhängung (Fig. 125) die Eigenschaft der Magnetnadel zeigt. Diese Erscheinung tritt auch dann noch ein, wenn ein Blatt Papier, ein dünnes Brett, eine Glasscheibe oder dergl., überhaupt ein nicht aus Eisen oder Stahl bestehender Körper eingeschaltet wird.



Ein Körper, welcher die Eigenschaft besitzt, Eisen anzuziehen und festzuhalten, wird **Magnet** genannt. Das, was dem Eisen diese Kraft der Anziehung (magnetische Kraft) verleiht, bezeichnet man als **Magnetismus**.

Ein frei beweglicher Magnet nimmt in seiner Ruhelage stets eine bestimmte Richtung an (von N nach S).

Ein Magnet und Eisen ziehen sich gegenseitig an und zwar um so stärker, je mehr sie einander genähert werden.

Versuch b. Bestreut man einen Magnet ganz mit Eisenfeilspänen, so giebt sich deutlich zu erkennen, daß die Anziehung an den beiden

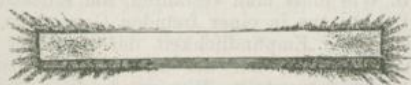


Fig. 127.

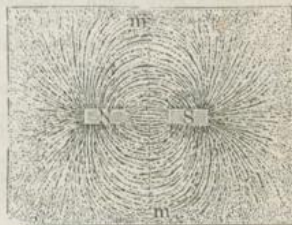


Fig. 128.

Enden des Magnets am stärksten ist und nach der Mitte hin allmählich abnimmt (Fig. 127). Wenn man den Magnetpol unter ein mit feinen Eisenfeilspänen bestreutes Blatt Papier hält und dieses wiederholt leise erschüttert, so ordnen sich die Feilspäne in krummen Linien, welche eine magnetische Figur bilden (magnetische Kurven oder magnetische Kraftlinien, Fig. 128). Derartige Versuche lehren:

Die Stärke der Anziehung ist bei jedem Magnet an verschiedenen Stellen seiner Oberfläche verschieden.

Die Stellen stärkster Anziehung eines Magnets heißen **Pole** (Nordpol und Südpol). Die Stelle, an welcher ein Magnet keine Anziehung äußert, wird **Indifferenzstelle** genannt. Der Raum um einen Magnetpol, innerhalb dessen sich eine magnetische Wirkung zu erkennen giebt, heißt **magnetisches Feld**.

Lange stabförmige Magnete äußern bisweilen in mehreren Punkten eine stärkere Anziehung. Gewöhnlich sind jedoch nur 2 derartige Punkte vorhanden, welche nahe an den Enden des Magnets liegen. Mitten zwischen denselben ist gar keine Wirkung wahrnehmbar. Magneten, welche nicht wie die Magnetnadel wegen ihrer

es zu
en als

hei-
sicher
s be-
entes,
einer
elcher
gt ist
ochen,
ruht
helage
nach
erung
Mag-
ht zu
Auf
h ge-
nung,
und
)

uf der
einem
e aus
so un-
g des
Wind-
mung
it der

bracht
e ur-
Stahl
Stahl
Me-
er Be-
leicht
rten

Richtkraft, sondern wegen ihrer Anziehungskraft benutzt werden, pflegt man, damit beide Pole zugleich auf das Eisen einwirken können, Hufeisenform zu geben (Fig. 129).

Fig. 129.



Während des Nichtgebrauches werden solche Magnete aufgehängt und zur Kräftigung mit einem Anker (Stäbchen aus weichem Eisen) und daran gehängten Gewichten belastet.

Die magnetischen Erscheinungen sollen von den alten *Griechen* und *Römern* zuerst an einem Eisenerze, das in der Nähe der Stadt Magnesia in Kleinasien gefunden wurde, wahrgenommen worden sein. Nach dem Fundorte nannte man diese schwarzen Steine Magnete. Derartige Magneteisensteine finden sich noch an vielen anderen Orten, besonders in Schweden, Lappland und Spanien. Sie erlangen ihre magnetische Eigenschaft meist erst nach längerem Liegen an der Luft. Da auch in metallischem Eisen und Stahl Magnetismus hervorgerufen werden kann, so unterscheidet man natürliche und künstliche Magnete.

Schon vor mehreren tausend Jahren sollen die *Chinesen* auf Land- und See-reisen sich der Magnetnadel bedient haben. In Europa scheint dieselbe erst im 14. Jahrhundert bei der Schifffahrt eine allgemeine Anwendung gefunden zu haben. Von anderen magnetischen Erscheinungen war im Altertum und im Mittelalter nichts bekannt; erst die Entdeckungen des englischen Arztes Gilbert (1600) gaben die Anregung zu weiteren Untersuchungen.

Übungsstoff. 1. Welchen Vorteil bietet es, die Himmelsgegenden mit dem Kompass statt nach dem Stande der Sonne zu bestimmen? — 2. Die beiden Hälften der M.-Nadeln sind gewöhnlich äußerlich verschieden (z. B. die Nordhälfte blau, die Südhälfte stahlgrau); warum wohl? — 3. Mit welchem Vorteil wendet man statt der Messinghütchen bei M.-Nadeln Achathütchen an? (Achat ist ein Stein, welcher bedeutend härter ist als Messing.) — 4. Warum darf das Gehäuse eines Kompasses kein Eisen enthalten? — 5. Wie muß man verfahren, um mittelst Karte und Kompass sich von einem hohen Punkte aus in einer fremden Gegend zu orientieren? — 6. Welche Vorsicht ist wegen der Empfindlichkeit der M.-Nadel gegen Eisen hierbei anzuwenden? — 7. Angenommen, auf der Schale einer gemeinen Krämerwage läge Eisen und es wäre Glgew. hergestellt. Was würde dann eintreten, wenn man einen kräftigen M. unter die Schale hielte? — 8. Wie läßt sich mittelst eines M. ein Gemisch von kleinen Eisen- und Messingstiften oder dergl. sortieren? — 9. Wie läßt sich untersuchen, welcher von 2 Magneten der stärkere ist? — 10. Welchen Vorteil gewährt die Hufeisenform eines M.? — 11. Aus welchem Versuche geht hervor, daß die Wirkung der magn. Kr. eine Gegenwirkung erzeugt?

§ 38. Wechselwirkung zweier Magnete. Magnetische Verteilung. a. Wechselwirkung zweier Magnete. Die beiden Pole eines Magnets lassen in ihrem Verhalten gegen unmagnetisches Eisen keinen Unterschied erkennen, dagegen deutet das Verhalten der frei beweglichen Magnetnadel auf eine Verschiedenheit der in den Polen wirkenden Kräfte hin. Dies tritt deutlich hervor, wenn man zwei Magnete aufeinander einwirken läßt.

Versuch a. Werden zwei Magnetstäbe, von denen einer leicht bewegbar ist, oder zwei Magnetnadeln einmal mit ihren gleichnamigen, einandermal mit ihren ungleichnamigen Polen einander genähert, so ergibt sich das Gesetz der magnetischen Polarität:

Gleichnamige Magnetpole stoßen einander ab, ungleichnamige ziehen einander an.

Die Abstufung gleichnamiger Magnetpole bietet das beste Mittel zur Untersuchung, ob ein Körper magnetisch ist, sowie zur Bestimmung der Pole eines Magnets. In dieser Weise gebraucht, bildet die Magnetnadel ein **Magnetoskop**, d. h. einen Anzeiger magnetischer Kraft.

Versuch b. Hängt man an einen Magnetpol ein Eisenstück, das er eben zu tragen vermag, so fällt es wieder ab, wenn man diesem Pole den ungleichnamigen Pol eines anderen ebenso starken Magnets genügend nähert (Fig. 130); es wird dagegen stärker angezogen, wenn man den gleichnamigen Pol nähert.

Fig. 130.



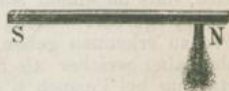
Die magnetische Wirkung wird durch den gleichnamigen Pol verstärkt, durch den ungleichnamigen dagegen geschwächt.

Zur Erklärung dieser Gegensätze der Magnetpole nimmt man an, daß in jedem Magnet zwei verschiedene magnetische Kräfte wirken. Man unterscheidet dieselben als **Nord- und Südmagnetismus**.

b. Magnetische Verteilung. Da auf unmagnetischem Eisen jeder einzelne Pol eine Anziehung ausübt, die entgegengesetzten Pole aber sich in ihrer Wirkung aufheben (Fig. 130), so läßt sich vermuten, daß im Zustande des Eisens unter der Einwirkung eines Magnets eine Änderung hervorgerufen wird, von welcher die Anziehung desselben abhängt.

Versuch c. Wird ein kurzes Stäbchen von gewöhnlichem Eisen oder Stahl mit einem kräftigen Magnetpole in Berührung ge-

Fig. 131.



bracht (Fig. 131.), so vermag es wie ein Magnet Eisenfeilspäne festzuhalten; dieselben fallen bei Entfernung des Magnets aber meistens wieder ab. Untersucht man darauf das Stäbchen mittelst einer Magnetnadel auf seine Polarität, so erweist sich das Ende, welches vom Magnetpole abgewandt war, als gleichnamig, das ihm zugewandte Ende als ungleichnamig magnetisch. — Bei einem Stäbchen aus weichem (wiederholt ausgeglühtem) Eisen dauert der magn. Zustand nur solange an, als das Eisen unter der Einwirkung des Magnetpols steht, die Magnetisierung aber ist eine stärkere und erfolgt selbst bei größeren Stäben schon in einiger Entfernung vom Magnetpole. (Nachweis mittelst der Magnetnadel.)

Eisen wird durch die bloße Annäherung eines Magnetpols selbst magnetisch, und zwar erhält das abgewandte Ende den gleichnamigen, das zugewandte den ungleichnamigen Pol: **Magnetische Verteilung**.

Aus den Versuchen über magn. Verteilung kann man schließen, daß die Anziehung zwischen einem Magnet und Eisen oder Stahl auf der Wechselwirkung zweier ungleichnamigen Magnetpole beruht. Der Magnet ruft zuerst durch Verteilung in den ihm zunächst gelegenen Ende des Eisenstückes den entgegengesetzten Magnetismus hervor und zieht es dann an.

Der Anziehung geht also immer eine magnetische Verteilung voraus.

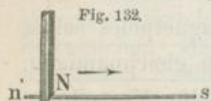
Weiches Eisen und *hartes Eisen oder Stahl* unterscheiden sich in ihrem magnetischen Verhalten insofern, als ersteres durch Verteilung leicht magnetisch wird und ebenso leicht seine magnetische Kraft wieder verliert, letzteres hingegen schwer magnetisch wird, aber lange Zeit magnetisch bleibt.

Die magnetische Verteilung ist nicht als eine Mitteilung von Magnetismus aufzufassen. Während bei der Erwärmung eines Körpers durch einen anderen der wärmere Körper einen Teil seiner Wärme an den kälteren Körper abgibt und dadurch kälter wird, verliert ein Magnet genauen Untersuchungen zufolge von seiner magn. Kraft nichts, indem er Eisen oder Stahl magnetisch macht. Zur Erklärung dieser Erscheinung nimmt man an, Eisen und Stahl enthalte von Natur beide Magnetismen, und zwar so, daß sie sich in ihren Wirkungen gegenseitig aufheben. Der Einfluss eines Magnets besteht hiernach darin, beide Magnetismen nach außen hin wirksam zu machen.*)

Übungsstoff. 1. Wie läßt sich untersuchen, ob ein Stahlstäbchen (etwa eine Stricknadel) magn. ist, a. mit Hilfe von Eisenfeilspänen, b. mit einer Magnetnadel, c. ohne Zuhilfenahme von Eisen oder Stahl? — 2. Welches Verfahren (a oder b) ist das empfindlichere, u. w.? — 3. Zu welchem falschen Schlusse kann das erstere Verfahren leicht führen, wenn nur sehr wenige oder gar keine Feilspäne am Stabe hängen bleiben? — 4. Wie kann man in solchen Fällen prüfen, ob man falsch geschlossen hat? — 5. Warum läßt sich aus der bloßen Anziehung einer Magnetnadel nicht schliessen, daß ein K. magn. ist? — 6. Zu sehr empfindlichen Versuchen werden Gegenstände, welche äußerst leicht drehbar sein müssen, an einem ungedrehten Seidenfaden (Coconfaden) aufgehängt; w.? — 7. Wie lassen sich die Pole eines Magnets bestimmen? — 8. Die Lage der Indifferenzstelle eines Magnetstabes soll mit Hilfe einer Magnetnadel in der Weise bestimmt werden, daß man den Stab in senkrechter Richtung vom äußersten Ende an langsam etwa vor dem Nordpole der Nadel auf- oder abbewegt. Welche Erschn. werden dabei eintreten, und woran ist die Indifferenzstelle zu erkennen? — 9. Welchen Einfluss wird die Größe des Abstandes zwischen Nadel und Stab auf die Erschn. ausüben? — 10. Wie erklärt es sich, daß an einem Magnete mehrere Eisenstäbchen nach Art von Kettengliedern aneinandergereiht werden können? — 11. Wodurch wird es sich bei diesem Verfahren zu erkennen geben, daß gewöhnlicher Eisendraht härter ist als ausgeglüheter Draht, aber weicher als Stahl? — 12. Warum kann nach dem Gesetz der magn. Verteilung bei Versuch b die Wirkung der beiden gleichnamigen Pole nicht doppelt so groß sein als die eines einzelnen Poles?

§ 39. Herstellung künstlicher Magnete. Tragkraft und verschiedene Formen der Magnete.

Um durch magnetische Verteilung ziemlich starke künstliche Magnete von dauernder Wirkung zu erhalten, ist das im vorigen Paragraphen (Versuch c) angeführte Verfahren nicht ausreichend. Eine weit kräftigere Wirkung erhält man, wenn man den zu magnetisierenden Stab mit einem Magnetpole wiederholt streicht. Dies geschieht am einfachsten in der Weise, daß man den Magnetpol an einem Ende des Stabes aufsetzt und ihn dann mehrmals über den ganzen Stab hinwegzieht (Fig. 132).



Zur Magnetisierung von Magnetnadeln und anderen magnetischen Instrumenten werden die Methoden des einfachen und des Doppelstriches angewandt.

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 133.

Beim einfachen Striche (Fig. 133) fährt man mit zwei gleichstarken, ungleichnamigen Magnetpolen von der Mitte des Stahlstabes aus nach entgegengesetzten Seiten über dessen Enden hinweg und wiederholt dies, jedesmal im Bogen durch die Luft zurückkehrend, 20—30 mal. Man kann auch umgekehrt den Stab von seiner Mitte aus wiederholt über einen Magnetpol hinwegziehen. Die dadurch entstehenden Pole sind denen, mit welchen man sie gestrichen hat, entgegengesetzt. — Beim Doppelstriche (Fig. 134) setzt man zwei ungleichnamige Pole zweier Magnete gleichzeitig in der Mitte des Stabes auf, trennt sie durch ein Stück Holz voneinander und fährt mit beiden ohne abzuheben von einem Ende zum anderen wiederholt hin und her. Das Abheben geschieht in der Mitte.

Fig. 133.



Fig. 134.



Die Erfahrung lehrt, daß auch durch bloße Erschütterung, wenn diese sich oft wiederholt, Stahlstäbe magnetisch werden. Durch Hämmern, Feilen, Bohren u. s. w. werden stählerne Werkzeuge magnetisch. Senkrecht stehende Eisenstäbe (eiserne Träger u. dgl.) werden schon durch den Einfluß der Erde magnetisch.

Die Stärke des im Stahl durch Streichen erregten Magnetismus kann selbst bei Anwendung der kräftigsten Magnete nicht beliebig gesteigert werden. Ist die äußerste Grenze erreicht, so sagt man, der Stab sei mit Magnetismus gesättigt. Dadurch, daß man einen Magnet dauernd auf einen Anker einwirken läßt und diesen durch Gewichte immer mehr belastet, wird die Tragkraft des Magnets allmählich erhöht. Plötzliches Abreißen des Ankers, sowie überhaupt Erschütterung (Hämmern) des Magnets, hat eine Schwächung der Tragkraft zur Folge. Der Magnetismus eines Magnets verschwindet gänzlich, wenn der Magnet bis zum Glühen erhitzt wird.

Da dünne Stahlstäbe sich im Verhältnis zu ihrem Gewichte stärker magnetisieren lassen als dicke, so setzt man, um möglichst kräftige Magnete zu erhalten, mehrere dünne Magnete zu einem einzigen Magnet zusammen, indem man die gleichnamigen Pole aufeinander legt (Magnetisches Magazin, Fig. 135).

Bei einem magnetischen Magazin läßt man die Pole des mittleren Magnets zum Anlegen des Ankers etwas vortreten und die übrigen treppenförmig zurücktreten. Die magnetische Kraft desselben kann mit der Zahl der Magnete nicht in gleichem Verhältnis wachsen, da die Pole des einzelnen Magnets in den benachbarten Polen durch Verteilung ungleichnamigen Magnetismus erregen. Als Maß für die Stärke der magnetischen Kraft kann das kleinste Gewicht angesehen werden, bei welchem der Anker abreißt.

Natürliche Magnete werden dadurch in zweckmäßigster Weise wirksam gemacht, daß man zwei Stäbe von weichem Eisen an denselben befestigt, deren Enden zum Anlegen eines Ankers ein wenig vortreten (Fig. 136, folg. Seite).

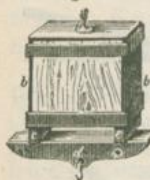
Fig. 135.



6*

Übungsstoff. 1. Man will mittelst eines M. a. aus kleinen Eisenringen, b. aus Stahlringen eine Kette herstellen. Wie ist dies auszuführen? Erkl. —

Fig. 136.



2. Was würde eintreten, wenn man die Glieder der Kette bis zum Glühen erhitzte? — 3. Wie kann man mit einem M. untersuchen, ob eine Stricknadel, eine Messerklinge oder dergl. aus Stahl oder weichem Eisen besteht? — 4. Wie lassen sich an einem nach Fig. 132 magnetisierten Stabe mit Hilfe von Eisenfeilspänen oder mit einer Magnetnadel (nach Anleitung der Frage 8 des Übungsstoffes, § 38) die Punkte stärkster Anziehung, sowie die Indifferenzpunkte entdecken? — 5. Wie muß man eine Nadel mit einem M. streichen, damit die Spitze a. zum Nordpole, b. zum Südpole wird? — 6. Was ist nach Fig. 133 hinsichtlich der Bildung von Magnetpolen zu erwarten, wenn etwa eine Stricknadel von den Enden nach der Mitte hin mit einem M. gestrichen würde (umgekehrt wie in der Figur angegeben ist)? — 7. Zur Magnetisierung eines Eisenstabes will man 2 Magnete zugleich anwenden. Wie läßt sich dies ausführen? — 8. Warum muß man bei dem durch Fig. 133 veranschaulichten Verfahren mit den Magneten im Bogen nach der Mitte zurückkehren? — 9. Durch das Anlegen eines Ankers von weichem Eisen wirkt bei einem Hufeisenmagnet der eine Pol auf den anderen ein. Erkläre dies und führe an, warum sich dasselbe nicht durch stählerne Anker ebenso gut erreichen läßt.

VII. Abschnitt.

Von der Elektrizität.

(Reibungs-Elektrizität.)

§ 40. Elektrische Grundversuche. Elektroskope.

Schon im Altertum beobachtete man am Bernstein, daß er, nachdem er gerieben worden, leichte Körperchen anzieht. Diese Eigenschaft erlangen außer dem Bernstein noch viele andere Körper, z. B. Diamant, Glas, Harz, Schwefel u. s. w.; dieselben wurden von Gilbert, der (um 1600) ihr merkwürdiges Verhalten entdeckte, *elektrische Körper* genannt. Die *Kraft*, welche als Ursache der von den Körpern ausgeübten Anziehung zu betrachten ist, nennt man seit jener Zeit **Elektrizität**.¹⁾ Allmählich hat man erkannt, daß dieselbe eine der gewaltigsten Naturkräfte und vor allem auch die Ursache der Gewittererscheinungen ist.

***Grundversuche.** Ein Stab von Hartgummi oder Siegellack wird mit einem wollenen Lappen, ein Glasstab mit Seidenzeug oder Leder, das man mit Amalgam (einer Verbindung von Quecksilber, Zinn und Zink) bestrichen hat, gerieben. Es zeigen sich folgende Erscheinungen:

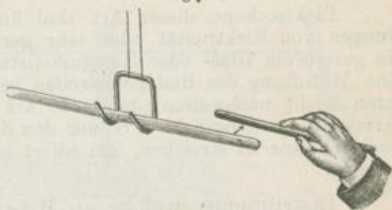
1. Der geriebene Stab zieht leichte Körperchen an (Papierschnitzel, Kügelchen von Sonnenblumenmark, Korkfeilspäne u. dgl.).

2. Die angezogenen Körper werden vom Stab nach kurzer Berührung wieder abgestoßen, sodaß sie zwischen diesem und der Tischplatte hin- und herfliegen.

¹⁾ ἤλεκτρον (elektron), Bernstein.

3. Annäherung eines Fingers an den geriebenen Stab bringt ein Knistern hervor; man bemerkt einen eigentümlichen Geruch und sieht im Dunkeln kleine Funken überspringen.

Fig. 137.



4. Wird der geriebene Stab horizontal so aufgehängt, daß er sich leicht drehen kann (Fig. 137), und nähert man ihm sodann die Hand oder einen anderen Körper, so dreht er sich nach diesem hin. **Die Anziehung zwischen dem elektrischen und dem unelektrischen Körper ist somit eine gegenseitige.**

Die in den geriebenen Körpern hervorgerufene Kraft, welche sich durch gegenseitige Anziehung zwischen diesen und den unelektrischen Körpern, durch Knistern, Funkengeben u. s. w. äußert, nennt man **Elektricität**.

Elektroskope.

Um E. bequem und sicher nachweisen zu können, bedient man sich gewöhnlich besonderer Instrumente, welche **Elektroskope** genannt werden. Dieselben bilden in ihrer einfachsten Einrichtung entweder ein leichtes **Fadenpendel** (Kügelchen von Sonnenblumen oder Holundermark an seidenen Fäden, Fig. 138) oder ein stabförmiges **Horizontalpendel** (ein Strohalm oder ein Hartgummistäbchen, auf einer scharfen Spitze drehbar, Fig. 139). Bei Annäherung eines

Fig. 138.

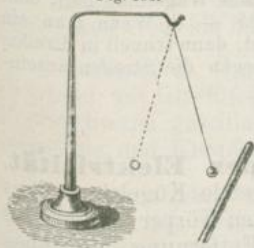


Fig. 139.

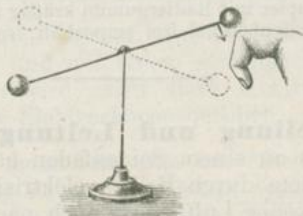


Fig. 140.



el. Körpers erfolgt eine Anziehung und nach der Berührung eine Abstosung des Kügelchens oder, bei dem Elektroskope der zweiten Art, eine Drehung des Stäbchens. — Statt des einfachen Pendels wird auch das **el. Doppelpendel** angewandt, das aus 2 kurzen dünnen Leinenfäden mit Pflanzenmarkkügelchen (Fig. 140) oder 2 Stückchen von einem Strohalm oder dergl., oder aber (der größeren Empfindlichkeit wegen) aus 2 schmalen Streifen von dünnem Blattgolde oder Aluminium besteht, welche am unteren Ende eines Kupfer- oder Messingdrahtes dicht nebeneinander aufgehängt sind. Der Draht endigt oben in einer kleinen Metallkugel und ist gewöhnlich (bei Goldblättchen stets) im Gummistöpsel eines kleinen Glasballons so befestigt, daß die Pendel ganz im Ballon hängen und dadurch gegen Feuchtigkeit und

Luftzug geschützt sind. Wird der el. Körper der Kugel genähert oder mit ihr in Berührung gebracht, so schlagen die beiden Pendel auseinander.

Elektroskope dieser Art sind äußerst empfindlich und zeigen sehr kleine Mengen von Elektricität oder sehr geringe Einwirkung derselben an; z. B. kann ein geriebener Glas- oder Hartgummistab schon in einer Entfernung von etwa 1 m eine Abstofung der Blattgoldstreifen bewirken. Auch läßt sich mit diesen Apparaten leicht nachweisen, daß jede Art von Reibung in jedem Körper Elektricität hervorruft, man braucht z. B. nur den Knopf des Elektroskops wiederholt mit einem Fuchsschwanz zu streichen, um sofort ein Auseinandergehen der Blättchen zu veranlassen.

Instrumente, welche zu Messungen der E. dienen, heißen **Elektrometer**. Diese sind im wesentlichen so eingerichtet, daß sie bei Einwirkung eines el. Körpers die Größe des Pendelausschlages in Graden eines Kreises angeben (vergl. Fig. 157).

Übungstoff. 1. Vergleiche die Erschn. der el. Anziehung mit den entsprechenden magn. Erschn. — 2. Ein Blatt Papier bleibt an einem warmen Ofen nicht nur hängen, wenn man es an demselben einigemal mit trockener Hand streicht, sondern es gehört auch eine merkliche Kraft dazu, das Blatt vom Ofen wieder zu trennen. Erkl.! — 3. Fig. 141 stellt eine Ersch. dar, die sich noch nachher (Frage 2) mit einem solchen Blatte hervorrufen läßt; welche? — 4. Welche Ersch. wird das Haar eines Menschen zeigen, wenn man dem Kopfe einen stark el. K. genügend nähert? — 5. Wenn man Katzen, welche längere Zeit neben einem warmen Ofen gelegen haben, über den Rücken streicht, so hört man oft ein Knistern. Wie mag sich dies erklären? — 6. Warum lassen sich mit einem el. Stabe Eisenfeilspäne von Spänen anderer Metalle nicht wie mit einem

Fig. 141.



Magnet voneinander scheiden? — 7. Was wird eintreten, wenn man einen el. Stab über die Blätter eines aufgeschlagenen Buches oder unter eine Wagschale hält, oder dem feinen Wasserstrahle etwa eines Heronsballes nähert? — 8. Wenn man ein trockenes Blatt dünnes Papier mit Radiergummi kräftig reibt, dann schnell in Streifen zerschneidet und den Streifenbüschel frei emporhält, so fliegen die Streifen auseinander; warum wohl?

§ 41. Mitteilung und Leitung der Elektricität.

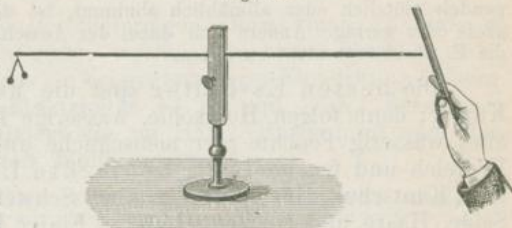
Versuch a. Wird das an einem Seidenfaden hängende Kügelchen eines Elektroskopes mit einem durch Reiben elektrisierten Körper berührt, so zeigt es sich (in trockener Luft) auch noch nach Entfernung des Stabes el. (siehe Fig. 138). Durch Berührung mit der Hand läßt sich die mitgeteilte E. wieder entfernen. — Auch wenn man von einem el. Körper auf einen anderen (Metallkugel mit einer Handhabe von Hartgummi oder Siegellack) einen Funken überspringen läßt, erweist sich der zweite Körper bei der Prüfung mit einem Elektroskop elektrisch.

Außer durch Reiben läßt sich ein Körper auch dadurch el. machen, daß man ihn mit einem el. Körper berührt oder beide einander soweit nähert, daß Funken überspringen: **Elektrische Mitteilung.**

Versuch b. Teilt man einem metallischen Körper von größerer Ausdehnung, etwa einem an den Enden abgerundeten Kupfer- oder Mes-

singdrahte (Fig. 142) in irgend einem Punkte E. mit, so wird er überall el., wenn er an seiner Befestigungsstelle etwa mit Kautschuk, Lack oder Seide umgeben ist und nicht durch Berührung mit dem Finger oder durch Metall, Holz, Hanfschnur oder dergl. mit dem Erdboden in Verbindung steht. Sobald eine derartige Verbindung hergestellt wird, verschwindet die E. überall wieder. Dagegen verliert ein el. Glas-, Hartgummi- oder Siegellackstab seine E. durch solche Berührung nur an der berührten Stelle.

Fig. 142.



Manche Körper vermögen die E. leicht aufzunehmen, schnell fortzuleiten und, wenn sie ableitend berührt werden, wieder vollständig zu verlieren (**gute Leiter**); andere werden durch Berührung mit einem el. Körper nur an der berührten Stelle el. und verlieren ihre E. bei ableitender Berührung auch nur an der berührten Stelle (**schlechte Leiter**.)

Aus Versuch b. folgt, *dafs ein guter Leiter, um el. Erscheinungen zeigen zu können, isoliert, d. h. mit Nichtleitern (Isolatoren) umgeben werden mufs*, damit die in ihm erregte Elektrizität nicht entweichen kann. Dies bestätigen folgende Versuche:

Versuch c. Man befestigt eine Kupfermünze an einer Siegellackstange und reibt sie mit Pelzwerk. Die Münze wird elektrisch. (Nachweis!)

Versuch d. Jemand, der auf einer isolierenden Unterlage steht (Schemel mit Glasfüßen) und mit einem seidenen Tuche oder mit einem Fuchsschwanz geschlagen wird, wird stark elektrisch, wie sich zeigt, sobald er den Knopf des Elektroskopes berührt.

Die Wichtigkeit der Isolatoren (Glas mit Schellacküberzug, Hartgummi u. s. w.) und ihre Bedeutung für alle elektrischen Apparate ist augenscheinlich. Ganz vollkommene Isolatoren, d. h. Körper, welche die E. überhaupt nicht leiten, giebt es indes nicht; selbst bei der besten Isolierung verliert ein el. K. seine E. im Laufe der Zeit an die ihn umgebenden Körper, z. B. an die Luft. Die Beschaffenheit der Luft ist überhaupt von größter Wichtigkeit für das Gelingen der el. Versuche, auf welches man mit um so größerer Sicherheit rechnen kann, je trockener die Luft ist; schon Gilbert bemerkte, dafs die Versuche bei vorhandener Feuchtigkeit nicht gelingen wollten. Da er den Unterschied von Leitern und Nichtleitern nicht kannte, so nahm er an, dafs sich in gewissen Körpern, z. B. in Metallen und Steinen, Elektrizität überhaupt nicht erregen lasse. Gray (1729) entdeckte den Unterschied der Leiter und Nichtleiter; es gelang ihm, eine elektrische Ladung durch eine an seidenen Fäden hängende Hanfschnur über 700 Fuß weit fortzuleiten, während die Fortleitung mißglückte, als einer der Seidenfäden zerrifs und durch einen Leinenfaden oder dünnen Draht ersetzt wurde.

Mit Hilfe eines leitenden el. Doppelpendels (Fig. 140 und 142) lassen sich beliebige Körper auf ihr el. Leitungsvermögen dadurch prüfen, daß man dem Pendel zunächst E. mitteilt und darauf den Draht, an welchem das Pendel aufgehängt ist, mit dem zu untersuchenden Körper berührt. Je nachdem der Ausschlag des Doppelpendels plötzlich oder allmählich abnimmt, ist das Leitungsvermögen des Körpers groß oder gering. Ändert sich dabei der Ausschlag nicht, so vermag der Körper die E. überhaupt nicht zu leiten.

Die besten E.s-Leiter sind die Metalle, namentlich Silber und Kupfer; dann folgen Holzkohle, wässrige Lösungen von Salzen, sowie alles wässrig Feuchte (der menschliche und tierische Körper, feuchtes Erdreich und feuchte Luft). Schlechte Leiter sind Bernstein, Siegelack, Kautschuk, Hartgummi u. s. w., Schwefel, manche Glassorten, Wolle, Seide, Haare und trockene Luft. — Einige Körper, wie Steine, trockenes Holz, Pflanzenfaser (Hanf), Papier u. a. m., bezeichnet man als Halbleiter.

Übungsstoff. 1. Eine glühende Kohle erkaltet schneller auf einer Metallplatte als auf Asche. Erkläre dies und führe Beispiele über el. Erschn. an, die sich damit vergleichen lassen. — 2. Warum umgiebt man die Handhaben metallener Gegenstände, welche zum Gebrauche erhitzt werden (Plätteisen u. s. w.), mit Holz, und warum versteht man el. Apparate von Metall mit Glasfüßen u. dgl.? — 3. Ein Fadenpendel mit Leinenfaden erscheint nach der Berührung mit einem el. K. stets unel., wenn es an einem Drahte hängt, welcher auf einem Holzfusse befestigt ist (Fig. 138), hingegen el., wenn der Fuß des Stativs aus Htg. oder der Faden aus Seide besteht. Erkl.! — 4. Wie erklärt es sich, daß ein am Leinenfaden aufgehängtes und durch den Fuß des Stativs isoliertes Kügelchen sich nach der Berührung mit dem el. Stabe schwächer el. zeigt als ein Kügelchen, das am Seidenfaden hängt? — 5. Was für Fäden müssen zu dem el. Doppelpendel (Fig. 140 und 142) benutzt werden, u. w.? — 6. Angenommen, man steckte auf die beiden Spitzen einer Magnetnadel ein kurzes Htg.-Stäbchen, auf welchem ein Holundermarkkugeln befestigt sei. Liefse sich dieselbe dann statt eines el. Horizontalpendels benutzen, u. w.? — 7. Bei Annäherung eines Fingerknöchels werde das eine Kügelchen des Horizontalpendels (Fig. 139) aus geringerer Entfernung angezogen als das andere: was ist daraus zu schließen? — 8. Was ferner, wenn demselben unel. Kügelchen des Pendels nacheinander 2 el. K. langsam genähert werden und die Entfernungen in dem Augenblicke, in welchem eine Anziehung erfolgt, ungleich sind? — 9. Metall, Glas, Papier u. s. w. läßt sich am leichtesten durch Reibung el. machen, wenn man es vorher ein wenig erwärmt hat. Grund! — 10. In einem gefüllten Unterrichtszimmer gelingen el. Versuche zu Anfang der Stunde leichter als gegen Ende derselben. Erklärung!

§ 42. Positive und negative Elektrizität. Gleichzeitige Erregung beider Elektrizitäten.

Fig. 143.



Die Grundversuche (§ 40) ergaben, daß der elektrische Stab einen durch Berührung elektrisierten Körper abstoßt. Daß jedoch eine solche Abstoßung nur unter gewissen Bedingungen eintritt, zeigen folgende Versuche:

Versuch a. Wird von zwei mit Seide geriebenen Glasstäben der eine so unterstützt, daß er leicht drehbar

ist (Fig. 143), und der andere darauf dem unterstützten Stabe genähert, so findet eine Abstoßung statt. Dieselbe Erscheinung zeigen mit

Wolle geriebene Hartgummistäbe oder Siegellackstangen. Läßt man aber den el. Glasstab auf den el. Hartgummi- oder Siegellackstab oder umgekehrt diesen auf jenen einwirken, so tritt jedesmal eine Anziehung ein.

Zur Erklärung dieser Erscheinungen nimmt man an, daß es zweierlei Elektrizitäten giebt, welche man wegen ihres gegensätzlichen Verhaltens, das sie bei gegenseitiger Einwirkung äußern, als **positive** und **negative Elektrizität** (+ E. und - E.) bezeichnet. Erstere ist die im Glase, letztere die im Harz, Hartgummi und ähnlichen Stoffen durch Reiben mit Wolle erregte E.

Gleichnamige Elektrizitäten stoßen einander ab, ungleichnamige ziehen einander an.

Durch die el. Abstossung läßt sich mittelst eines einfachen el. Pendels untersuchen, ob ein el. Körper + oder - el. ist, mittelst eines el. Doppelpendels, ob ein Körper el. oder unel. ist. (In welcher Weise?)

Versuch b. Wird ein leichtes Fadenpendel oder ein el. Doppel- oder Horizontalpendel durch Annäherung eines el. Stabes aus der Gleichgewichtslage gebracht, so läßt sich der Ausschlag durch Annäherung eines zweiten, gleichnamig el. Stabes vergrößern und durch Annäherung eines ungleichnamig el. Stabes verkleinern.

Die el. Wirkung wird durch die gleichnamige Elektrizität verstärkt, durch die entgegengesetzte Elektrizität dagegen geschwächt.

Die Verstärkung und Schwächung der el. Wirkung dient beim Doppelpendel-Elektroskope zur Untersuchung, ob ein Körper + oder - el. ist. Das Elektroskop wird zu diesem Zwecke vorher mit E. geladen. Wie hat man bei Annäherung des zu untersuchenden Körpers zu schließen?

Ähnliche Vorgänge, wie sie in den vorigen Versuchen beschrieben worden sind, wurden bald nach der Entdeckung der E.s-Leitung von Du Fay beobachtet (1733). Er nahm zu ihrer Erklärung zwei verschiedene Arten von E. an, die er als *Glas- und Harzelektrizität* bezeichnete nach den *Stoffen*, in denen er sie erregte. Später hat man die ursprüngliche Bezeichnung Glas- und Harzelektrizität mit der von Franklin vorgeschlagenen Unterscheidung in „*positive*“ und „*negative*“ E. vertauscht.

Da zur Erregung von E. die an einem Körper geleistete Arbeit der Reibung das Wesentliche ist, der Stoff, aus welchem der Körper besteht, aber nach obigem nur auf die Art der erregten E. einen Einfluß ausüben kann, so ist zu erwarten, daß bei den früheren Versuchen nicht nur der geriebene, sondern auch der reibende Körper el. wurde.

Versuch c. Wird ein Glasstab mit Seidenzeug kräftig gerieben, so zeigt sich letzteres bei Berührung der Kugel eines Goldblatt-Elektroskopes - el., das Glas + el.; vertauscht man den Glasstab mit einer Hartgummistange, so wird die Seide + el., die Hartgummistange - el.

Genaue Versuche lehren:

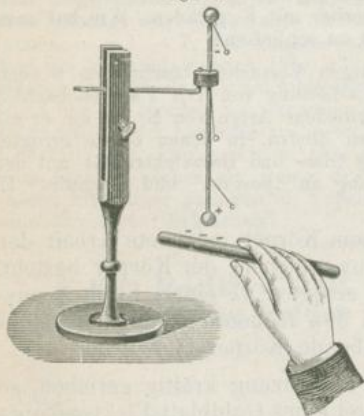
Wenn zwei ungleichartige Körper aneinander gerieben werden, so entwickeln sich stets beide Elektrizitäten, und zwar entsteht auf dem einen Körper stets ebensoviel + E., als auf dem anderen - E.

Bei den bisherigen Versuchen achtete man nur auf die E. des geriebenen Körpers; die des Reibzeuges wird gewöhnlich nicht wahrgenommen, da sie von der Hand des Experimentators nach der Erde entweicht.

Übungsstoff. 1. Ein am Leinenfaden aufgehängtes Holundermarkkugeln wird, wenn das Stativ aus einem auf Holz befestigten Drahte besteht, bei Annäherung eines el. K. zwar angezogen, niemals aber wieder abgestoßen. Erkläre! — 2. Wie muß die Aufhängung abgeändert werden, wenn auch eine Abstofsung erfolgen soll? — 3. Erkläre die Abstofsung, welche bei einem Doppelpendel eintritt, wenn man die Kugel des Elektroskopes mit dem el. K. berührt. — 4. Nähert man dem Fadenpendel oder dem Horizontalpendel (Fig. 139) eine isolierte Metallkugel, Münze oder dergl., welcher man E. mitgeteilt hat, so folgt auf die Anziehung jedesmal auch eine Abstofsung, während bei Anwendung des geriebenen Stabes (namentlich des Htg.-Stabes) die letztere Ersch. häufig nicht eintritt. Wie mag sich dies nach § 41 erklären? — 5. Man will bewirken, daß die beiden einander abstofsenden Kügelchen eines el. Doppelpendels a. sich wieder nähern, b. sich noch weiter voneinander entfernen. Wie läßt sich dies ermöglichen, ohne daß man das Pendel berührt? — 6. Wie läßt sich mit dem Horizontalpendel untersuchen, ob ein K. + oder - el. ist, a. wenn ein mit Wolle geriebener Glasstab, b. wenn ein ebenso behandelter Htg.-Stab zu Hilfe genommen wird? — 7. Welches von den beiden Kügelchen des Horizontalpendels würde, wenn das eine - el., das andere unel. wäre, durch einen + el. Stab bei gleicher Annäherung am stärksten angezogen werden? — 8. Gesetzt, man näherte dem Kügelchen den el. Glas- und Htg.-Stab zugleich von derselben Seite: warum würde es dann falsch sein zu schliesen, beide Stäbe seien unel., wenn keine Anziehung erfolgte? — 9. Vergl. die Erschn., welche die entgegengesetzten Elektrizitäten bieten, mit den verwandten magn. Erschn.!

§ 43. Elektrische Verteilung (Influenz) und Ausgleichung.

Fig. 144.



*Versuch a. Nähert man dem einen Ende eines gut isolierten, stabförmigen und überall abgerundeten E.s-Leiters (Fig. 144), an welchem 3 leichte Fadenpendel befestigt sind, in trockener Luft etwa einen stark el. Hartgummistab, ohne daß Funken überspringen, so zeigen die Pendel folgende E.s-Erregung an: das abgewandte Ende des Leiters wird gleichnamig, das zugewandte Ende ungleichnamig el., während die Mitte unel. bleibt. (Prüfung durch Annäherung eines senkrecht gehaltenen el. Hartgummi- oder Glasstabes.) Eine sorgfältige Untersuchung läßt erkennen, daß die Stärke der E. von den beiden Enden des Leiters bis zu der indifferenten Stelle hin allmählich abnimmt.

Bei Entfernung des Stabes verschwindet die E. wieder. — Die Erscheinungen treten auch dann ein, wenn eine dünne isolierende Scheibe aus Glas, Hartgummi oder dergl. zwischen den Leiter und den E.s-Erreger gehalten wird. (Bei Anwendung eines + el. Glasstabes sind die Erscheinungen bis auf die Vertauschung der Elektrizitäten dieselben.)

Gute E.s-Leiter werden durch die bloße Annäherung eines el. Körpers elektrisch, und zwar tritt auf dem abgewandten Teile desselben

die gleichnamige, auf dem zugewandten Teile die ungleichnamige Elektrizität auf: **Elektrische Verteilung oder Influenz.**¹⁾

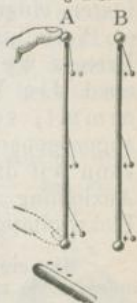
Vergleiche die elektrische mit der magnetischen Verteilung.

Durch geeignete Versuche läßt sich nachweisen, daß auch schlechte Leiter unter der Einwirkung eines el. Körpers el. werden. Dieser Vorgang findet jedoch nur ganz allmählich statt, auch bleiben solche Körper nach Entfernung des E.s.-Erregers noch el.

Wenngleich es somit den Anschein hat, als ob el. Leiter und Nichtleiter sich unter der Einwirkung eines E.s.-Erregers ähnlich verhalten, wie weiches Eisen und Stahl unter der Einwirkung eines Magnets, so besteht doch, wie folgende Versuche zeigen, ein wesentlicher Unterschied.

Versuch b. Berührt man den Leiter (A, Fig. 145) während der Einwirkung des — el. Stabes in irgend einem Punkte mit dem Finger, so fällt das obere Pendel wieder nieder und zeigt dadurch an, daß das abgewandte Ende des Leiters wieder unel. geworden ist. Man sagt, die abgestoßene E. sei durch den Finger abgeleitet. Der Ausschlag des unteren Pendels dagegen wird größer und auch das mittlere Pendel macht einen kleinen Ausschlag. — Zieht man hiernach den Finger und gleich darauf auch den Stab wieder zurück, so verbreitet sich die +E. über den ganzen Leiter, was sich durch den Ausschlag aller Pendel und die Annäherung eines senkrecht gehaltenen + Stabes zu erkennen giebt.

Fig. 145.



Von den beiden durch Verteilung erregten Elektrizitäten ist die abgestoßene, gleichnamige E. ableitbar (**freie E.**), die angezogene, ungleichnamige E. wird von der E. des Erregers festgehalten (**gebundene E.**).

Bem. Die beiden Ausdrücke **frei** und **gebunden** sollen keinen wesentlichen Unterschied der beiden Elektrizitäten ausdrücken, denn wenn man nach Ableitung der abgestoßenen E. den E.s.-Erreger entfernt, so wird die bis dahin als gebunden bezeichnete E. ebenfalls ableitbar oder frei. Die angezogene (gebundene) E. nennt man auch Influenz-E. der ersten Art, die abgestoßene (freie) dagegen Influenz-E. der zweiten Art.

Fig. 146.



Versuch c. Wird der E.s.-Erreger dem unel. Leiter bis zur Berührung genähert, so verschwindet auf letzterem die angezogene ungleichnamige E. wieder, und der ganze Leiter wird gleichnamig el. (Sogen. *el. Mitteilung.*) Das untere Pendel fällt dabei zunächst nieder, schlägt darauf aber wie die übrigen Pendel stark aus (Fig. 146). Teilt man einem ebenso eingerichteten Leiter gleichviel entgegengesetzte E. mit, so werden beide Leiter wieder unel., wenn man sie miteinander berührt.

Zwei gute E.s.-Leiter, welche gleichstark, aber entgegengesetzt el. sind, werden durch gegenseitige Berührung unel.; sind sie ungleichstark

¹⁾ influere, einfließen, sich Eingang verschaffen.

el., so bleibt nach der Berührung von der stärkeren E. ein Rest zurück.

(El. Ausgleichung.)

Fig. 147.



Durch die el. Verteilung wird es erklärlich, daß ein Doppelpendel-Elektroskop durch einen und denselben el. Körper sowohl mit der gleichnamigen (nach Fig. 146) als mit der ungleichnamigen E. (nach Fig. 145) geladen werden kann (in welcher Weise?). Letzterer Methode giebt man beim Laden der Goldblatt-Elektroskope den Vorzug (Fig. 147), da die Goldblättchen sonst leicht zerreißen oder die durch Berührung in dieselben getriebene E. leicht auf die innere Fläche der Glaswand übergeht, von wo aus eine nachteilige Rückwirkung erfolgen kann.

Nach dem Gesetz der el. Verteilung erscheint nicht nur die *el. Mitteilung* (siehe oben), sondern auch die *el. Anziehung und Abstofsung als eine Folge von der Wechselwirkung elektrischer Kräfte*. Wenn nämlich ein el. Körper und ein unel. Leiter einander genähert werden, so bewirkt jener in diesem eine el. Verteilung. Da nun die abgestofsene, gleichnamige E. vom E.s-Erreger weiter entfernt ist als die angezogene, ungleichnamige E., und die Wirkung der el. Kräfte mit der Entfernung abnimmt, so überwiegt die *Anziehung*. Findet dabei zwischen der angezogenen E. und der E. des Erregers eine Ausgleichung statt, so kann auf die Anziehung eine *Abstofsung* folgen. Somit kann man die Anziehung und Abstofsung als Wirkung der in den Körpern erregten Elektrizitäten ansehen.

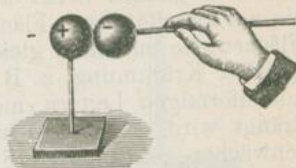
Da ein el. Körper genauen Versuchen zufolge von seiner E. nichts verliert, indem er in einem andern Körper durch Verteilung E. erregt, so ist man zu der Annahme genötigt, daß in allen Körpern von Natur beide Elektrizitäten an jeder Stelle gleichmäÙig so vorhanden seien, daß sie sich in ihren Wirkungen gegenseitig aufheben. (Vgl. § 38.) — Ein unel. Körper geht hiernach in den el. Zustand über, wenn in ihm eine Trennung seiner eigenen Elektrizitäten stattfindet; er erscheint +el., wenn er einen Überschuf von +E. hat, -el., wenn er -E. im Überschuf enthält. Diese Trennung der Elektrizitäten kann nicht nur durch die el. Kraft selbst bei der el. Verteilung, sondern auch durch Reibung und andere Ursachen bewirkt werden.

Übungsstoff. 1. Wie läÙt es sich erreichen, daß alle Pendel (Fig. 145)

- a. durch die gleichnamige, b. durch die ungleichnamige E. des Erregers ausschlagen? —
2. Was muß eintreten, wenn man den Leiter nach dem Ausschlage aller Pendel a. mit einem isolierten, b. mit einem nicht isolierten Metallkügelchen, c. mit einem Htg.-Stäbchen berührt, u. w.? —
3. Welche Änderung tritt bei einem isolierten Leiter ein, wenn an demselben ein stark el. K. vorbeigeführt wird? —
4. Desgl., wenn man dem Leiter den el. K. bis zur Berührung nähert und ihn dann wieder entfernt? —
5. Worin findet die Ersch. des Versuches a, Fig. 137, nach obigem ihre eigentliche Erklärung? —
6. Inwiefern hängt es vom Leitungsvermögen eines K. ab, ob durch einen E.s-Erreger eine starke oder schwache el. Verteilung eintreten kann? —
7. Welchen Einfluß muß demnach das Leitungsvermögen eines K. darauf ausüben, wie stark letzterer von einem el. K. angezogen wird? —
8. Wenn man die Kugel eines nicht geladenen Doppelpendel-Elektroskopes mit einem schwach el. metallenen K. nur in einem Punkte berührt und den K. dann wieder entfernt, so behalten die Pendel ihre Stellung; sie gehen jedoch stets auf einen kleineren Ausschlag zurück, wenn man mit einem schwach el. schlechten Leiter ebenso verfährt. Erkl.! —
9. Erkläre folgende Erschu.: a. Bringt man einer von zwei sich berührenden Messingkugeln (Fig. 148, folg. Seite), welche gegen 2 cm dick und gut iso-

tiert sind, den stark — el. Htg.-Stab möglichst nahe, ohne dafs Funken überspringen, und entfernt dann zunächst die vom Stabe abgewandte Kugel und gleich darauf auch den Stab, so ist diese Kugel — el., jene + el.;
 b. nähert man den Stab bis zur Berührung, so sind beide Kugeln — el.: c. verfährt man wie bei a, ohne die zweite Kugel zu entfernen, so sind nach Entfernung des Stabes beide Kugeln unel.

Fig. 148.



§ 44. Anordnung der Elektrizität auf einem Leiter. El. Spannung.

Wie sich der Grad des Wärmezustandes am sichersten nach der ausdehnenden Wirkung der Wärme beurteilen läßt (Steigen und Fallen des Quecksilbers im Thermometer), so läßt sich der Grad des el. Zustandes am besten nach der Stärke der Abstofsung gleichnamiger Elektrizitäten beurteilen (Ausschlag des Pendels eines Elektroskopes). Dafs der Grad des el. Zustandes eines Körpers ähnlich wie der Wärmegrad sehr verschieden sein kann, haben die früheren Versuche bereits gezeigt, desgl. dafs Nichtleiter der E. in verschiedenen Punkten ihrer Oberfläche ungleichstark el. sein können. Wie sich in letzterer Beziehung gut leitende Körper verhalten, bedarf noch einer besonderen Untersuchung.

***Versuch.** Wird ein kleiner, isoliert aufgestellter Reifen aus glattem Kupfer-, Messing- oder Zinkblech (Fig. 149), in und auf welchem ein leichtes leitendes Doppelpendel als Elektroskop aufgehängt ist, etwa durch wiederholte Berührung mit dem el. Stabe möglichst stark el. gemacht, so schlägt nur das äufsere Pendel mehr und mehr aus. Bei genauer Untersuchung mittelst Probekügelchen und Elektroskop erscheint die Außenseite des Reifens namentlich an den Kanten el., während die Innenseite sich als unel. oder äufserst schwach el. erweist. (Überläßt man den elektrischen Reifen einige Zeit sich selbst, so wird er um so schneller wieder unel., je feuchter die Luft ist.) — Elektrisierte metallische Hohlkugeln sind ebenfalls nur an der Außenseite und zwar überall gleichstark el.

Fig. 149.



Auch bei massiven el. Körpern befindet sich die E. nur an der Oberfläche. Wird z. B. eine massive Metallkugel elektrisiert, und dann mit zwei genau auf dieselbe passenden metallenen, hohlen Halbkugeln umschlossen, so geht die ganze E. der massiven Kugel auf die Halbkugeln über. Entfernt man letztere gleichzeitig wieder, so sind diese el., die massive Kugel dagegen ist unel. — Aus derartigen Versuchen schließt man:

Wird ein guter Leiter mit E. geladen, so verbreitet diese sich nur auf der Oberfläche, nicht aber im Innern des Leiters. Die E. zeigt daher das Bestreben, sich vom el. Körper zu entfernen. Dieses Bestreben ist um so gröfser, je mehr E. sich an einem Punkte angesammelt hat.

Obige Erscheinungen erklären sich aus der Abstofsung gleichnamiger Elektrizitäten und dem äufserst geringen Widerstande,

welchen gute E.s-Leiter der Bewegung der E. entgegensetzen. Die einem Leiter in irgend einem Punkte mitgeteilte E. breitet sich hiernach stets über den ganzen Leiter aus und drängt nach außen. Hierbei erlangt sie auf kugelförmigen Flächen eine gleichförmige Dichtigkeit, d. h. gleiche Flächenteile enthalten gleichviel E., während die E. auf Flächen mit ungleicher Krümmung, z. B. auf Cylindern mit abgerundeten Enden oder auf eiförmigen Leitern, mehr nach den stärker gekrümmten Teilen gedrängt wird, sodafs sie hier eine gröfsere Dichte erlangt als an den schwächer gekrümmten Stellen. Das Bestreben der E., sich vom el. Körper zu entfernen, mufs daher bei einem isolierten guten Leiter mit der Stärke der Krümmung seiner Oberfläche zunehmen.

Der Druck, welchen die E., indem sie sich von einem el. Körper zu entfernen strebt, auf die nicht leitende Umgebung (z. B. die Luft) ausübt, wird el. Spannung genannt.

Durch die Spannung der E. läfst sich somit der el. Zustand eines Körpers messen, wie der Wärmezustand durch die Temperatur. Dieselbe E.s-Menge erzeugt auf einem kugeligen Leiter überall die gleiche Spannung (aber eine um so gröfsere, je kleiner die Oberfläche ist), auf ebenen Flächen die kleinste, an Ecken und Spitzen die grösste Spannung. Von letzteren geht daher die E. auch am leichtesten auf andere Körper über (Spitzenwirkung). Dies ist der Grund, warum man Leiter der E. zur Verhütung von E.s-Verlusten abrundet und mit glatter Oberfläche versieht.

Übungsstoff. 1. Was für einen Einfluss haben Ecken und Kanten an magn. und el. Apparaten auf die Brauchbarkeit? — 2. Wenn die Spitzen, Ecken oder Kanten eines el. Leiters nicht scharf sind, so ist bei schwacher Elektrisierung kaum ein E.s-Verlust merklich. Erkl.! — 3. Einem offenen Cylinder und einem Hohlkegel (beide aus Metall und isoliert) soll durch Berührung mit einem el. Leiter E. mitgeteilt werden. a. Ist es hierbei gleichgültig, in welchen Punkten die Berührung stattfindet, u. w.? b. Wie lassen sich die K. am besten auf ihre E. prüfen, wenn man einmal ein nicht geladenes Goldblatt-Elektroskop, ein andermal ein el. gemachtes Horizontalpendel anwendet? — 4. Zwei gleichgrofse isolierte Metallkugeln werden miteinander in Berührung gebracht, nachdem ihnen einmal gleiche Mengen, ein andermal ungleiche Mengen E. mitgeteilt worden ist (vgl. Fig. 148). Spannung der E. vor und nach der Berührung, wenn die Kugeln a. gleichnamig el., b. ungleichnamig el. gemacht sind? — 5. Zwei Metallkugeln von verschiedener Gröfse soll E. mitgeteilt und die el. Spannung bei beiden gleich werden. Mengen der erforderlichen E.? — 6. Bei einem sehr empfindlichen, geladenen Goldblatt-Elektroskope nähern sich die Goldblättchen ein wenig, wenn man der Kugel einen unel. guten Leiter sehr nahe bringt, und kehren bei Entfernung des Leiters wieder in ihre anfängliche Stellung zurück. Grund! — 7. Warum dürfen Metallkugeln zur Ansammlung von E. hohl sein oder aus einem nicht leitenden, mit Zinnblatt (Stanniol) überklebten Stoffe bestehen? Einfluss von Staub auf der Oberfläche derselben!

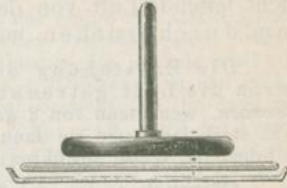
Elektrische Verstärkungs- und Ansammlungs-Apparate.

§ 45. Der Elektrophor. El. Funke. El. Rückschlag.

Um in einfachster Weise gröfsere Mengen von E. zu erhalten, läfst sich statt eines Stabes eine aus *Hartgummi* oder *Harzmasse* bestehende *Scheibe* anwenden, welche auf einem *Metallteller* liegt und nach ihrer

Elektrisierung mit einem überall abgerundeten *Deckel* aus Metall oder mit Stanniol überklebtem Holz bedeckt wird. (Fig. 150). Der Deckel ist zum Gebrauch des Apparates mit einer isolierenden Handhabe versehen. Ein solcher Apparat wird **Elektrophor**, d. h. Elektrizitätsträger, genannt.

Fig. 150.

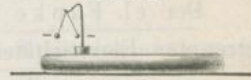


Versuche über die Wirkung des Elektrophors.

Versuch a. Legt man auf die mit einem Fuchsschwanz oder mit Katzenfell kräftig geschlagene Scheibe des Elektrophors den Deckel, indem man ihn ableitend berührt, und hebt ihn darauf wieder ab, so erhält man einen ziemlich kräftigen Funken, wenn man dem Rande des Deckels den Fingerknöchel oder eine mit dem Boden leitend verbundene Metallkugel (Funkenzieher) genügend nähert. Bei Wiederholung des Versuches entsteht immer von neuem ein Funke, ohne daß die Scheibe noch einmal gerieben zu werden braucht. Zur Erklärung dienen folgende Versuche:

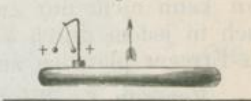
Versuch b. Man stelle auf den Deckel ein leichtes leitendes Doppelpendel (Fig. 151). Legt man ihn dann auf die geriebene Scheibe, ohne ihn ableitend zu berühren, so zeigt der Ausschlag des Pendels eine E.-Erregung an. Der Ausschlag erfolgt durch $-E$. (Nachweis!) Beim Abheben des Deckels fallen die Kügelchen des Pendels wieder zusammen.

Fig. 151.



Versuch c. Berührt man den Deckel, während er der Scheibe aufliegt, mit dem Finger, so fällt das Pendel plötzlich nieder; es schlägt aber, wenn man den Deckel hierauf, ohne ihn noch zu berühren, abhebt, wieder aus (Fig. 152) und zwar durch $+E$. (Nachweis!) Der Ausschlag nimmt mit der Entfernung zu.

Fig. 152.



Wie ist nach Versuch b und c die Elektrisierung des Elektrophor-Deckels zu erklären? Dichtigkeit und Spannung der E. des Deckels: Nach Ableitung der $-E$. des Deckels konnte das Pendel keine el. Spannung mehr anzeigen, da die zurückgebliebene $+E$., wenngleich sie in genügender Dichtigkeit vorhanden war, durch die $-E$. der Scheibe gebunden wurde. Erst als diese Einwirkung der $-E$. durch das Abheben des Deckels mehr und mehr aufhörte, vermochte die Spannung der $+E$. allmählich zuzunehmen.

Versuch d. Nähert man wie bei Versuch a dem mit $+E$. geladenen Deckel etwa den Fingerknöchel, sodafs ein Funke überspringt, so zeigt das Niederfallen des Pendels eine plötzliche Abnahme der el. Spannung an (Fig. 153). Bei genauerer Untersuchung erweist sich der Deckel nur noch sehr schwach el.

Fig. 153.



Diese Erscheinung erklärt sich nach § 43 dadurch, daß die $+E$. des Deckels im genäherten Knöchel $-E$. anzieht und $+E$. abstößt, wie bei der Elektrisierung des Deckels in diesem durch die $-E$. der Scheibe

inem
stets
langt
eiche
un-
oder
ge-
den
n el.
mit

örper
(Luft)

tand
atur.
die
äche
öfste
auf
rum
mit

n an
Ecken
erung
inem
weiter
erüh-
tufen,
n el.
ngeln
ngen,
nung
un-
röße
der
ktro-
unel-
er in
zur
stan-
ben!

ag-
sich
nde
irer

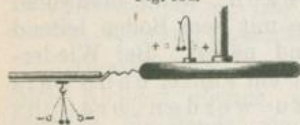


die ungleichnamige E. angezogen und die gleichnamige E. abgestoßen wurde. Indem der Finger sich dem Deckel mehr nähert, findet eine immer stärkere el. Verteilung statt, welche damit endigt, daß die nicht leitende Luft von den einander anziehenden Elektricitäten gewaltsam durchbrochen wird, wobei diese sich vereinigen.

Die Entstehung des el. Funkens durch Vereinigung zweier durch die Luft getrennten Elektricitäten giebt sich am deutlichsten zu erkennen, wenn man von 2 guten E.s-Leitern den einen mit +, den anderen mit -E. stark ladet und sie dann einander nähert. Dies läßt sich mit dem Elektrophor in folgender Weise ausführen:

***Versuch e.** Der geladene Elektrophor werde so auf eine isolierende Unterlage gelegt, daß ein Teil des Tellers zur Aufhängung eines leichten leitenden Doppelpendels freiliegt (Fig. 154). Hierauf leite man zunächst im Deckel und Teller die abgestoßene -E. ab, indem man beide mit dem Finger berührt. Hebt man dann den Deckel von der Scheibe ab, so wird im Teller durch stärkere Bindung von +E. von neuem soviel -E. frei, daß man einen kräftigen Funken erhält, wenn man den Deckel mit seinem

Fig. 154.



Rande dem Teller angebrachtes Doppelpendel zeigt eine plötzliche Abnahme der el. Spannungen an.

Der el. Funke entsteht dadurch, daß die beiden durch die Luft getrennten Elektricitäten sich plötzlich miteinander vereinigen.

Die gewaltsame Vereinigung entgegengesetzter Elektricitäten zwischen zwei el. Körpern heißt Entladungsschlag, die größte Entfernung, in welcher sie erfolgt, Schlagweite.

Eine plötzliche Vereinigung getrennter Elektricitäten kann nicht nur zwischen zwei el. Körpern eintreten, sondern muß auch in jedem durch Verteilung elektrisierten Leiter erfolgen, wenn der E.s-Erreger plötzlich zu wirken aufhört.

Versuch f. Wird einem Goldblatt-Elektroskope der elektrisierte Deckel des Elektrophors genähert, so erhält man einen immer größer werdenden Ausschlag, welcher nicht nur durch schnelle Entfernung, sondern auch bei Funkenentladung des Deckels plötzlich wieder verschwindet. (Erklärung!)

Die plötzliche Wiedervereinigung durch Verteilung getrennter, entgegengesetzter Elektricitäten eines Leiters wird el. Rückschlag genannt.

Der Elektrophor oder Elektricitätsträger verdankt seinen Namen der Eigenschaft, die E., wenn der Deckel aufgesetzt und der Teller nicht isoliert ist, in trockener Luft tage-, selbst wochenlang zu bewahren. Da die Scheibe des Elektrophors aus einem nicht leitenden Stoffe besteht und genau genommen nur in wenigen Punkten vom Deckel berührt wird, so kann sich nämlich nur ein sehr geringer Teil ihrer -E. mit der von letzterer angezogenen +E. des Deckels ausgleichen; dasselbe gilt von der aus dem Teller angezogenen -E. Infolge dieser gegenseitigen Anziehung kann die E. der Scheibe nicht entweichen. — Der Elektrophor wurde 1775 von dem Italiener Volta erfunden.

Übungsstoff. 1. Welcher wesentliche Unterschied besteht zwischen den Teilen des Elektrophors in Bezug auf ihr Leitungsvermögen? — 2. Die Funken, welche die Scheibe selbst liefert, sind im Vergleich zu denjenigen des Deckels nur

sehr schwach. Erkl.! — 3. Warum nimmt im Deckel die Spannung der $-E.$ zu, indem man den Deckel der Scheibe nähert (Fig. 151), die der $+E.$ aber, indem man ihn weiter von der Scheibe entfernt (Fig. 152)? — 4. Warum muß der Deckel des Elektrophors überall abgerundet sein? — 5. Warum braucht der Teller nicht ebenso eingerichtet zu sein? — 6. Dünne, etwa nur einige mm starke Deckel sind weniger brauchbar als Deckel, welche wenigstens fingerdick sind; warum wohl? — 7. Warum läßt sich zum Auflegen und Abheben des Deckels statt seidener Schnüre nicht gewöhnlicher Bindfaden benutzen? — 8. Wenn man den Deckel mit Korkstückchen, Holundermarkkügelchen oder dergl. bestreut und ihn dann auf die geriebene Scheibe legt, so fliegen dieselben fort. Erkl.! — 9. Wird der Deckel beim Auflegen ableitend berührt, so tritt die Ersch. erst ein, wenn man ihn abhebt; w.? — 10. Wo bleibt die im Teller erregte freie $-E.$, a. wenn der Teller auf einer leitenden Unterlage liegt, b. wenn die Unterlage nicht leitet? — 11. Wird die geriebene Scheibe des Elektrophors, ohne daß der Deckel daraufliegt, mit mehreren Fingerspitzen zugleich berührt, so hört man ein nur schwaches Knistern, wenn der Teller entfernt ist. Wie wirken demnach die Elektricitäten dieser beiden Teile, solange letztere sich berühren, aufeinander ein? — 12. Die nicht mit dem Deckel bedeckte Scheibe wird an der Luft nicht so schnell unel., wenn der Teller darunter liegt, als wenn er fehlt; der Elektrophor bleibt am längsten el., wenn die Scheibe zwischen Teller und Deckel liegt. Grund! — 13. Warum nähert man dem Deckel des Elektrophors beim Funkenziehen den Fingerknöchel und nicht die flache Hand, desgl. bei Versuch e (Fig. 154) dem Rande des Tellers den Rand des Deckels? — 14. Warum kann man das öfterer wiederholte Entziehen von Funken aus dem Elektrophor nicht mit dem Wasserschöpfen aus einem Brunnen vergleichen?

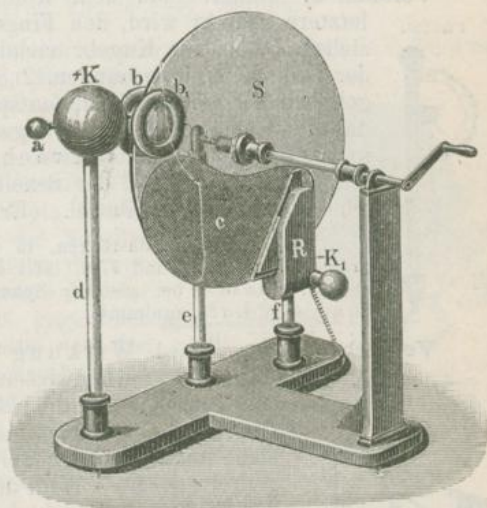
§ 46. Die Elektrisiermaschine. Spitzenwirkung.

Doppelinfluenz. 1. Reibungs-Elektrisiermaschine.

Das bequemste Verfahren, große Mengen von $E.$ durch Reibung hervorzurufen, besteht darin, daß man eine Glasscheibe zwischen zwei Reibkissen mittelst einer Kurbel dreht (Fig. 155). Ein solcher Apparat wird **Reibungs-Elektrisiermaschine** genannt. Die Hauptteile derselben sind: 1) die **drehbare Scheibe (S)**, 2) das **festliegende Reibzeug (R)** und 3) der **Konduktor oder Ansammler (K und K_1)**. Der Isolierung wegen bestehen die Achse der Scheibe sowie die Stützen für Konduktor und Reibzeug aus Glas oder Hartgummi.

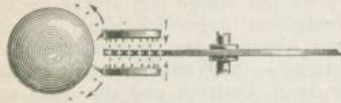
Das Reibzeug ist aus zwei Lederkissen zusammengesetzt, welche mit Amalgam, d. h. mit einer Mischung aus Qu. und Zink oder aus Qu., Zinn und Zink überstrichen sind. (Diese Mischung wirkt kräftiger als ein wollener oder seidener Lappen.) *Beim Drehen der Scheibe wird diese $+el.$, das Reibzeug $-el.$* Gewöhnlich wird die $+E.$ benutzt, während man die $-E.$, damit sie nicht durch Bindung der ungleich-

Fig. 155.



namigen E. nachteilig wirkt, mittelst einer Kette zur Erde leitet. Die $+E.$ der Scheibe läßt man verteilend auf Metallspitzen einwirken

Fig. 156.



(Fig. 156), welche in zwei Ringen befestigt und mit dem Konduktor (K) leitend verbunden sind. Dieser besteht meist aus einer Hohlkugel von Messing. Damit die Scheibe bei ihrer Drehung auf dem Wege vom Reibkissen bis zu diesen Spitzen keine E. verliert, ist sie an dieser Stelle beiderseits durch einen ihr anliegenden Lappen von Wachstaffet (c) geschützt. Die aus den Spitzen gezogene $-E.$ vereinigt sich mit der $+E.$ der Scheibe, sodafs im Konduktor freie $+E.$ zurückbleibt. Häufig sind auch die Reibkissen durch Stanniolstreifen mit einem besonderen Konduktor (K_1) leitend verbunden. Will man die in demselben sich ansammelnde $-E.$ benutzen, so verbindet man den Scheibenkonduktor leitend mit der Erde.

Versuche über die Wirkung der Elektrisiermaschine.

Versuch a. Nachweis des el. Zustandes von Reibzeug, Scheibe und Konduktor mittelst des Elektroskopes. — Ein Goldblatt-Elektroskop giebt schon in ziemlich großer Entfernung vom Konduktor einen Ausschlag.

Der Raum um einen el. Körper, innerhalb dessen der Körper el. Erscheinungen hervorruft, wird el. Atmosphäre genannt.

Versuch b. Nähert man dem Konduktor der Scheibe, während letztere gedreht wird, den Fingerknöchel oder einen Funkenzieher (Draht mit Kugel), nachdem man 1) das Reibzeug mit der Erde leitend verbunden, 2) diese Verbindung wieder aufgehoben hat, so entstehen (entsprechend der Stärke der durch das Elektrometer, Fig. 157, angezeigten Spannung) im 1. Falle starke, im 2. nur schwache Funken. Werden Reibzeug und Konduktor der Scheibe leitend verbunden, so erscheint nur die Scheibe el. (Erklärung!)

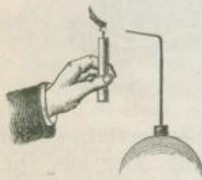
Fig. 157.



Mit Hilfe von Glasröhren, in denen die Luft verdünnt werden kann (siehe Fig. 12 und 171), läßt sich nachweisen, dafs die Länge der el. Funken bei gleicher Spannung der E. mit der Verdünnung der Luft zunimmt.

Versuch c. Um die el. Wirkung von Metallspitzen (vgl. Fig. 156) nachzuweisen, halte man dem Ende eines auf dem Konduktor befestigten zugespitzten Drahtes (Fig. 158) eine Flamme gegenüber. Letztere neigt sich stark von der Spitze weg, sobald die Scheibe gedreht wird. — Wird dem Konduktor ein mit Spitzen versehener und nicht isolierter Leiter ziemlich nahe so gegenübergestellt, dafs die Spitzen dem Konduktor zugewandt sind, so zeigt sich letzterer nur sehr schwach el. Dies führt zu dem Schlusse:

Fig. 158.



Aus Spitzen strömt die E. leicht aus. Steht ein el. Körper leitenden Spitzen gegenüber, so strömt aus diesen von den beiden durch Ver-

teilung erregten Elektricitäten die angezogene, ungleichnamige aus und vereinigt sich mit der E. des Erregers.

Flammen und Rauch bewirken in der Nähe eines elektrisierten Leiters ebenfalls eine allmähliche Entladung.

2. Influenz-Elektrisiemaschine. Sie unterscheidet sich von der Reibungs-Elektrisiemaschine dadurch, daß die E. nicht durch Reibung, sondern durch Verteilung (sogen. Doppelinfluenz) erregt wird. Stellt man nämlich einem etwa $+el.$ Körper (A) einen mit Spitzen versehenen Leiter (C, Fig. 159) gegenüber, so strömt bei genügender Stärke der E. aus den Spitzen des Leiters auch dann noch $-E.$ aus, wenn zwischen den Spitzen und dem el. Körper eine dünne, schlecht leitende Scheibe (B) eingeschaltet wird. In der Scheibe findet dabei auch eine el. Verteilung statt. Stehen nun die Metallspitzen von der Scheibe nur sehr wenig ab, so ist (dem Leistungsvermögen dieser beiden Körper entsprechend) die E.s-Erregung im Leiter bedeutend stärker als in der Scheibe.

Die E. des Leiters strömt dann aus den Spitzen auf die Scheibe über. Hierbei vereinigt sich die abgestoßene $+E.$ der Scheibe mit ebensoviel $-E.$, sodafs auch diese Seite der Scheibe $-el.$ wird. Würde nun der Leiter mit der Erde leitend verbunden und die Scheibe gedreht, so würde diese auf einer immer gröfseren Fläche $-el.$ werden.

Die *Influenz-Elektrisiemaschine* besteht aus 2 dünnen Glasscheiben (A und B, Fig. 160), welche einander parallel und sehr nahe gegenüberstehen, und von denen die eine vor der anderen sehr schnell gedreht werden kann. Die feststehende Scheibe (B) ist an 2 Stellen tief ausgeschnitten. Neben diese Ausschnitte sind auf die Scheibe 2 Stückchen Papier geklebt, die mit ihrer Spitze in die Ausschnitte hineinragen. Den Papierbelegen gegenüber stehen auf der anderen Seite vor der drehbaren Scheibe die Kammspitzen (O und P) zweier messingenen Konduktoren, deren vordere stabförmige Teile (C und D) in eine Kugel endigen und gegeneinander verschoben werden können.

Zum Gebrauche der Maschine schiebt man die Kugeln zunächst aneinander und teilt dann, während die Scheibe gedreht wird, einem der beiden Papierbelege mit einem geriebenen Glas- oder Htg.-Stabe E. mit. Ist das Papier (n) etwa $+el.$ gemacht, so sammelt sich (durch Doppelinfluenz) auf beiden Seiten der Scheibe den zugehörigen Spitzen gegenüber $-E.$ an. Die in den beiden Konduktoren abgestoßene $+E.$ wird aus den anderen Spitzen gegen die Scheibe getrieben. Da sie zu-

Fig. 159.

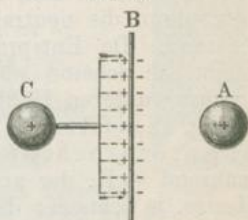
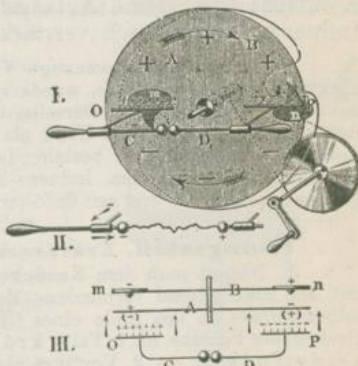


Fig. 160.



gleich auf den Papierbeleg (m) verteilend einwirkt, so wird die Scheibe hier beiderseits $+el.$ Diese Vorgänge wiederholen sich bei der Drehung der Scheibe an allen Stellen derselben, welche an den beiden sogen. Saugkämmen vorbeigehen, und setzen sich auch dann noch fort, wenn dem Papierbelege keine E. mehr mitgeteilt wird. Nach einer halben Umdrehung ist die Scheibe beiderseits in einem ringförmigen Streifen von der Breite der Saugkämme $el.$ und zwar ist der untere Halbring $-el.$, der obere $+el.$ Bei weiterer Drehung tritt jeder Halbring mit seinem vorderen Ende vor die Spitzen des betreffenden Saugkammes und verstärkt hier das Ausströmen der ungleichnamigen E. Letztere gleicht sich zum Teil mit der E. des Halbringes aus und versetzt dann die neutralisierte Stelle desselben in den entgegengesetzt $el.$ Zustand. Da Entsprechendes bei beiden Saugkämmen stattfindet, so bleibt die Scheibe während der Drehung in ihrer oberen Hälfte $+el.$, in ihrer unteren Hälfte $-el.$ Entfernt man schliesslich die Kugeln der beiden Konduktoren voneinander, so entsteht zwischen denselben ein ununterbrochener Funkenstrom, da dann der einen Kugel fortwährend $-E.$, der anderen $+E.$ zufließt und zwar in um so größerer Menge, je schneller die Scheibe A gedreht wird.

Die Influenz-Maschine übertrifft in ihrer Wirkung ganz bedeutend die Reibungs-Elektrisierungsmaschine und kann mit einer kleinen Anfangsladung durch fortdauernd stattfindende Influenz sehr beträchtliche E.s-Mengen erzeugen. Die Wirkung wird durch verschiedene, hier nicht beschriebene Nebenvorrichtungen noch verstärkt. Bemerkenswert sind die neuerdings sehr verbreiteten Influenz-Maschinen mit Selbstladung, bei denen durch Reibung von Metallknöpfen an Metallbürsten (erstere sind an der rotierenden Scheibe angebracht, letztere an den Kämmen) eine kleine Anfangsladung vermittelt wird, welche sich durch Influenzwirkung rasch verstärkt.

Die erste maschinenartige Vorrichtung, welche zur Entwicklung größerer Elektrizitätsmengen diente, wurde von Otto v. Guericke, Bürgermeister zu Magdeburg, 1560 hergestellt. Derselbe befestigte eine Schwefelkugel auf einer drehbaren Achse und gebrauchte die Hand als Reibzeug. Die erste vollkommnere, aus Scheibe, Reibzeug und Konduktor bestehende Elektrisierungsmaschine wurde erst ungefähr hundert Jahre später erfunden. Influenz-Elektrisierungsmaschinen (auch Elektrophor-Maschinen genannt) kennt man erst seit 1865 (erfunden von Holtz und gleichzeitig von Töppler).

Übungsstoff. Erkläre die Erscheinungen folgender Versuche:

1. Nähert man dem Konduktor der Elektrisierungsmaschine nacheinander a. eine mit der Erde leitend verbundene Metallkugel, b. eine isolierte Metallkugel von derselben Größe, c. das Ende eines Glas-, Sg.- oder Htg.-Stabes, so erhält man beim Drehen der Scheibe im 1. Falle kräftige, im 2. schwache und im 3. fast gar keine Funken. — 2. Verfährt man ebenso mit 2 ungleichdicken, nicht isolierten Metallkugeln, so erhält man bei gleichen Abständen durch die kleinere Kugel zahlreiche kleine Funken, durch die größere Kugel eine geringere Anzahl größerer Funken. Die Stärke der Funken nimmt mit der Schlagweite zu. Ein auf dem Konduktor befestigtes Pendel fällt bei jedem Funken um so mehr zurück, je stärker der Funke ist. (Bei der Erkl. ist die Stärke der Krümmung der Kugel und die Menge der E. zu berücksichtigen.) — 3. Auf den Konduktor gelegte leichte Kügelchen fliegen fort, sobald man die Scheibe dreht. — 4. Ein aus dünnem Blech bestehendes Kreuz (Fig. 161), dessen (gegen 5 cm lange) Arme in seitlich umgebogene Spitzen auslaufen, dreht sich auf dem Konduktor wie ein Reaktionsrad (sogen. $el.$



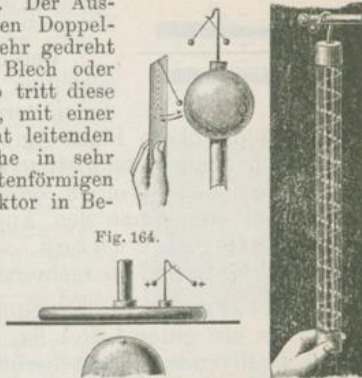
Fig. 161. Funken. Die Stärke der Funken nimmt mit der Schlagweite zu. Ein auf dem Konduktor befestigtes Pendel fällt bei jedem Funken um so mehr zurück, je stärker der Funke ist. (Bei der Erkl. ist die Stärke der Krümmung der Kugel und die Menge der E. zu berücksichtigen.) — 3. Auf den Konduktor gelegte leichte Kügelchen fliegen fort, sobald man die Scheibe dreht. — 4. Ein aus dünnem Blech bestehendes Kreuz (Fig. 161), dessen (gegen 5 cm lange) Arme in seitlich umgebogene Spitzen auslaufen, dreht sich auf dem Konduktor wie ein Reaktionsrad (sogen. $el.$

Flugrad). — 5. Hält man nahe vor den Konduktor ein nicht isoliertes Stück Blech, auf dem ein kleines Fadenpendel (mit Seidenfaden) hängt, so bewegt sich letzteres wiederholt mit großer Geschw. gegen den el. Konduktor hin und wieder zurück (Fig. 162). Der Ausschlag eines auf dem Konduktor angebrachten Doppelpendels wird dabei, wenn die Scheibe nicht mehr gedreht wird, immer kleiner. — 6. Isoliert man das Blech oder vertauscht man es mit einer Htg.-Scheibe, so tritt diese Ersch. nicht ein. — 7. Bringt man das obere, mit einer Metalleinfassung versehene Ende einer schlecht leitenden Glasröhre (Fig. 163) oder Glasscheibe, welche in sehr kurzen Abständen mit zahlreichen kleinen, rautenförmigen Stanniolblättchen beklebt ist, mit dem Konduktor in Berührung, während man das untere Ende mit dem Finger ableitend berührt, so springen zwischen sämtlichen Blättchen zahlreiche kleine Funken über. (Blitzröhre, Blitztafel.) — 8. Hält man die (nicht geriebene) Htg.-Scheibe des Elektrophors mit darauf liegendem Deckel nahe über den Konduktor (Fig. 164), so giebt ein auf dem Deckel befestigtes Doppelpendel (mit Leinenfäden) durch +E. einen Ausschlag, sobald die Maschine gedreht wird. — 9. Werden hierauf Scheibe und Deckel aus der el. Atm. entfernt, so erhält man, nachdem man den Deckel ableitend berührt und darauf von der Platte abgehoben hat, abermals einen Ausschlag, aber durch -E. — 10. Läßt man eine Person auf einen Isolierschemel treten (Brett mit Glas- oder Htg.-Füßen) und den Konduktor mit der Hand berühren, so erhält man einen Funken, wenn man irgend einem Körperteile der Person mit dem Fingerknöchel nahe genug kommt; dieselbe kann mit einer Fingerspitze das einem metallenen Brenner entströmende Leuchtgas entzünden, ihre Haare sträuben sich u. s. w.

Fig. 162.

Fig. 163.

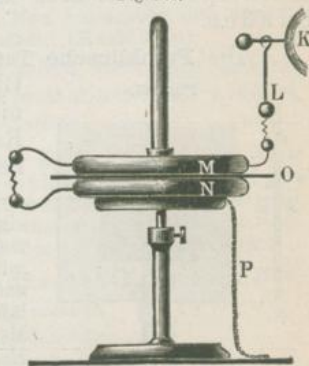
Fig. 164.



§ 47. Ansammlung von Elektrizität. Kondensatoren.

*Versuch a. Läßt man auf den Deckel des nicht elektrisierten Elektrophors, nachdem man den Teller desselben mit der Erde leitend verbunden hat, vom Konduktor der Elektrisiermaschine Funken überschlagen, so springen in größeren Pausen zwischen den Rändern der beiden Metallplatten an verschiedenen Stellen ebenfalls Funken über, welche weit kräftiger und bedeutend heller sind als jene. Wendet man zwei Metallplatten an, welche am Rande mit einem kugelförmig endigenden Drahtfortsatze versehen und durch eine Hartgummiplatte isoliert sind (M und N, Fig. 165), so läßt sich durch eine geeignete Stellung der Platten bewirken, daß die stärkeren Funken nur zwischen den Kugeln entstehen.

Fig. 165.



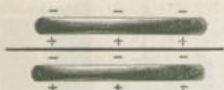
Apparate, welche aus zwei durch eine isolierende Schicht getrennten Leitern bestehen und dazu dienen, Elektrizität anzusammeln, heißen Kondensatoren¹⁾ (Verdichter).

¹⁾ condensare, dicht machen, verdichten.

Erkläre den el. Vorgang des obigen Versuches nach Anleitung der Fig. 166:

- a. für den Fall, daß der Apparat isoliert aufgestellt sei und keine Funken überspringen,
 b. für den Fall, daß die untere Platte wie oben mit dem Erdboden leitend verbunden ist und Funken überspringen. — Zur genaueren Erklärung diene folgender Versuch:

Fig. 166.



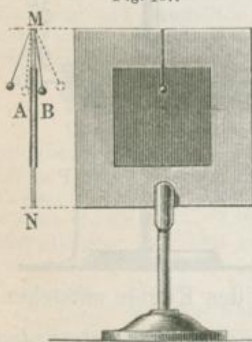
Versuch b. Ladet man den isoliert aufgestellten Kondensator wie vorhin, indem man die untere Platte dabei ableitend berührt, und hebt dann die obere Platte und hiernach auch die Htg.-Scheibe ab, so zeigen sich beide Metallplatten nur schwach el. und zwar die obere + el., die untere - el. Werden darauf beide Platten ableitend berührt, so erhält man, wenn man den Apparat wieder zusammensetzt, doch noch einen kräftigen Funken, selbst wenn man beide Seiten der Htg.-Scheibe abwechselnd in mehreren Punkten ableitend berührt hatte.

Erklärung: Die abgestoßene + E. der oberen Platte breitet sich, da letztere ein guter Leiter ist, auf der ganzen Fläche aus, in welcher sie die isolierende Schicht berührt; dasselbe gilt auch von der angezogenen - E. der unteren Platte. Beide Elektrizitäten sind derart gebunden, daß sie selbst durch das Abheben der Platten von der isolierenden Schicht nicht entfernt werden können. Bei beiden ist somit das Bestreben, sich wieder zu entfernen, sehr geschwächt. Infolgedessen läßt sich weit mehr E. ansammeln, als wenn die Spannung beim Laden des Kondensators ungeschwächt zunähme. Sobald die Spannung eine gewisse GröÙe erreicht hat, tritt durch die leitenden Platten zwischen den Kugeln eine el. Ausgleichung und damit eine plötzliche Entladung des Kondensators ein.

Während der Platten-Kondensator (Fig. 165) zerlegbar ist, sind bei der **Franklinschen Tafel** und der **Leydener Flasche** die beiden Metallplatten mit der isolierenden Schicht fest verbunden.

Die **Franklinsche Tafel** (Fig. 167) besteht aus einer isolierenden Glasscheibe, welche auf beiden Seiten mit Stanniol so beklebt ist, daß ein etwa 5 cm breiter Rand frei bleibt; dieser ist der besseren Isolierung wegen gefirnisset.

Fig. 167.



Um die Tafel mit E. zu laden, läßt man auf die eine Metallbelegung vom Konduktor der Elektrisiermaschine Funken überspringen, oder man bringt sie mit dem Konduktor in Berührung und berührt die andere Belegung ableitend. Zum Entladen der Tafel läßt sich ein isolierter (mit Guttapercha überzogener) Messing- oder Kupferdraht anwenden, welcher an jedem Ende mit einer Kugel versehen ist (**Auslader**, Fig. 169).

Bem. In Fig. 167 (links) ist auf beiden Seiten von MN angedeutet, welche Bewegungen zwei auf die Metallflächen herabhängende Pendel ausführen, wenn man die Metallbelegungen abwechselnd mit dem Finger berührt (allmähliche Entladung).

Die **Leydener Flasche** (Fig. 168, folg. Seite) ist ein Gefäß, das aus isolierendem Glase besteht und bis nahe zum oberen Rande in- und

auswendig mit Stanniol beklebt ist, während der freibleibende Rand gefirnisset wird. Im Deckel des Gefäßes ist ein Messingdraht befestigt, welcher oben eine Kugel trägt und unten durch eine bis auf den Boden hinabreichende Kette mit der inneren Metallbelegung in leitender Verbindung steht.

Die Flasche wird geladen, indem man den Knopf an den Konduktor der Elektrisiermaschine hält und die äußere Belegung mit der Hand berührt oder durch einen Draht mit dem Erdboden in Verbindung setzt. Die der inneren Belegung mitgeteilte Ladung (+E.) wirkt verteilend auf die äußere Belegung, zieht eine Ladung von -E. an und stößt +E. ab. Eine starke Ladung ist also nur möglich, wenn die Flasche mit der Erde in leitender Verbindung steht. (Nachweis durch einen Versuch, indem man die Flasche auf eine isolierende Unterlage stellt.) Besteht eine Flasche aus gut isolierendem Glase, so kann sie in trockenem und staubfreiem Zustande stundenlang geladen bleiben; finden jedoch die sich gegenseitig anziehenden Elektricitäten der inneren und äußeren Belegung einen Weg zur Ausgleichung, so erfolgt diese, indem mit lautem Knall ein heller Funke überspringt: **Funkenentladung** (*Entladung durch die Hand oder durch den Ausläufer* (Fig. 169); bei starker Spannung erfolgt auch oft eine *Entladung über den Rand der Flasche hinweg*, unter Umständen auch eine *Durchbohrung des Glases*, wodurch natürlich die Flasche unbrauchbar wird). Die Entladung kann jedoch auch allmählich erfolgen, indem die in großer Dichte angehäufte E. benachbarte Luftteilchen elektrisiert und diese, indem sie abgestoßen werden, einen Teil der Ladung mit fortführen.

Eine Flasche, die bereits entladen wurde, ergibt bei abermaliger Entladung einen zweiten schwächeren Funken und so fort bei wiederholter Entladung, namentlich wenn sie inzwischen einige Zeit sich selbst überlassen blieb. Es muß also in der Flasche ein Teil der Ladung zurückgeblieben sein, der wahrscheinlich am Glase haftete und nach der Entladung wieder in die Belegungen zurückkehrte (*Versuch mit einer zerlegbaren Flasche). Man bezeichnet den zurückgebliebenen Teil der Ladung als **elektrischen Rückstand (Residuum)**.

Um sehr starke elektrische Ladungen zu erhalten, stellt man mehrere Flaschen zu einer el. Batterie zusammen, indem man sowohl ihre inneren, als auch ihre äußeren Belegungen leitend verbindet.

Die Leydener Flasche wurde fast gleichzeitig von Kleist in Kammin (daher auch Kleistsche Flasche genannt) und von Musschenbroek und Cuneus in Leyden entdeckt (1745). Letzterer erhielt einen heftigen Schlag, als er eine halb mit Wasser gefüllte Flasche in der einen Hand hielt und mit der anderen Hand einen Nagel berührte, durch welchen el. Funken nach dem Wasser überschlugen.

Zur Ansammlung sehr geringer Mengen von E. dient der **Kondensator von Volta** (Fig. 170). Dieser besteht aus zwei kleinen messingenen oder kupfernen Platten, welche auf den beiden einander zugewandten Seiten mit einer dünnen, isolierenden Lack-schicht überzogen sind, und von denen die obere mit einer isolierenden Handhabe versehen ist.

Der Voltasche Kondensator wird gewöhnlich mit einem Goldblatt-Elektroskope verbunden, indem man die Kugel von letzterem entfernt und sie durch die untere Kondensatorplatte ersetzt; auf letztere wird die mit der Handhabe versehene Platte gestellt. Darauf bringt man den Körper, von welchem man vermutet, daß er el. sei, etwa

Fig. 168.

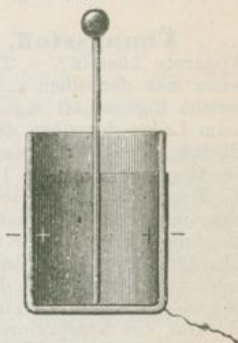
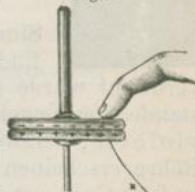


Fig. 169.



Fig. 170.

66:
gen,
dem
—auf-
man
und
so
el.,
so
och
tg-ch,
her
zo-
an-
len
re-
ich
on-
sse
eln
en-nd
en
r-len
un-
ter
so-die
er-
sie
die
fel
er)
em
(9).
ten
die
enn
cheus
nd

mit der unteren Platte in Berührung, indem man die obere Platte mit dem Finger ableitend berührt, und hebt schliesslich die obere Platte ab. Hat sich dabei genug E. in den Platten angesammelt, so geben die Goldblättchen beim Abheben der Platte einen Ausschlag.

Übungstoff. 1. Worin stimmt die Einrichtung der el. Ansammlungs-Apparate überein? — 2. Welchen Zweck hat die Htg.-Scheibe des Elektrophors, wenn man denselben a. als Elektrophor, b. als Kondensator anwendet? — 3. Durch welche Eigenschaft eignen sich die Metallplatten des Kondensators besonders dazu, beim Laden desselben die E. auf der isolierenden Platte schnell auszubreiten, beim Entladen den Abfluss der E. zu beschleunigen? — 4. Warum muß die Htg.-Scheibe des Kondensators (Fig. 165) größer sein als die Metallplatten? — 5. Warum dürfen die Metallplatten desselben hohl sein? — 6. Warum ist es unmöglich, in den Platten ohne isolierende Trennung derselben ebensoviel E. anzusammeln, als wenn sie zum Kondensator verbunden sind? — 7. Glas kondensiert leicht Wasserdämpfe auf seiner Oberfläche und wird dadurch leitend; durch einen Firnis-Überzug wird dem vorgebeugt. Inwiefern ist dies bei den betreffenden Kondensatoren berücksichtigt worden? — 8. Eine Franklinsche Tafel sei, ohne ableitend berührt zu werden, in die el. Atm. des Konduktors gebracht, sodafs sie sich noch außerhalb der Schlagweite derselben befinde. Welcher el. Vorgang wird dann eintreten? (Zeichnung!) — 9. Von welchen Bedingungen hängt die Stärke der Ladung einer Leydener Flasche ab? — 10. In welcher verschiedenen Weise kann dieselbe entladen werden? — 11. Warum ist bei dem Kondensator von Volta die isolierende Doppelschicht sehr dünn? — 12. Zweck der Doppelschicht?

§ 48. Die Wirkungen und die Dauer der elektrischen Entladung.

a. 1. Lichtwirkung. *Funkenentladung.* Versuch a. Der Entladungsfunke, wie er zwischen den Konduktoren einer Influenzmaschine im Dunkeln beobachtet werden kann, ist ein dünner, blendend heller Lichtstreifen. Vergrößert man den Abstand der Konduktoren auf einige cm, so wird der Entladungsfunke eine unregelmäßige Zickzacklinie, die merkwürdige Verzweigungen und Verästelungen zeigt, wenn man an dem einen Konduktor statt der Kugel eine größere Metallscheibe anbringt (vergl. § 49: Form des Blitzes).

Fig. 171.



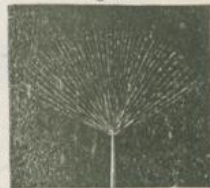
Die Länge und der Glanz des el. Funkens hängt von der Spannung und Menge der E., sowie von der Luftbeschaffenheit ab, die Farbe hauptsächlich von den Metallflächen, zwischen denen die Entladung stattfindet (Kupfer z. B. giebt grünliche, Eisen rötliche Funken). Eingehende Untersuchungen haben ergeben, dafs der Funke ebensowohl Teilchen der Metalle losreißt und verflüchtigt, wie er auch Luftteilchen ins Glühen versetzt.

Entladung in luftverdünnten Räumen. *Versuch b. Sind die Kugeln, zwischen denen die el. Ausgleichung stattfindet, in ein Glasgefäß eingeschlossen, in dem die Luft verdünnt wurde (el. Ei, Fig. 171), so entsteht auch bei größerem Abstände der Kugeln statt eines einzelnen Funkens eine schöne blafs-violette, verzweigte Lichtgarbe. In einer mit Wasserstoff gefüllten Röhre erscheinen die Funken karminrot, in Kohlensäure grünlichweifs, andere Gase erteilen den Funken wieder andere Farben. (Geißlersche Röhren.)

In verdünnter Luft und in verdünnten Gasen ist der el. Funke breit, bandförmig und bedeutend länger als in gewöhnlicher Luft, seine Farbe hängt von der Natur des Gases ab.

Büschel- und Glimmentladung. *Versuch c. Wird der + Konduktor im dunklen Zimmer stark geladen, so strömt die E. aus demselben in bläulichen oder violetten Lichtbüscheln (Fig. 172) aus; diese sogen. **Büschelentladung** ist stets von einem knisternden oder zischenden Geräusch begleitet und wird dadurch befördert, daß man dem Lichtbüschel in einiger Entfernung (sodafs keine Funken überschlagen können) einen guten Leiter, etwa die flache Hand, gegenüberhält. Wird der abgerundete Konduktor mit einer Spitze in Verbindung gebracht (zugespitzter Eisendraht, Holzstäbchen), so verschwindet der Büschel und es tritt ein ruhiges, gleichmäßiges Ausströmen der E. ein: **Glimmentladung**.

Fig. 172.



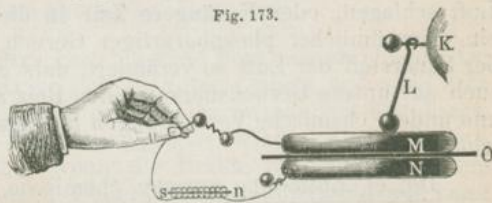
Auf Spitzen am — Konduktor entstehen Lichtpunkte.

Woraus erklärt es sich, daß diese Erschn. sich umkehren, wenn man die Spitzen den Konduktoren gegenüberhält, sowie daß die zu beiden Seiten der Scheibe angebrachten sogen. Saugspitzen die Licht-Ersch. des neg. Konduktors zeigen? Beobachtung der Erschn. an den Saugspitzen der Influenzmaschine!

Wenn auf einem Leiter angesammelte E. von starker Spannung sich nicht durch **Funkenentladung** ausgleichen kann, so tritt eine allmähliche Entladung durch **Büschel-** oder **Glimmlicht** ein; diese Lichterscheinungen sind nur im Dunkeln wahrnehmbar.

2. Magnetische Wirkung. Versuch d. In die Windungen eines überspannenen und schraubenförmig gewundenen Kupferdrahtes sei ein Stahlstäbchen gelegt (sn, Fig. 173). Befestigt man dann auf dem einen Ende des Drahtes eine Metallkugel und verbindet das andere Ende mit der unteren Platte des Kondensators, so wird das Stäbchen dadurch, daß man Funken auf die Kugel überschlagen läßt, magnetisch. In entgegengesetzter Lage des Stäbchens kehren sich die Pole durch wiederholte Entladungsschläge wieder um.

Fig. 173.



Eisen- und Stahlstäbe werden unter der Einwirkung eines in Windungen um dieselben geführten Entladungsschlages magnetisch.

Man hat ferner nachgewiesen, daß Entladungsströme von genügender Stärke, wenn sie an einer Magnetnadel parallel zur magnetischen Achse derselben vorbeigeführt werden, einen Ausschlag der Nadel bewirken.

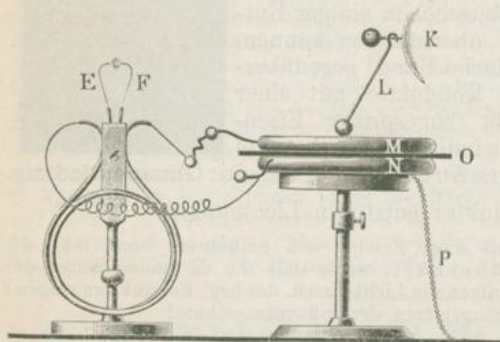
3. Elektrische oder Induktionswirkung. Man kann sich die Verbreitung der E. in einen Leitungsdraht so vorstellen, als ob die +E.

des Konduktors durch den Draht zum Reibzeuge, die — E. des Reibzeuges dagegen zum Konduktor flösse.

Werden zwei ungleichnamig el. Körper durch einen guten Leiter miteinander verbunden, so gleichen sich ihre Elektricitäten so aus, als ob die E. des einen Körpers durch den Leiter hindurch nach dem anderen flösse: **Elektrischer Strom.**

* Versuch e. Läßt man den Entladungsschlag des zerlegbaren

Fig. 174.



Kondensators oder einer stark geladenen Influenzmaschine durch einen mit Guttapercha umgebenen Kupferdraht hindurchgehen, mit welchem man einen anderen Kupferdraht so verbunden hat, daß beide Drähte parallel und isoliert nebeneinander liegen, so springt im Augenblicke der Entladung zwischen den einander genäherten Enden (E und F, Fig. 174) des Nebendrahtes ebenfalls ein kleiner Funke über. Hieraus folgt:

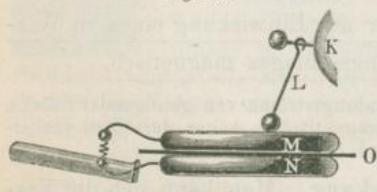
Der el. Entladungsstrom ruft in einer benachbarten, der Hauptleitung parallelen Nebenleitung eine el. Bewegung (**Induktionsstrom**) hervor, welche sich an der kurzen Unterbrechungsstelle der Nebenleitung durch einen kleinen Funken (**Induktionsfunken**) zu erkennen giebt.

4. Chemische Wirkung. Wenn wiederholt el. Funken durch die Luft schlagen, oder E. längere Zeit in die Luft ausströmt, so entsteht ein eigentümlicher phosphorartiger Geruch. Durch die E. wird nämlich der Sauerstoff der Luft so verändert, daß er stark oxydierend wirkt und auch auf unsere Geruchsnerven einen Reiz ausübt (Ozon¹). Salzlösungen und andere chemische Verbindungen lassen sich durch kräftige Entladungsschläge zersetzen.

Die el. Entladung vermag chemische Wirkungen hervorzubringen.

5. Mechanische Wirkung. *Versuch f. Dünnes Glas, ein Kartenblatt oder ein anderer schlechter Leiter wird beim Überschlagen eines

Fig. 175.



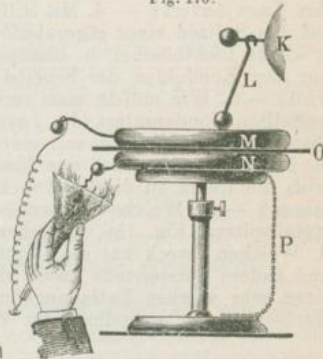
Funken durchbohrt (Fig. 175). Das Glas zeigt an der vom Funken getroffenen Stelle feine Risse, das Kartenblatt ein feines Loch, dessen Ränder nach beiden Seiten aufgeworfen sind. Flüssigkeiten werden durch kräftige el. Entladungen gewaltsam auseinander geschleudert.

¹) ὠζείν (ózein), riechen.

Körper, welche die Leitung der E. bei der Entladung unterbrechen, werden gewaltsam durchschlagen.

6. Wärmewirkung. *Versuch g. Läßt man den Entladungsfunken des Konduktors der Elektrisiermaschine oder eines Kondensators auf einen abgerundeten Leiter (Draht mit Kugel) überspringen, welcher von einer leicht entzündbaren Flüssigkeit (etwa Äther auf Baumwolle getropfelt) umgeben ist, so entzündet sich die Flüssigkeit durch den Funken (Fig. 176). — Dasselbe tritt auch ein, wenn man zwischen beiden Kugeln, während der Funke überschlägt, Leuchtgas oder Wasserstoffgas ausströmen läßt. — Sehr dünner Eisen- oder Platindraht läßt sich durch den Entladungsschlag zum Glühen bringen.

Fig. 176.



Bei der el. Entladung wird sowohl an der Unterbrechungsstelle, als auch im Leitungsdrahte des Entladungstromes Wärme erzeugt.

7. Physiologische¹⁾ Wirkung. Versuch h. Reichen mehrere Personen einander die Hände, so fühlt jede eine heftige Erschütterung in den Gelenken, wenn die erste Person ihren Körper mit der Kugel der einen Kondensatorplatte in leitende Verbindung bringt, und die letzte der anderen Kondensatorplatte etwa den Fingerknöchel soweit nähert, daß ein Funke überspringt.

Der Entladungsschlag übt auf die Nerven einen starken Reiz aus, welcher schmerzhaft Muskelzuckungen hervorruft.

b. Dauer der el. Entladung. Beliebige viele Personen empfinden den Entladungsschlag gleichzeitig, da er sich in guten Leitern auf nicht sehr weite Entfernungen hin mit unmeßbar großer Geschwindigkeit fortpflanzt. In sehr langen Drähten ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der el. Entladung geringer, besonders dann, wenn die Drähte weniger gut leiten. Von der außerordentlich geringen Dauer des Entladungsschlages kann man sich durch folgenden Versuch überzeugen.

Versuch i. Im verdunkelten Zimmer setzt man vor den Konduktoren einer Influenzmaschine eine Farbenscheibe in sehr schnelle Umdrehung. Wird dieselbe durch den Entladungsfunken beleuchtet, so scheint sie durchaus still zu stehen, wie schnell sie sich auch dreht; man erblickt ganz scharf die einzelnen Sektoren, während dieselben bei anderer Beleuchtung zu einer grauen Fläche verschmelzen.

Auch der Blitz ist von außerordentlich kurzer Dauer.

¹⁾ Physiologie, Lehre von der Thätigkeit der Organe.

Übungsstoff. 1. Man kann die Helligkeit von el. Funken dadurch erhöhen, daß man die Kugeln, zwischen denen der Funke überspringt, mit Qu. amalgamiert. Wie mag sich dies erklären? — 2. Man will im dunklen Zimmer über dem Konduktor der Elektrisiermaschine einen leuchtenden Ring hervorrufen. Welches Hilfsmittels kann man sich hierzu bedienen? Erkl.! — 3. Wie erklärt es sich, daß der Lichtbüschel, Fig. 172, der vor ihm ausgebreiteten Hand folgt, wenn man ihre Lage ändert? — 4. Mit Hilfe der Elektrisiermaschine soll bewirkt werden, daß auf den Spitzen eines sägezahnförmig ausgeschnittenen Stückes Papier im Dunklen a. kleine Lichtbüschel, b. Lichtpunkte erscheinen. Wie ist dies zu erreichen, wenn nur der Konduktor der Scheibe oder nur der Konduktor des Reibzeuges benutzt wird? — 5. Wie müßte man verfahren, wenn man statt des in obigen Figuren dargestellten Kondensators die Leydener Flasche benutzen wollte? — 6. In einer el. Pistole, d. h. einer vorn mit einem Stöpsel verschlossenen Blechröhre, soll durch den el. Funken ein Gemisch von Leuchtgas und atm. Luft entzündet werden. a. Wie muß die Röhre zu diesem Zwecke eingerichtet sein? b. Wie kann man dabei verfahren? — 7. Welche Lichterscheinung würde bei vollständiger Dunkelheit an den Metallspitzen, Fig. 156, entstehen, wenn die Scheibe aus Htg. bestände? Erkl.! — 8. Welchen Zweck hat die Umbüllung der Drähte in Fig. 174? — 9. Schießpulver und andere Sprengstoffe lassen sich trotz ihrer leichten Entzündbarkeit selbst durch einen sehr starken Entladungsfunken schwer entzünden. Schaltet man eine nasse Hanfschnur ein, so gelingt der Versuch leichter. Wie erklärt sich dies?

Elektrische Erscheinungen in der Atmosphäre.

§ 49. Gewitter. Blitzableiter. Nordlicht. Die Vermutung, daß Blitz und Donner eine Folge el. Entladungen seien, wurde erst durch die Untersuchungen Benjamin Franklins bestätigt, trotzdem sie schon früher ausgesprochen worden war. Franklin hatte beobachtet (1749), daß der Blitz fast alle Eigenschaften des el. Funkens besaß (Zickzackrichtung, schnelle Bewegung, Farbe des Lichtes, Leitung durch Metalle und Wasser, schwefelartiger Geruch u. s. w.); er liefs deshalb während eines Gewitters einen Papierdrachen steigen und entzog der Schnur, an die er einen Schlüssel gebunden hatte, zahlreiche Funken, besonders nachdem dieselbe nass geworden war. Ähnliche Versuche wurden nach Franklins Vorschlag von verschiedenen anderen Naturforschern angestellt; einer derselben, Richmann in Petersburg, hatte dabei das Unglück, von einem Blitzstrahl getötet zu werden.

Untersuchungen, welche man über die E. der Atmosphäre angestellt hat, haben ergeben, daß die freie Luft stets el. ist und zwar im allgemeinen im Winter stärker als im Sommer und bei heiterem Himmel immer +el.

Um durch einen *Versuch die Lufterlektrizität nachzuweisen, befestige man an dem Drahte eines Goldblattelektroskopes nach dem Abschrauben der Kugel einen Kupferdraht; auf die Spitze desselben steckt man ein Stückchen glimmenden Zündschwamm oder Sprengkohle und hält nun den Draht mittels einer Stange zum Fenster hinaus. Das Auseinandergehen der Blättchen zeigt den el. Zustand der Luft an, der sich schon bei geringen Höhenunterschieden steigert und bei wechselndem Wetter häufig ändert.

Als die wahrscheinliche Ursache der Lufterlektrizität betrachtet man die an der Erdoberfläche stattfindende Wasserverdunstung.

Wie die Luft eines Zimmers, in welchem eine Elektrisiermaschine arbeitet, mit E. geladen ist, so sind auch die Wolken gewöhnlich elektrisch und die starke Spannung, welche eintritt, wenn die kleinen Wasserteilchen zu Tropfen sich vereinigen, bewirkt in der Erdoberfläche unter der Wolke oder auch in benachbarten Wolken eine Ladung mit der entgegengesetzten E.

Nähert sich eine Gewitterwolke einer unel. Wolke oder Gegenständen der Erdoberfläche, so findet in diesen eine el. Verteilung statt. Es entsteht ein **Blitz**, indem die E. der Wolke sich mit der von ihr angezogenen ungleichnamigen E. plötzlich ausgleicht.

Hiernach ist der *Blitz sowohl nach seiner Form als nach seinen Wirkungen ein gewaltiger el. Funke und der Donner der Schall, welchen der Blitz durch die heftige Lufterschütterung verursacht.*

Der Blitz erscheint entweder als eine *zickzackförmige, hell leuchtende Linie*, welche meilenlang sein kann (**Linien- oder Zickzackblitz**), oder als eine *fast gleichmäßige Erleuchtung des ganzen Gewölkes (Flächenblitz)*. Im ersteren Falle hört man einen rasselnden Donner, im letzteren ein gleichmäßiges, allmählich abnehmendes Rollen. Mit Hilfe der Momentphotographie ist es gelungen, die Form der Blitzbahn genauer zu bestimmen; sie zeigt zahlreiche Verzweigungen, etwa wie ein Flusslauf mit seinen Nebenflüssen (§ 48, Versuch a). Da das Licht sich bedeutend schneller fortpflanzt als der Schall (900 000 mal so schnell), so ist die Zeit zwischen Blitz und Donner um so größer, je weiter der Blitz entfernt ist. Die Dauer des Blitzes ist so gering, daß es unmöglich ist, zu sagen, an welchem Ende er beginnt und nach welcher Richtung er schlägt, ob aus der Wolke nach der Erde oder umgekehrt; er dauert kaum $\frac{1}{100000}$ von einer Sekunde. Sehr schnell bewegte Gegenstände scheinen während des Blitzens in dunkler Nacht stillzustehen (§ 48, Versuch i). Die lange Dauer des Donners hat ihren Grund in der Länge des Blitzstrahles, da von entfernteren Punkten die Schalle später an unser Ohr gelangen als von näher gelegenen. Das Rollen des Donners und der eigentümliche Wechsel von Piano und Forte in demselben erklärt sich teils aus der gegenseitigen Verstärkung und Schwächung der Schalle, welche von einzelnen Teilen der Zickzacklinie des Blitzes ausgehen, teilweise auch aus der Reflexion des Schalles, welche durch Wolken, Bergwände u. s. w. bewirkt wird.*)

Blitze, deren Donner man wegen ihrer großen Entfernung nicht hören kann, rufen das sogen. **Wetterleuchten** hervor. — Nachts ist zuweilen während eines Gewitters auf den Spitzen der Türme, Blitzableiter, Mastbäume u. s. w. ein flammenartiger Schein wahrnehmbar, welcher durch das Ausströmen der E. entsteht (vgl. § 48, Versuch c). Diese Erscheinung wird **St. Elmsfeuer** genannt.

Die seltene Erscheinung der sogen. **Feuerkugeln (Kugelblitze)**, welche langsam auf die Erde herabsinken und sich oft noch eine Strecke weit an den Gegenständen fortbewegen, ohne diese zu beschädigen, dann aber mit heftigem

*) Vgl. II. Lehrstufe, § 95 (Interferenz).

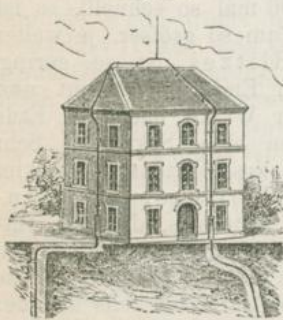
Knalle zerplatzen, ist noch nicht genügend erklärt. Indes ist es neuerdings gelungen, dieselbe durch Versuche nachzuahmen.

Die Erfahrung lehrt, daß hoch hervorragende Gegenstände am leichtesten vom Blitze getroffen werden. Der Blitz folgt dabei den besten Leitern; bei gleichguten Leitern schlägt er den kürzesten Weg ein. Reicht ein vom Blitze getroffener guter Leiter bis in den Erdboden hinab, so wird der Blitz dadurch in die Erde geleitet. Leitende Körper von geringer Stärke werden durch den Blitz stark erhitzt. Telegraphendrähte u. dgl. schmelzen gewöhnlich ab; brennbare Gegenstände werden vom Blitze leicht entzündet, wenn schlechte Leiter den Gang desselben verzögern. Findet letzteres nicht statt, so zündet der Blitz gewöhnlich nicht (sogen. kalter Schlag). Sind gute Leiter von schlechten Leitern unterbrochen, so springt der Blitz von einem Gegenstande zum anderen über; die schlechten Leiter werden häufig dabei durchbohrt oder zertrümmert. In sandigem Boden schmelzen die Sandkörnchen durch den Blitz bisweilen zu Röhren (Blitzröhren) von einigen cm Durchmesser und mehreren Metern Länge zusammen. Die Luft, durch welche der Blitz schlägt, kann bedeutende mechanische Wirkungen ausüben, z. B. Gegenstände mit fortreißen, Mauern verschieben u. s. w.

Entladet sich eine der Erde nahestehende el. Wolke plötzlich gegen eine höhere Wolke, so vereinigen sich die Elektrizitäten, welche durch die nähere Wolke in den Gegenständen der Erdoberfläche verteilt waren, wieder: es entsteht ein el. Rückschlag (vgl. § 45). Dieser wirkt bei genügender Stärke im Körper der Menschen und Tiere ähnlich wie der Blitz selbst.

Um ein Gebäude vor dem Blitzschlage zu schützen, wendet man einen **Blitzableiter** an (Fig. 177). Derselbe besteht aus einer auf dem Gebäude senkrecht befestigten Eisenstange, der sogen. *Auffangstange*, und einer am Gebäude hinabführenden eisernen oder kupfernen *Leitung*. Die Auffangstange endigt oben in eine oder mehrere Spitzen, welche stark vergoldet oder mit einem Platinkegel (neuerdings Kohlenspitze) versehen sind, damit sie sich an der Luft nicht verändern. Die Leitung reicht vom unteren Ende der Auffangstange bis in das Grundwasser oder in ein Gewässer hinab. — Erfahrungsgemäß hat der Schutzkreis eines Blitzableiters etwa

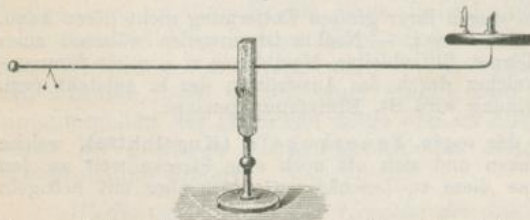
Fig. 177.



die Länge der Auffangstange zum Halbmesser.

Die Wirkungsweise eines Blitzableiters läßt sich leicht dadurch veranschaulichen, daß man nahe über die Spitze eines isolierten Kupferdrahtes (Fig. 178) etwa den + el. gemachten Deckel des Elektrophors hinwegführt. Ein am anderen Ende des Drahtes aufgehängtes Fadenpendel giebt dabei durch die abgestoßene, gleichnamige E. einen

Fig. 178.



dadurch veranschaulichen, daß man nahe über die Spitze eines isolierten Kupferdrahtes (Fig. 178) etwa den + el. gemachten Deckel des Elektrophors hinwegführt. Ein am anderen Ende des Drahtes aufgehängtes Fadenpendel giebt dabei durch die abgestoßene, gleichnamige E. einen

Ausschlag. Wird der Draht ableitend berührt, so findet eine allmähliche Entladung des Deckels statt. Erklärung!

Die Wirkung eines Blitzableiters erklärt sich somit daraus, daß die aus der Spitze desselben strömende E. sich mit der E. der Wolke langsam vereinigt, wodurch die Wolke allmählich entladen wird. Springt dennoch auf den Blitzableiter ein Funke über, so erfolgt dies, da der Blitzableiter mit der Erde in leitender Verbindung steht, ohne nachteilige Wirkung für das Gebäude.

In neuester Zeit stellt man Blitzableiter aus einem etwa 8 mm dicken Kupferdrahte oder einem aus 10—12 dünneren Kupferdrähten bestehenden Drahtseile her. Bei Anwendung von Eisen werden dickere Drähte benutzt. Zur Erhöhung des Schutzes soll der Blitzableiter mit dem Gebäude, sowie mit allen darin oder daran befindlichen größeren Metallmassen (eisernen Treppen, Dachrinnen, Gas- und Wasserleitungsröhren u. s. w.) leitend verbunden sein, damit alle während eines Gewitters im Gebäude angesammelte E. durch den Blitzableiter entfernt werden kann. Noch wichtiger ist die Erdleitung. Damit durch das weniger gut leitende Erdreich oder Grundwasser die E. genügend abgeleitet wird, muß das untere Ende des Blitzableiters eine große Oberfläche haben (Verbindung mit einer mindestens $\frac{1}{2}$ qm großen Kupferplatte, einem starken Drahtnetz oder dergl.) Der Blitzableiter darf nirgends unterbrochen sein.

Der Blitzableiter ist eine Erfindung Franklins, welcher durch die von ihm entdeckte „Kraft der Spitzen“ darauf geführt wurde, dieselbe der Menschheit nutzbar zu machen.

Vorsichtsmaßregeln. Befindet man sich während eines starken Gewitters außerhalb des Hauses, so halte man sich nicht in der Nähe von allein stehenden hohen Gegenständen (Bäumen, Telegraphenstangen u. dgl.) auf; ist das Gewitter sehr nahe, so bleibe man nicht in aufrechter Stellung. Im Zimmer halte man sich nicht in der Nähe von Metallmassen (Ofen, Kronleuchter u. dgl.) auf. Um bei etwaigem Einschlagen des Blitzes durch den starken Dunst nicht betäubt zu werden, welcher durch die Verwandlung des atm. Sauerstoffs in Ozon und die Verbindung von Stickstoff und Sauerstoff zu salpetriger Säure entsteht, öffne man Thür oder Fenster.

Das Nordlicht ist eine in den Polarländern fast jede Nacht vorkommende Erscheinung. Dasselbe bildet gewöhnlich einen Lichtbogen, welcher einen dunklen Kreisabschnitt des nördlichen Himmels umsäumt und in beständiger flackernder Bewegung ist. Vom Lichtbogen schießen in der Richtung der Radien des Kreises, welchem der Bogen angehört, nach allen Seiten glänzend gelbe, rote oder violette Strahlen, deren Größe und Gestalt beständig wechselt, mit großer Geschwindigkeit empor. Das Auftreten der Nordlichter, welche sich unter Umständen über den ganzen Himmel ausdehnen, ist gewöhnlich von einer auffallenden Beunruhigung der Magnetnadeln begleitet (sogen. *magnetische Stürme*). In der Häufigkeit der Nordlicht-Erscheinungen hat man eine *Periode von 11½ Jahren* entdeckt, die mit der *Sonnenfleckenperiode* übereinstimmt. Das Nordlicht ist wahrscheinlich eine Wirkung el. Entladungen in den oberen Luftschichten.

Übungsstoff. 1. Wodurch hat die el. Spitzenwirkung eine sehr nützliche Anwendung erfahren? — 2. Die Spannung der E. des Konduktors der Elektrisiermaschine nimmt ab, wenn man einen beblätterten Zweig darauf befestigt, und zwar am meisten, wenn die Blätter stark behaart sind. Welche Bäume kommen hiernach in ihrer Wirkung dem Blitzableiter wohl am nächsten, und was lehrt die Erfahrung in dieser Hinsicht? — 3. Um seitliche Entladungen zu verhüten, sollen Blitzableiter, sowie die zur Befestigung dienenden Metallteile frei von Kanten und Ecken sein; w.? — 4. Warum muß ein Eisendraht dicker sein als ein Kupferdraht, wenn er als

Blitzableiter dienen soll? — 5. Durch Blitzableiter, welche nicht bis in das Grundwasser oder irgend ein Gewässer hinabreichen, wird die Gefahr beim Gewitter erhöht; w.? — 6. Desgl., wenn die Spitze abgestumpft oder die Leitung irgendwo unterbrochen ist; w.? — 7. Man hört oft sagen, der Blitzableiter ziehe den Blitz an. Ist dies richtig? Grund! — 8. Die First eines Daches sei 18 m lang, wie hoch mindestens muß dann die Auffangstange des Blitzableiters sein? — 9. Der menschliche K. leitet die E. besser als Holz und Gestein. Was ist daher wahrscheinlich, wenn jemand beim Gewitter unter einem Baume oder an einer Mauer Schutz sucht, und diese vom Blitze getroffen werden? — 10. Zweck der Metallspitze, der Hanfschnur, des Schlüssels und der Seidenschnur am Franklinschen Drachen? — 11. An den Ecken und Kanten von Metalldächern zeigt sich nachts bei starkem Gewitter bisweilen ein Lichtschein. Erkl.! — 12. Warum kann man nachts während des Blitzens nicht sehen, daß ein Vogel fliegt, die Räder eines fahrenden Eisenbahnwagens sich drehen u. s. w.? — 13. Welchen Einfluß muß es auf den el. Zustand niedrig stehender Gewitterwolken ausüben, wenn diese über hohe Rauchsäulen hinwegziehen? — 14. Man findet die Entfernung des nächsten Punktes der Blitzbahn, wenn man die Sekundenzahl, die zwischen Blitz und Donner vergeht, mit 340 multipliziert; w.? — 15. Wie weit ist ein Gewitter von uns entfernt, wenn zwischen Blitz und Donner 10 Sek. verstreichen?

VIII. Abschnitt.

Rückblick.

§ 50. Aufgabe der Physik. Um die Naturerscheinungen, d. h. die Veränderungen, welche die Körper erleiden, wenn sie der Einwirkung von Kräften ausgesetzt sind, genauer kennen zu lernen, verfährt man, wie aus allem bisher Angeführten hervorgeht, in zweifacher Weise. Entweder beobachtet man die Körper, während ihr Zustand sich ändert, in der Natur selbst, oder man stellt, um die Veränderungen leicht und sicher wahrnehmen zu können, Versuche an, d. h. man ruft die Erscheinungen absichtlich hervor. Wir machten dabei stets die Bemerkung, daß die Erscheinungen nur unter gewissen Bedingungen eintraten.

Unter welchen Bedingungen zeigten sich z. B. die Erscheinungen, daß ein Hebel belastet im Gleichgewicht ist, daß ein Echo entsteht, daß ein gerader Stab gebrochen aussieht, daß das Quecksilber im Thermometer steigt oder fällt, daß ein Stab von Eisen oder Stahl leicht bewegliche eiserne Gegenstände anzieht und festhält, daß zwei Glas-, Hartgummi- oder Siegellack-Stäbe einander abstofsen?

Die Bedingungen aufzufinden, unter welchen eine Naturerscheinung eintritt, ist für alle Naturkenntnis von größter Wichtigkeit. Hat man den Zusammenhang jener Bedingungen erkannt, so sucht man einen kurzen sprachlichen oder mathematischen Ausdruck dafür, den man **Gesetz** oder, da sein Inhalt sich auf Naturerscheinungen bezieht, **Naturgesetz** nennt. So hat man z. B. als Gesetz für die Gleichgewichtsbedingung des Hebels gefunden, daß die beiden veränderlichen Größen, durch welche das Gleich-

gewicht des Hebels bestimmt wird, nämlich die Größe der auf den Hebel einwirkenden Kräfte und die Länge der Hebelarme dieser Kräfte, in der Weise voneinander abhängen, daß die Kraft sich zur Last verhalten muß, wie der Lastarm zum Kraftarm sich verhält. Man kann demnach sagen:

Unter „Naturgesetz“ versteht man einen kurzen Ausdruck, welcher den Zusammenhang der Bedingungen angiebt, unter denen eine Naturerscheinung eintritt.

Ausdrücke, wie: Jeder Körper nimmt einen Raum ein (§ 2), oder: Alle Körper der Erde sind schwer (§ 4), werden, sofern sie in kurzen Worten eine allen oder doch vielen Körpern gemeinsame Erscheinung ausdrücken, auch wohl als *Gesetze* bezeichnet.

In allen Fällen strebt man danach, die Naturerscheinungen auf ihre Ursachen zurückzuführen. Oft stehen mehrere Erscheinungen in einem solchen Zusammenhange, daß man die eine als die Ursache der anderen ansehen kann. Man kann z. B. sagen, die Spannung der Schnur des Lotes (Fig. 7) erkläre sich aus dem Zuge des aufgehängten Körpers, der Zug aus der Schwerkraft; die Erscheinung, welche die Messingkugel (Fig. 108) nach ihrer Erwärmung zeigte, erkläre sich aus der Ausdehnung der Kugel, die Ausdehnung aus der Aufnahme von Wärme u. s. w. Die Schwerkraft und die Wärme sind in diesen Fällen die letzten, nicht mehr wahrnehmbaren Ursachen, auf welche diese beiden Erscheinungen sich zurückführen lassen. Die sinnlich nicht mehr wahrnehmbaren Ursachen der Erscheinungen oder der Veränderungen, welche die Zustände der Körper erfahren, haben wir **Kräfte** genannt.

Eine Erscheinung auf ihre Ursache zurückführen, heißt die Erscheinung erklären.

Die Eigenschaften der Naturkörper sowie die Gesetze und Ursachen der Naturerscheinungen zu erforschen, ist die Aufgabe der Naturlehre.

Die Naturlehre zerfällt in **Physik** und **Chemie**. Die Chemie untersucht Erscheinungen, welchen eine Änderung des Stoffes zu Grunde liegt (*Wesensänderung*), z. B. das Rosten des Eisens, das Verbrennen des Holzes u. s. w., die Physik dagegen Erscheinungen, welche ohne Änderung des Stoffes vor sich gehen (*Zustandsänderung*). Da z. B. beim Schmelzen des Eisens, beim Verdampfen des Wassers, beim Tönen einer Stimmgabel oder einer Saite, beim Magnetisieren von Eisen oder Stahl u. s. w. zwar der Zustand, in welchem der betreffende Körper sich befindet, eine Änderung erleidet, diejenigen Eigenschaften aber, welche den Stoff des Körpers kennzeichnen, sich nicht ändern, so gehören diese Erscheinungen in das Gebiet der Physik.

Übungsstoff. 1. Nenne Eigenschaften, welche a. allen, b. nur gewissen K. zukommen. — 2. Ferner Anziehungs- und Abstofsungskräfte. Erschn.! — 3. Wodurch läßt sich die Wirkung von Druck- und Zugkräften erhöhen? Gesetze! — 4. Wodurch unterscheidet sich der Druck fester K. vom Drucke der flüssigen und

luftförmigen K.? — 5. Führe Beispiele an über die Anwendung des Druckes von W. und Luft. — 6. Durch welche Art der Bewegung entsteht der Schall? — 7. Durch welches Organ können solche Bewegungen empfunden werden? — 8. Mit welcher Geschw. pflanzt sich diese Bewegung in der Luft fort? Echo? — 9. Wovon ist (nach § 22) die Höhe der Töne abhängig? — 10. Welche Vorgänge können eintreten, wenn K. von Lichtstrahlen getroffen werden? — 11. Gesetze über die Fortpflanzung und Richtungsänderung der Strahlen? — 12. Führe Erschn. dazu an. — 13. Welche Kräfte lassen sich durch Reibung eines K. erregen, und wie ist dies nachzuweisen? — 14. Was veranlafte die Annahme zweier Magnetismen und zweier Elektricitäten? — 15. Nenne Wirkungen a. der Wärme, b. des Magnetismus, c. der E. — 16. Welche Unterschiede traten hervor in Bezug auf die Leitung a. der Wärme, b. der E.? — 17. Entstehung von Bewegungserscheinungen, welche in Flgkn. und Luft durch Wärme hervorgerufen werden. — 18. Entstehung von atm. Niederschlägen! — 19. Instrumente zur Messung des Wärme- und des el. Zustandes eines K.! — 20. Vgl. die Spannung von Dämpfen mit der el. Spannung. — 21. Inwiefern ist bei E.s-Leitern die el. Spannung von der Gestalt der K. abhängig? — 22. Welches Mittels bedient man sich, um bei der Ansammlung von E. die Spannung der E. zu vermindern? Vorteil? — 23. El. Erschn. in der Atmosphäre? Entstehung! — 24. Erkläre die schützende Wirkung des Blitzableiters.
