Zeitschrift: Schweizerische pädagogische Zeitschrift
Band: 24 (1914)
Heft: 3-4

Artikel: Physikalische Schülerübungen in der Sekundarschule
Autor: Gubler, Th.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-789254

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 04.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Physikalische Schülerübungen in der Sekundarschule.

Von Th. Gubler, Sekundarlehrer in Andelfingen.

Vorwort.

Die vorliegende Arbeit ist das Ergebnis eines Versuches, die physikalischen Schülerübungen in der Sekundarschule als Bestandteil des Unterrichtes durchzuführen. Als Versuch wünscht sie beurteilt zu werden. Dass sie jetzt schon der Oeffentlichkeit übergeben wird, liegt namentlich darin begründet, dass an der Landesausstellung in Bern die Ausrüstung einer Schülergruppe ausgestellt wird, und damit den Kollegen, die sich für diese Art des Unterrichtes interessieren, Gelegenheit gegeben ist, die verwendeten Hülfsmittel kennen zu lernen. Die Erfahrungen, die während drei Jahren in je zwei Klassen gemacht wurden, sind derart, dass am Ausbau der Übungen weiter gearbeitet wird. Bis jetzt sind die Abschnitte Schall und Licht noch nicht in die Übungen einbezogen worden; nicht weil sich diese Gebiete hiefür weniger eignen würden, sondern weil zu deren Durchführung Zeit und Mittel fehlten; dann muss irgendwo abgebrochen werden und eine kürzere Fassung dieser Gebiete war am ehesten zu verantworten. Leider war es aus finanziellen Gründen auch nicht möglich, jetzt schon Messversuche in der Elektrizität aufzunehmen. Billige Messapparate, auch die selbstverfertigten, geben keine genauen Resultate; die Versuche mit denselben beweisen deshalb meistens wenig oder wirken geradezu verwirrend. Für die Anschaffung von guten Messinstrumenten in Mehrzahl fehlte der Kredit. Messversuche mussten deshalb wie bisher als Demonstrationsversuche vor der Klasse ausgeführt werden.

Von vornherein hat es nicht die Meinung, dass sämtliche Versuche, die im Unterricht vorkommen, den Schülerübungen zugewiesen werden sollen. Nicht alle eignen sich hiefür schon um der hiezu nötigen Apparate willen, wie die Versuche mit der Luftpumpe, andere verlangen manuelle Geschicklichkeit, die sich der Schüler nicht aneignen kann; Versuche mit Quecksilber sind aus verschiedenen Gründen auszuschalten. Es wäre eine Leichtigkeit gewesen, eine ganze Reihe sogenannter Freihand-

versuche unter die Schülerversuche aufzunehmen; allein sie lassen sich nicht immer in eine Folge von Versuchen einreihen, welche die Klasse einige Zeit in Anspruch nimmt. In der Zusammenstellung der Übungen wurde namentlich darauf Rücksicht genommen, dass Versuchsreihen entstehen, die mit den gleichen Apparaten durchgeführt werden können. Nur wenige Versuche stehen vereinzelt da. Es ist selbstverständlich, dass auch bei einem Unterricht mit Schülerübungen an das Beobachtungsmaterial angeknüpft und dieses, so weit es möglich ist, ausgewertet wird. Die Klasse wird im Unterricht auch hier so geleitet, dass sie die Notwendigkeit des Versuches einsieht und in vielen Fällen selbst findet, wie er durchzuführen ist. Am Schluss der Unterrichtsstunde, die einer Übung vorangeht, wird diese so weit vorbereitet, dass die Schüler mit Beginn der Übung genau wissen, was zu tun ist. Die Schülerübungen treten also nicht regelmässig auf und stehen nicht im Stundenplan, sie werden da eingereiht, wo sie notwendig sind. Es gibt Abschnitte, die reichlich Gelegenheit zu Übungen geben, während sie zeitweise ausfallen. Am Schluss der Übung oder zu Beginn der folgenden Stunde werden die Ergebnisse formuliert und schriftlich fixiert. Im Anfang, da diese Art der Darstellung den Schülern noch neu ist, können die Ergebnisse diktiert werden, später wird die Zusammenfassung eigene Arbeit der Schüler sein. Wenn das Lehrmittel die Ergebnisse enthält, kann auch, um die Schüler nicht zu überlasten, auf schriftliche Ausarbeitung verzichtet werden.

Die Versuchsreihen sind nicht so zu verstehen, dass sie für eine Unterrichtsstunde zugeschnitten seien. Manche beanspruchen für ihre Durchführung keine Stunde, andere werden über zwei Stunden ausgedehnt werden. Der Rest einer nicht ganz beanspruchten Stunde wird zur schriftlichen Verarbeitung oder zur Weiterführung des Unterrichtes benützt werden. In der Anleitung wird, wo es möglich ist, den Versuchen, oder Gruppen solcher, ein Titel gegeben. Dieser ist selbstredend nur für den Lehrer da. Was der Titel oft sagt, soll der Schüler erst durch die Übung finden. Die Befehlsform wurde gewählt, da sie erlaubte, kurz zu sein. Einzelne Übungen sind etwas ausführlicher ausgearbeitet, um zu zeigen, wie Übung und Unterricht miteinander verbunden werden können.

Kollegen, die Versuche mit Schülerübungen anstellen wollen, werden wohl über die Verhältnisse, unter denen sie hier vor-

genommen wurden, Aufschluss wünschen. Die II. Klasse, mit der die Übungen in Mechanik und Wärme durchgenommen worden sind, zählt 40 bis 45 Schüler. Es ist dies nicht bloss für Schülerübungen eine zu grosse Zahl; aber eine Teilung der Klasse ist nicht wohl durchzuführen. Die Apparate für diese Klasse sind 11—13-fach vorhanden, so dass 3 bis 4 Schüler eine Gruppe bilden. Als Unterrichtsraum dient das Schulzimmer; die Versuche müssen auf dem obern, ebenern Teil der Schulbänke gemacht werden. Die III. Klasse, in der (neben chemischen Übungen) die Übungen in Magnetismus und Elektrizität vorgenommen werden, ist kleiner; sie zählt 12—25 Schüler. Die Apparate sind achtfach vorhanden, 2 bis 3 Schüler bilden eine Gruppe. Diese Klasse ist auch darin besser gestellt, als im Schulzimmer grosse, ebene Tische zur Verfügung stehen.

Bei der Beschaffung des Materials hiess es, sich nach der Decke strecken und so viel Apparate als immer möglich selber herstellen. Schüler wurden hiezu nur in bescheidenem Masse beigezogen. In den Unterrichtsstunden ist für Herstellung von Apparaten keine Zeit und zu freiwilliger Arbeit neben der Schule hätten bloss Teile der Klasse zugelassen werden können. Es handelte sich also darum, die Apparate in möglichst einfacher Form in Verbindung mit den Handwerkern des Dorfes herzustellen. In dieser Tätigkeit fand ich wertvollen Rat und werktätige Hülfe von meinem Kollegen Herrn Rutishauser, dem auch an dieser Stelle der verbindliche Dank ausgesprochen sei. Auch in den Apparaten, die angekauft werden mussten, hiess es sich bescheiden. Am meisten fällt dies vielleicht bei der Wage auf. Immerhin erlaubt diese Wage eine Genauigkeit bis 20 mg und sie ist solid gebaut.

Soll der Betrieb der Schülerübungen ohne zu grosse Reibungsverluste vor sich gehen, so ist peinliche Ordnung notwendig. Jede zusammengehörende Apparatengruppe ist in einem passenden Kistchen aufzubewahren, das eine Aufschrift trägt, so dass nicht lange gesucht werden muss. Vor der Übung werden alle Apparate bereit gestellt. Die „Einer“ der Gruppen treten vor und erhalten einen Apparat, dann kommen die „Zweier“ etc. Bei der Rückgabe hat jeder Schüler den bezogenen Apparat zurückzubringen. Trotz der grossen Schülerzahl und der ungünstigen Tische ist in drei Jahren nur ein Fläschchen zerbrochen worden, und auch hier konnte dem Schüler keine Schuld beigemessen werden. Im

Betrieb verursachen die physikalischen Schülerübungen fast gar keine Ausgaben, es handelt sich in der Hauptsache um eine erstmalige Ausgabe, die auf mehrere Jahre verteilt werden kann.

Eine Schwierigkeit bereitet die Beschaffung der elektrischen Kraft für eine ganze Klasse. Die wenigsten Schulen sind in der Lage, Umformer- und Schaltanlagen benützen zu können. Wenn am Ort Akkumulatoren geladen werden können, ist eine Akkumulatorenbatterie sehr zu empfehlen. Für die meisten Versuche benützen wir den Lichtstrom — Wechselstrom von 200 Volt Spannung. Er wird durch den Transformator der Projektionslampe auf etwa 50 Volt herabtransformiert. Diesen Strom schicken wir durch den Grätz'schen Gleichrichter. Der erhaltene Gleichstrom ist allerdings pulsierend und kann für Induktionsversuche nicht verwendet werden, wohl aber für elektromagnetische, Wärme-, Licht- und chemische Wirkungen. Der Strom wird vom Gleichrichter aus in Verteilerschienen geführt, die auf der Mitte der Tische liegen und an welche die Schüler ihre Apparate anschliessen.

Die Disziplin ist in einer Schülerübung nicht die gleiche wie in einer andern Stunde. Absolute Ruhe ist unmöglich. Namentlich im Anfang, bis die Klasse an diese neue Art zu arbeiten gewöhnt ist, herrscht etwas Unruhe, die meistens von übergrossem Eifer herrührt. Die Schüler müssen erst lernen, innerhalb einer Gruppe möglichst wenig störend zu sprechen, die Beobachtungen auszutauschen, sich zu korrigieren, Vorschläge zu machen, ihrer Freude über das Gefundene Ausdruck zu geben etc. Später vollzieht sich der Verkehr in der Klasse ruhiger. Absichtliche Störungen kommen in einer gut disziplinierten Klasse nicht vor.

Die physikalischen Schülerübungen stellen auch sonst an den Lehrer grössere Anforderungen als der bisherige naturkundliche Unterricht. Der Eifer, mit dem er die Klasse arbeiten sieht, die grössern Erfolge im Unterricht, die Beobachtung, dass die Schüler im Hantieren mit den Apparaten eine gewisse Sicherheit erlangen, werden ihm Entschädigung für den grössern Kraftaufwand sein.

I. Mechanische Physik.

1. Das Lot.

MATERIAL. Sämtliche Schüler erhalten 3 Anhängegewichte und ein ca. 60 cm langes Stück Nähfaden mit einer Schleife am einen Ende.

AUSFÜHRUNG. 1. Die vertikale Richtung. Hängt in die Schleife des Fadens ein Anhängegewicht und fasst das andere Ende zwischen Daumen und Zeigfinger. Was beobachtet ihr? (Der Faden ist gestreckt, in der Hand verspüren wir einen Zug.) Vergleicht die Richtung der Fäden. Was wird eintreten, wenn der Faden reisst, oder zerschnitten wird? (Das Gewicht fällt in der Richtung des Fadens. Senkrechte, vertikale Richtung.) Hängt ein zweites, ein drittes Gewicht an. Beobachtung. (Der Zug ist grösser, der Faden straffer.)

2. Schwerkraft. Legt die Anhängegewichte auf die Hand. Beobachtung. (Wir verspüren einen Druck.) Erkenntnis: (Die Körper haben das Bestreben, der Erde zuzufallen. Auf eine Unterlage üben sie einen Druck aus, wir nennen ihn Gewicht. Aus diesem Verhalten der Körper schliessen wir auf eine uns unbekannte Ursache: Die Erde zieht die Körper an, sie besitzt Anziehungskraft oder Schwerkraft. Das Gewicht der Körper ist eine Wirkung dieser Kraft.)

Warum hat das Pendel die Richtung nach dem Erdmittelpunkt? (Mittelrichtung zwischen allen ziehenden Kräften.) Sind Lote, die weit von einander entfernt sind, parallel? Warum ist ein hohes Gebäude oben nicht nachweisbar weiter als unten? Was ist unten, was oben auf der Erde? Warum können die Körper nicht von der Erde wegfallen? Stellt auf der Wandtafel das Grössenverhältnis der Erde und der Alpen im Masstab 1 : 10,000,000 dar.

3. Verwendung des Lotes. Prüft mit dem Lot die Richtung von Kanten am Getäfel, an den Fensterrahmen.

DER APPARAT. Anhängegewichte (siehe die Fig. 2, 5, 6, 7, 8) kann man in folgender Weise selbst herstellen: Man zerschneidet Bleirohr von 9 mm Lichtweite und 2 mm Wandstärke mit einer Metallsäge in Stücke von etwa 4 cm Länge. In diese treibt man Holzkerne, in welche auf beiden Seiten je eine offene Ringschraube geschraubt wird. Mit dem Messer wird von Blei und Holz abgeschnitten, event. ein Nagel ins Holz getrieben, bis alle

Anhängegewichte einem als Normalgewicht dienenden an Gewicht genau gleich sind. Um den Gewichten ein schöneres Aussehen zu geben, können sie mit schwarzem Lack überzogen werden.

Die Anhängegewichte dienen ferner zur Ableitung der Hebelgesetze, der Gesetze von Rollen und Flaschenzug und beim Parallelogramm der Kräfte; sie finden ferner Verwendung bei der Einführung in das Wägen. Bei den Versuchen mit dem Hebel bedarf jede Gruppe zwei Anhängegewichte mit Schleifen aus Nähfaden oder Metalldraht; letzterer muss beim Austarieren mitberücksichtigt werden. Auf eine Gruppe sollten etwa 15 Anhängegewichte vorhanden sein.

2. Die Setzwage.

MATERIAL. Setzwage. Reissbrett. Kleine Holzkeile.

AUSFÜHRUNG. 1. Beschreibt die Setzwage. Welche Lage hat die Hypotenuse, wenn das Lot mit ihrer Mitte zusammenfällt? Prüft mit der Setzwage die Lage von Tischfläche, Boden. Genügt eine Feststellung zur Prüfung der Lage einer Fläche? Versucht, ein Reissbrett vollkommen horizontal zu legen, indem ihr Keile unter das Brett schiebt.

2. Verwendung der Setzwage zum Messen des Gefälles in Graden. Bringt die Hypotenuse immer mehr aus der wagrechten Lage und vergleicht in mehreren Lagen den Winkel zwischen der Mittellinie und dem Faden des Lotes mit dem Winkel zwischen der Hypotenuse und der Horizontalen. Auf der linken Hälfte der Setzwage bemerkt ihr eine Gradeinteilung. Welche Neigung in Graden hat die Hypotenuse, wenn das Lot über den Teilstrich 25° weggeht? Messt die Neigung der Tischfläche euerer Schulbank. In welcher Richtung müsst ihr messen?

3. Verwendung der Setzwage zum Messen des Gefälles in Prozenten. Auf der rechten Hälfte seht ihr eine Einteilung zum Messen des Gefälls in Prozenten. Diese Einteilung soll geprüft werden. Messt den Radius des Bogens (15 cm), ferner den Abstand des Teilpunktes bei 10 % von der Mittellinie (1,5 cm). Die Senkrechte ist 10 % der Länge. Welches Gefälle in Prozenten hat somit die Hypotenuse, wenn das Lot über den Teilstrich 10 % weggeht? Prüft weitere Teile der Einteilung. Messt das Gefälle euerer Bank in Prozenten. Messt in Graden und Prozenten das Gefälle des Treppengeländers, des Strassenbordes, eines Abhanges.

Die Vitznau-Rigibahn hat ein maximales Gefälle von 25 %, die Pilatusbahn ein mittleres Gefälle von 42 % und ein maximales Gefälle von 48 %, die Stanserhornbahn ein maximales Gefälle von 63 %. Haltet die Setzwage so, dass die Hypotenuse diese Gefälle angibt. Vergleicht diese Gefälle mit den von euch gemessenen Gefällen.

DER APPARAT. Setzwagen kann man aus (gebrauchten) Winkeln herstellen. Auf der Höhe des Dreiecks, in der Nähe des Scheitelpunktes des rechten Winkels wird ein kleiner Nagel eingeschlagen und an diesen ein kleines Lot befestigt. Für die Kugel desselben wird in der Mitte der Hypotenuse ein halbkreisförmiges Stück herausgeschnitten. Grad- und Prozenteinteilung entwirft man auf festes Papier und achtet beim Aufleimen darauf, dass die Winkelhalbierungslinie genau mit der Höhe des Dreiecks zusammenfällt.

3. Bestimmung des Schwerpunktes eines Stückes Papier, eines Lineals.

MATERIAL. Stücke von steifem Papier in regelmässiger und unregelmässiger Form. Eine Stecknadel und das Lot von Übung 1. Lineal und Masstab.

AUSFÜHRUNG. 1. Bestimmung einer Schwerlinie (Fig. 1). Steckt die Nadel in der Nähe des Randes durch das Papier und erweitert durch Drehen das Loch etwas. Steckt die Fläche mit der Nadel an die Wand, doch so, dass sie frei schwingen kann. Hängt das Lot an die Nadel und bestimmt mit einem scharfen Bleistift genau die Stelle, wo der Faden den untern Rand der Papierfläche schneidet. Gebt Papier und Lot wieder frei und prüft nach, ob die Marke stimmt.

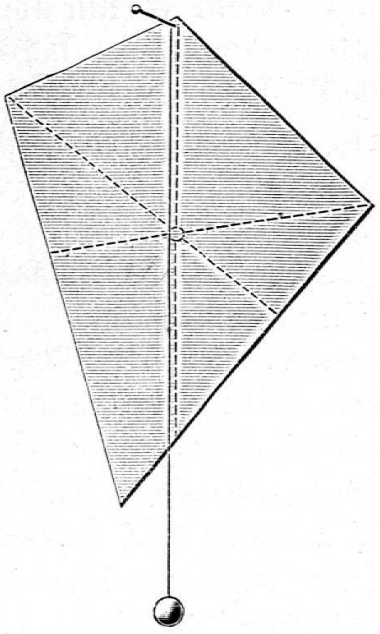

Fig. 1

Zieht die Nadel aus und verbindet die Marke mit dem Nadelstich. Was gibt die Linie an? (Die Richtung des Lotes; sie trennt die beiden Teile der Fläche, die sich das Gleichgewicht hielten.) Legt die Papierfläche längs dieser Linie auf die Kante des Lineals oder Masstabes. Was beobachtet ihr? (Die beiden Teile sind gleich schwer.) Die Linie heisst Schwerlinie.

2. Der Schwerpunkt. Bestimmt in gleicher Weise noch mehrere Schwerlinien. Was bemerkt ihr? (Sie schneiden sich im gleichen Punkt.) Legt das Blatt Papier mit dem Schnittpunkt der Schwerlinien wagrecht auf die Bleistiftspitze. Beobachtung. Welchen Namen gebt ihr dem Punkt? (Schwerpunkt.)

3. Bestimmung des Schwerpunktes des Lineals. Schiebt das Lineal langsam über die Tischfläche hinaus bis zu dem Moment, da es fallen will. Zieht in dieser Lage mit dem scharfen Bleistift längs der Tischkante auf der Unterseite des Lineals einen Strich. Dreht das Lineal 180° um seine Längsrichtung und wiederholt den Versuch. Halbiert den Zwischenraum zwischen den beiden Strichen und messt die beiden Teile des Lineals. Legt das Lineal längs der gefundenen Schwerlinie auf die Kante des Masstabes.

Legt das Lineal nacheinander auf seine vier Seitenflächen und führt auf jeder die Bestimmung aus. Welche Lage haben die Schwerlinien der vier Flächen? Wo liegt der Schwerpunkt?

4. Der Schwerpunkt eines unregelmässigen Körpers. Legt einen Gegenstand, z. B. das Taschenmesser auf das auf dem Tische liegende Ende des Lineals und verschiebt, bis es fallen will. Sind die Teile noch gleich lang? Wie erklärt ihr euch nun, wenn vorhin die Schwerlinien vielleicht nicht genau in der Mitte der Länge lagen? Definiert den Begriff „Schwerpunkt". Gebt die Lage des Schwerpunktes von regelmässigen und unregelmässigen Körpern an.

4. Das Gleichgewicht.

MATERIAL. Das Stück Halbkarton von der vorigen Übung. Eine Stecknadel.

AUSFÜHRUNG. 1. Stabiles Gleichgewicht. Heftet das Kartonblatt mit der Stecknadel an die Wand, indem ihr die Nadel durch eines der Löcher am Rand steckt. Die Papierfläche muss frei schwingen können. Bringt das Blatt in schwingende Bewegung und beobachtet, welchen Weg der Schwerpunkt beschreibt, wenn das Gleichgewicht gestört wird. (Er bewegt sich aufwärts.) Welche Lage hat der Schwerpunkt immer wieder, wenn das Blatt zur Ruhe kommt? (Er liegt senkrecht unter dem Aufhängepunkt.) Sicheres oder stabiles Gleichgewicht.

2. Labiles Gleichgewicht. Versucht das Papier so zu stellen, dass der Schwerpunkt senkrecht über dem Aufhängepunkt liegt. Gebt, wenn es gelungen ist, der Papierfläche einen leichten Stoss. Was geschieht? Welchen Weg beschreibt der Schwerpunkt, wenn das Gleichgewicht gestört wird? (Er bewegt sich abwärts.) Kehrt der Körper in seine frühere Lage zurück? Unsicheres oder labiles Gleichgewicht.

3. Indifferentes Gleichgewicht. Steckt die Stecknadel durch den Schwerpunkt und setzt die Papierfläche in Drehung. Was beobachtet ihr? (In jeder Lage herrscht Gleichgewicht. Der Schwerpunkt ändert seine Höhe nicht.) Gleichgültiges oder indifferentes Gleichgewicht.

4. Wo liegt der Schwerpunkt eines Bleistiftes? Legt den Bleistift auf den horizontalen Tisch. Dreht ihn um seine Längsachse. (Er ist in jeder Lage in Ruhe.) Welchen Weg beschreibt der Schwerpunkt, wenn der Bleistift rollt? (Der Unterlage parallel.) In welchem Gleichgewicht befinden sich zylindrische Körper, die auf der Mantelfläche liegen? (Im indifferenten Gleichgewicht.)

5. Gebt Beispiele von Körpern, die sich in einem der drei Gleichgewichte befinden.

5. Der gleicharmige Hebel.

MATERIAL. Hebelgestell. Anhängegewichte.

AUSFÜHRUNG. Beschreibt das Hebelgestell (siehe Fig. 2). In welchem Gleichgewicht befindet sich der Hebel? Hängt auf beiden Seiten beim Teilpunkt 30 je ein Anhängegewicht mit Schleife an. Beobachtung. (Es herrscht Gleichgewicht.) Hängt auf jeder Seite noch ein weiteres Gewicht an. Beobachtung. Verschiebt die Gewichte auf beiden Seiten auf den Teilpunkt 20, auf die Teilpunkte 15, 10. Erkenntnis: (Wenn in gleichen Abständen vom Drehpunkt gleiche drehende Kräfte wirksam sind, halten sie sich das Gleichgewicht.) Skizziert den gleicharmigen Hebel.

Bewegt den Hebelarm auf- und abwärts und vergleicht die Wege von Punkten, die gleichweit vom Drehpunkt entfernt sind. Erkenntnis: (Die Wege von gleichgrossen Kräften, die sich das Gleichgewicht halten, sind gleich gross.) Stellt dieses Verhältnis in einer Skizze dar.

In welcher Vorrichtung ist vom gleicharmigen Hebel Gebrauch gemacht?

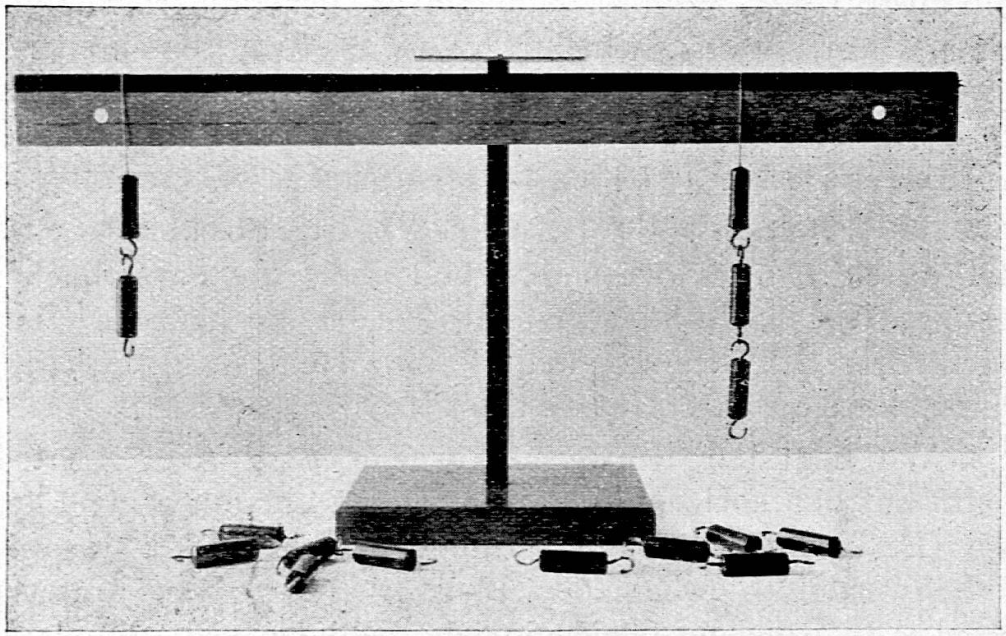

Fig. 2.

DER APPARAT. Der Ständer (Fig. 2). Auf ein Grundbrett von 20 cm Länge, 15 cm Breite und 2,5 cm Dicke wird in der Mitte senkrecht ein starkes Lineal von etwa 28 cm Länge befestigt. 2 cm unter dem oberen Ende wird ein kurzer Nagel ohne Kopf eingeschlagen zum Aufhängen des Hebels. Damit der Hebel nicht zu weit ausschlagen kann, befestigt man oben am Ständer mit einer Schraube wagrecht einen Abschnitt einer Reisschiene von 11 cm Länge und 3 cm Breite.

Als Hebel dient ein Flachlineal von 60 cm Länge, das auf dem Abreif von der Mitte aus je bis 30 cm in mm eingeteilt ist[1]. Damit sich der Hebel im sichern Gleichgewicht befinde, wird das Lineal in der Mitte der eingeteilten Seite ca. 1 cm vom Rand mit einem Laubsägebohrer durchbohrt. Sollte der Hebel nicht im Gleichgewicht sein, so wird mit dem Messer von der schwereren Seite abgeschnitten, oder auf der leichteren Seite wird in der Längsrichtung ein Nagel eingetrieben.

6. Die Schalenwage.

MATERIAL. Schalenwage mit Gewichtsatz. Stativ. Anhängegewichte. Bleistifte. Aluminiumspirale.

[1]) Flachlineale mit der angegebenen Einteilung oder das ganze Gestell liefert die Firma Siegrist & Stokar, Fabrik für Zeichenutensilien, Schaffhausen.

AUSFÜHRUNG. 1. Beschreibt die Schalenwage. (Siehe Fig. 3.)

2. Beschreibt den Gewichtsatz. Legt ein Verzeichnis der Gewichte an.

3. Lasst die Wage zur Ruhe kommen und beobachtet genau die Lage des Zeigers. Damit die Wage nicht zu lang pendelt, stellt neben die lange Wagschale einen Bleistift oder die Pinzette senkrecht und bremst ganz leicht die Schwingungen.

4. Vertauscht die Wagschalen und lasst die Wage wieder zur Ruhe kommen. Merkt wieder genau die Stellung des Zeigers.

5. Legt in jede Wagschale ein 20 g Gewicht.

6. Legt in die eine Wagschale 10 mg als Übergewicht. Fasst alle kleinen Gewichte mit der Pinzette, nicht mit der Hand. Lasst die Wage zur Ruhe kommen und beobachtet den Ausschlag des Zeigers. Legt 20 mg Übergewicht in die Wagschale. Bringt die Gewichte an ihren Platz zurück.

7. Legt in die kurze Wagschale 2 Anhängegewichte und in die lange Wagschale 100 g. Beobachtung: (Wir haben zu viel Gewicht aufgelegt.) Legt in die Wagschale 50 g und nehmt erst jetzt das 100 g Gewicht heraus. Beobachtung: (Die Wagschale mit dem Gewicht steigt. Die Last liegt zwischen 50 und 100 g.) Legt weiter 20 g auf. Beobachtung: (Die Last liegt zwischen 70 und 100 g.) Legt 10 g dazu. (Es ist zuviel. Die Last wiegt zwischen 70 und 80 g.) Legt 5 g auf und nehmt erst jetzt die 10 g heraus. (Noch zuviel. Liegt zwischen 70 und 75 g.) Legt 2 g auf und nehmt die 5 g heraus. (Zuwenig.) Legt 1 g auf. (Zuwenig.) Legt 500 mg auf. (Zuviel. Grenzen 73 g uud 73,5 g.) Legt 200 mg auf und nehmt die 500 mg heraus. (Zuwenig.) Legt 100 mg dazu.

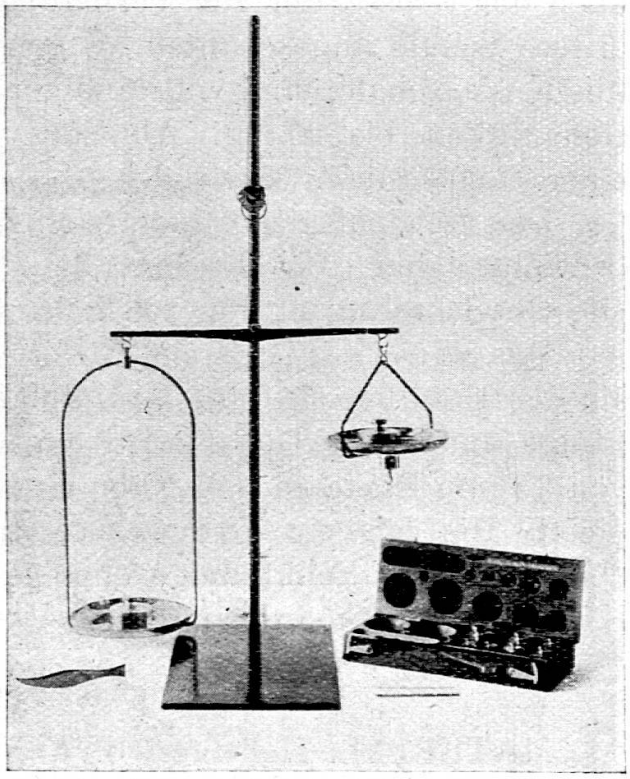

Fig. 3.

(Zuviel. Grenzen: 73,2 und 73,3 g.) Legt 50 mg dazu und nehmt 100 mg heraus. Beobachtung: (Die Wage ist im Gleichgewicht.)

Ergebnis: 2 Anhängegewichte wiegen 73,250 g,
1 Anhängegewicht wiegt 36,625 g.

Zählt die Gewichte beim Zurücklegen in den Gewichtsatz nochmals nach.

Sucht bei den folgenden Wägungen das Gewicht, indem ihr es wie hier in immer engere Grenzen einschliesst.

8. Legt 4 Anhängegewichte auf. Wägt sie, berechnet das Klassenmittel. Ebenso mit 5, 6 Anhängegewichten.

9. Bestimmt das Gewicht der Aluminiumspirale. Klassenmittel: 75,096 g.

10. Wägt 6 Bleistifte. Berechnet das Klassenmittel (29,028 g). Berechnet das Gewicht eines Bleistiftes. (4,838 g.)

11. Wägt euere Federschachtel, ein kleineres Buch etc.

DER APPARAT. Wage und Gewichtsatz gehören zu den teuersten Apparaten, die für Schülerübungen angeschafft werden müssen. Was man hiefür auslegen kann, richtet sich nach der Grösse der zur Verfügung stehenden Mittel. Die für unsere Schule angeschafften Wagen haben eine lange und eine kurze Wagschale, sind vollständig aus Metall und erlauben eine Genauigkeit bis 20 mg. Als Stativ wird das Metallstativ mit einer Doppelmuffe verwendet.

Der Gewichtsatz befindet sich in poliertem Holzkasten. Die Gewichte sind von Messing, die Bruchgramme aus Neusilber. Die Gewichte gehen von 200 g bis 10 mg.

Das Stativ (Fig. 3, 5, 6) liefert der Schlosser viel wohlfeiler als der Händler. In eine Grundplatte von 15 cm Breite, 24 cm Länge und 6 mm Dicke wird ein 60 cm langer Rundeisenstab von 12 mm Dicke in der Nähe einer Schmalseite senkrecht vernietet. Die schwere Grundplatte erlaubt, das Stativ auf den obern Teil der Schulbank sicher aufzustellen. Doppelmuffe und Klammer muss man kaufen.

7. Der ungleicharmige Hebel.

MATERIAL. Hebelgestell. Anhängegewichte. Nähfaden.

AUSFÜHRUNG. 1. Wodurch wird das Drehvermögen bestimmt? Hängt 30 cm vom Drehpunkt die zwei Anhängegewichte mit Schleife. (Es herrscht Gleichgewicht.) Verschiebt das Anhängegewicht rechts nach innen. Beobachtung:

(Der Hebelarm rechts steigt, das Gewicht übt nicht mehr die gleiche Wirkung aus wie vorher.) Erkenntnis: (Die Drehwirkung ist ausser von der Grösse des Gewichtes noch abhängig von der Entfernung vom Drehpunkt, von der Länge des Hebelarmes.)

2. Das Hebelgesetz. *a)* Um das Drehvermögen des verschobenen Gewichtes zu vergrössern, hängt an dasselbe ein zweites Gewicht und verschiebt, bis Gleichgewicht herrscht. Wo befindet sich das Gewicht? (Beim Teilpunkt 15.) Erkenntnis: (Ein Gewicht am Hebelarm 30 cm hat das gleiche Drehvermögen, wie das doppelte Gewicht am Hebelarm 15 cm.) Skizziert den Hebel und schreibt die Angaben ein.

b) Verschiebt das Gewicht links auf den Teilpunkt 20 cm. Wohin müssen die Gewichte rechts verschoben werden?

Verschiebt das Gewicht links der Reihe nach auf die Teilpunkte 18, 16, 14, 12, 11 cm etc. Wohin müssen in jedem Fall die Gewichte rechts verschoben werden?

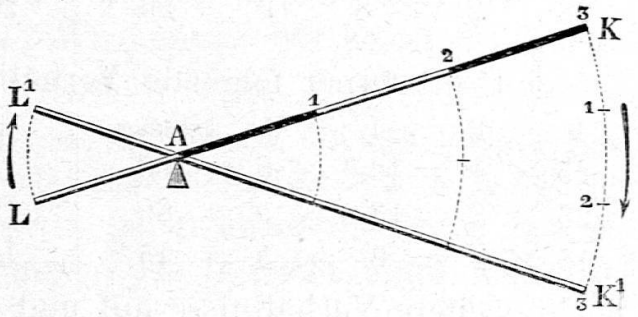

Fig. 4.

Wir wollen das Gewicht links als die Kraft (K), die Gewichte rechts als die zu hebende Last (L), ferner die Entfernung der Kraft vom Drehpunkt als Hebelarm der Kraft (k), die Entfernung der Last vom Drehpunkt als Hebelarm der Last (l) bezeichnen.

c) Vergleicht die Wege von Kraft und Last, wenn ihr den Hebel auf- und abbewegt und stellt eine Skizze her. (Siehe Fig. 4).

d) Für die folgenden Versuche sind gegeben: der Kraftarm, die Kraft, und die Last. Gesucht wird der Lastarm. Tragt die Ergebnisse in eine Tabelle ein. (Die Schüler finden bald heraus, dass Gleichgewicht herrscht, wenn das Produkt aus Kraftarm und Kraft gleich ist dem Produkt aus Lastarm und Last, oder: wenn das Drehmoment der Kraft gleich ist dem Drehmoment der Last, wenn $k \times K = l \times L$.

k	K	l (?)	L	Drehmoment	k	K	l (?)	L	Drehmoment
30	1	15	2	30	30	3	18	5	90
30	1	10	3	30	30	3	15	6	90
30	2	12	5	60	30	4	24	5	120
30	2	20	3	60	30	4	20	6	120

k	K	l (?)	L	Drehmoment	k	K	l (?)	L	Drehmoment
30	4	15	8	120	20	2	8	5	40
30	4	12	10	120	20	2	10	4	40

e) Gegeben sind: Die Kraft, der Lastarm und die Last. Gesucht wird der Kraftarm.

k (?)	K	l	L	Drehmoment	k (?)	K	l	L	Drehmoment
20	2	15	4	60	24	3	18	4	72
20	3	12	5	60	26	3	13	6	78

f) Gegeben sind: Der Kraftarm, der Lastarm und die Last. Gesucht wird die Kraft.

k	K (?)	l	L	Drehmoment	k	K (?)	l	L	Drehmoment
28	2	14	4	56	25	3	15	5	75
28	2	8	7	56	25	4	20	5	100

g) Prüft ferner folgende Verhältnisse:

k	K	l	L	Drehmoment	k	K	l	L	Drehmoment
25 ×	4 =	12,5 ×	8 =	100	12 ×	6 =	9 ×	8 =	72
23 ×	3 =	13,8 ×	5 =	69	12 ×	6 =	18 ×	4 =	72
15 ×	3 =	9 ×	5 =	45	12 ×	6 =	24 ×	3 =	72

Sucht weitere Verhältnisse auf und tragt sie in die Tabelle ein.

h) An der Stelle von nur einer Kraft können auf jeder Seite zwei und mehr Kräfte wirksam sein. Prüft die folgenden Verhältnisse:

k_1		K_1		k_2		K_2		l		L		Drehmoment
15	×	2	+	30	×	1	=	30	×	2	=	60
10	×	3	+	30	×	1	=	30	×	2	=	60
10	×	4	+	20	×	1	=	30	×	2	=	60
20	×	3	+	30	×	1	=	30	×	3	=	90
10	×	6	+	15	×	2	=	30	×	3	=	90

k_1		K_1		k_2		K_2		k_3		K_3		l_1		L_1		l_2		L_2		
15	×	2	+	20	×	3	+	30	×	1	=	30	×	2	+	15	×	4	=	120
10	×	1	+	20	×	4	+	30	×	1	=	8	×	5	+	20	×	4	=	120

Erkenntnis: (Am Hebel herrscht Gleichgewicht, wenn die Summe der Drehmomente auf der einen Seite gleich ist der Summe der Drehmomente auf der andern Seite.)

MATERIAL. Zum Anhängen weiterer Anhängegewichte am Hebelarm versieht man diese mit Schleifen von Nähfaden.

8. Die Schnellwage.

MATERIAL. Das Hebelgestell. Anhängegewichte. Das Hundertgrammgewicht an einer Schleife aus Nähfaden. Nähfaden.

AUSFÜHRUNG. 1. Hängt als Kraft an den linken Hebelarm das an einer Schleife befestigte Hundertgrammgewicht und am rechten Hebelarm als Last 100 mm vom Drehpunkt entfernt 5 Anhängegewichte. Verschiebt die Kraft bis Gleichgewicht vorhanden ist. Gebt die Länge des Kraftarmes an. (Klassenmittel 185 mm.) Wie gross ist das Moment der Kraft? ($100 \times 185 = 18500$.) Wie gross ist das Moment der Last? (Auch 18500.) Welche Grösse ist euch bekannt? (Der Lastarm.) Wie gross ist deshalb die Last? ($18500 : 100 = 185$ g.) Welcher Zahl entspricht diese? (Der Länge des Kraftarmes.) Wo können wir somit die Grösse der Last ablesen? (Am Kraftarm.)

Hängt als Last 100 mm vom Drehpunkt 8 Anhängegewichte an. Verschiebt die Kraft bis Gleichgewicht ist. Wie lang ist der Kraftarm? (296 mm.) Wie gross ist demnach die Last? (296 g.) Berechnet aus beiden Wägungen das Gewicht eines Anhängegewichtes. (Klassenmittel 37 g.)

Wägt eine Federschachtel, ein kleineres Buch, indem ihr einen Faden um den Gegenstand schlingt und daran eine Schleife knüpft.

2. Wie schwer dürfen die Gegenstände höchstens sein, die wir mit unserer Wage wägen können? (300 g.) Wie müssen wir die Wage einrichten, damit wir grössere Lasten wägen können? (Den Kraftarm verlängern, das geht nicht. Die Kraft vergrössern. Den Lastarm kleiner machen.)

Wir wählen das letztere. Hängt 50 mm vom Drehpunkt 12 Anhängegewichte an und verschiebt das Hundertgrammgewicht bis Gleichgewicht ist. Wie lang ist der Kraftarm? (Klassenmittel 222 mm.) Gebt das Moment der Kraft an. ($222 \times 100 = 22200$.) Der Lastarm ist 50 mm. Wie gross ist die Last? (444 g.) 1 Anhängegewicht hat 37 g. Skizziert die Schnellwage. Welche Verhältnisse sind an unserer Wage unverändert? (Die Kraft und der Lastarm.) Welche Verhältnisse ändern sich? (Die Last und der Kraftarm.) Wie verhalten sich diese Veränderungen zu einander?

9. Der einarmige Hebel.

MATERIAL. Hebelgestell. Anhängegewichte. Schalenwage an Stativ. Nähfaden.

AUSFÜHRUNG. (Siehe Fig. 5.) 1. Hängt an den rechten Arm des Hebelgestells ein Anhängegewicht mit Schleife. Befestigt diesen Hebelarm vermittelst der Schleife aus Faden, die sich an dessen Ende befindet, an der kurzen Wagschale und hebt oder senkt die Wage am Stativ, bis der Hebel horizontal liegt. Anhängegewichte, die ihr in die lange Wagschale legt, stellen die Kraft dar.

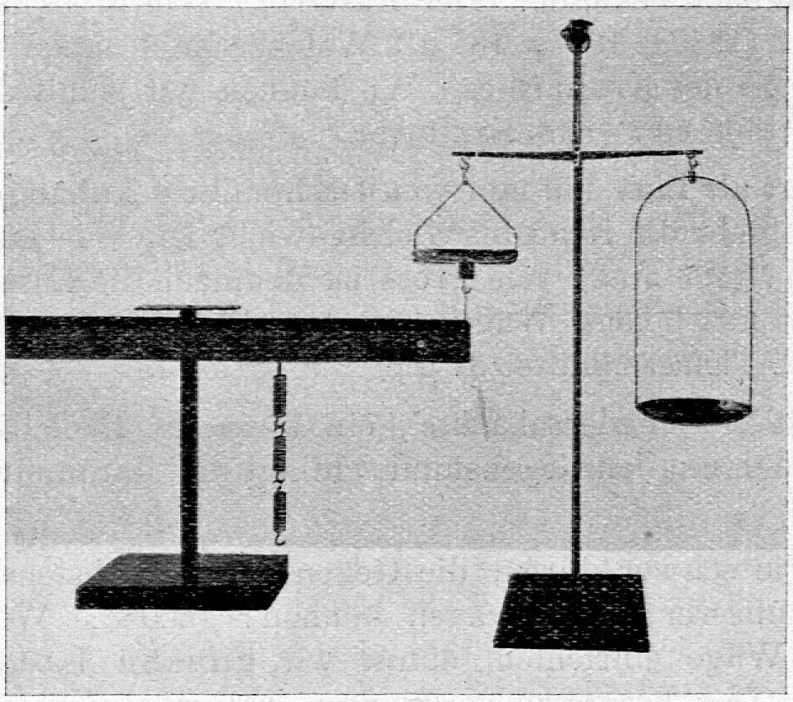

Fig. 5.

Legt in die lange Wagschale ein Anhängegewicht; als Last hängt in das erste Anhängegewicht ein zweites und verschiebt die Last, bis der Hebel im Gleichgewicht ist. Wann ist dies der Fall? An einem wie langen Hebelarm wirkt die Kraft? (30 cm), die Last? (15 cm). In welchem Verhältnis stehen Kraft und Last und ihre Hebelarme zueinander?

Bestimmt aus folgenden Angaben den Lastarm und trägt die Ergebnisse in eine Tabelle ein:

k	K	l (?)	L	Drehmoment	k	K	l (?)	L	Drehmoment
30	1	15	2	30	30	3	15	6	90
30	1	10	3	30	30	4	20	6	120
30	2	12	5	60	30	5	25	6	150
30	2	20	3	60	30	6	30	6	180
30	2	10	6	60					

2. Hängt mit einer Schleife aus Faden den Hebel auch an andern Stellen an die Wage (siehe Fig. 6), so dass der Lastarm grösser gemacht werden kann als der Kraftarm. Bestimmt aus folgenden Angaben den Lastarm:

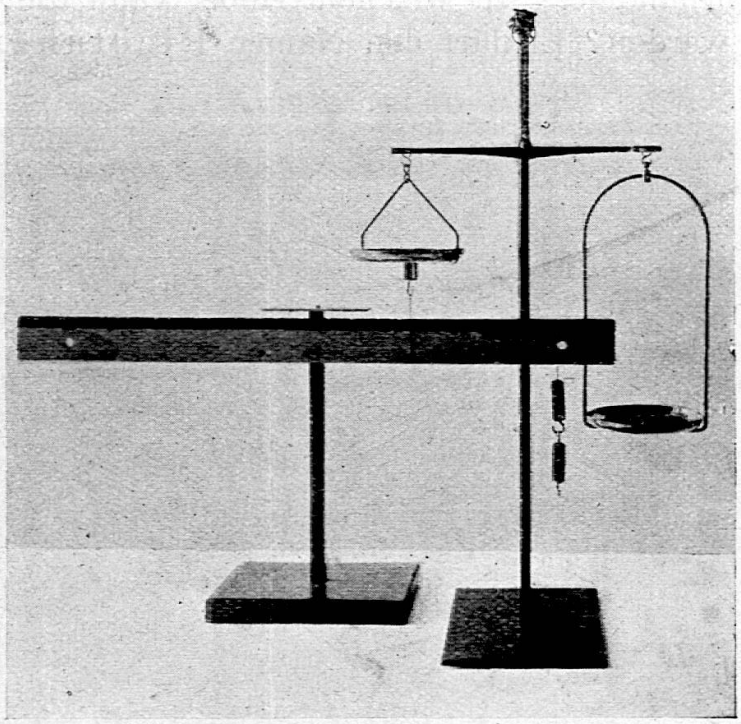

Fig. 6.

k	K	l (?)	L	Drehmoment	k	K	l (?)	L	Drehmoment
12	3	18	2	36	10	3	30	1	30
12	4	24	2	48	10	4	20	2	40
12	5	30	2	60	10	5	25	2	50
12	5	20	3	60	8	5	20	2	40
12	5	15	4	60	8	6	24	2	48

Wie lautet das Gesetz für den einarmigen Hebel?

DER APPARAT. Über dem Teilstrich 30 bohrt man durch den Hebel ein kleines Loch, durch das man den Faden für die Schleife zieht.

10. Die Rollen. Der Flaschenzug.

MATERIAL. Anhängegestell (Fig. 7). 2 Rollen. Eine kurze Schnur (120 cm), eine lange Schnur (220 cm); beide mit Schleifen an den Enden. Gegengewicht zur Rolle. Anhängegewichte.

AUSFÜHRUNG. 1. Das Gleichgewichtsgesetz der festen Rolle (Fig. 7a). Hängt die Rolle an einen Haken des Anhängegestells, legt die kurze Schnur darüber und hängt in jede der beiden Schleifen ein Anhängegewicht. Beobachtung. (Es herrscht Gleichgewicht.) Bewegt das eine Gewicht abwärts und vergleicht die Wege von Kraft und Last. Ist ein Gewinn an Kraft vorhanden? Mit welchem Hebel kann die feste Rolle verglichen werden? Erklärt den Namen Richtungsrolle.

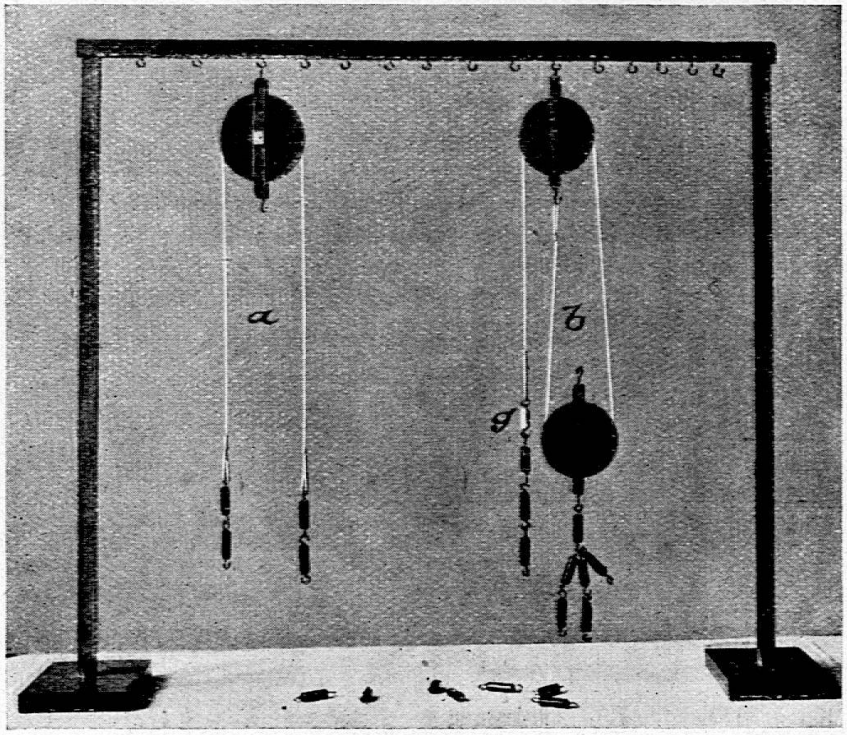

Fig. 7.

2. Das Gleichgewichtsgesetz der beweglichen Rolle. Hängt die kurze Schnur mit dem einen Ende an einen Haken des Anhängegestells, zieht sie durch die Schere der Rolle und hängt das andere Ende der Schnur an einen zweiten Haken des Gestells, so dass die Schnüre parallel laufen. Hängt an die Schere Anhängegewichte. Den wievielten Teil der Last hat ein Seil zu tragen?

3. Verhältnis von Kraft- und Lastweg bei der beweglichen Rolle. Hängt eine Schnur aus und bewegt die Hand abwärts und aufwärts. Um welchen Punkt dreht sich die Rolle? Mit welchem Hebel kann diese Rolle verglichen werden? (Einarmiger Hebel, bei dem der Kraftarm doppelt so gross ist als der Lastarm.) Vergleicht die Wege von Kraft und Last. (Der Kraftweg ist doppelt so gross als der Lastweg.)

4. Der einfache Flaschenzug (Fig. 7b). Hängt die lange Schnur an einen Haken des Anhängegestells und führt sie über die eine Rolle als bewegliche Rolle, dann über die andere als feste Rolle, die ihr am Gestell aufhängt, so dass die Schnüre parallel sind. An das freie Ende der Schnur hängt ein Gewicht, das der beweglichen Rolle das Gleichgewicht hält. (In der Fig. 7 ist das Kompensationsgewicht [g] hell.) Wie gross muss es sein? (Halb so schwer als die Rolle.) Hängt an die bewegliche Rolle zwei Anhängegewichte als Last. Wie gross muss die Kraft sein? Hängt der Reihe nach 4, 6, 8 Anhängegewichte als Last an und zeigt, dass die Kraft immer die Hälfte der Last sein muss.

Hängt die Schnur aus dem Haken des Gestells aus und hängt sie an den untern Haken der festen Rolle, entsprechend Fig. 7b. Vorteil? (Nur ein Haken notwendig.) Messt die Wege von Kraft und Last.

DIE APPARATE. 1. Das Anhängegestell (Fig. 7, 8). Für Versuche mit Rolle und Flaschenzug, mit dem Pendel und über das Parallelogramm der Kräfte, sowie zu Versuchen in der Reibungselektrizität ist ein Anhängegestell notwendig. Damit dasselbe für die Aufbewahrung möglichst wenig Platz beansprucht, muss es zerlegbar sein. Zu einem Gestell sind notwendig: Zwei Bodenbretter 15, 25/2,5 cm; zwei Ständer von 90 cm Länge und 2,5/2,5 cm Querschnitt und ein Verbindungsstück von 100 cm Länge und dem gleichen Querschnitt. In die Mitte der Bodenbretter bohrt man Löcher von 2 cm Durchmesser und passt in diese die Ständerlatten ein, so dass sie leicht herausgenommen werden können. In die oberen Enden der Ständer bohrt man in der Längsrichtung 1 cm weite Löcher und schlägt in diese runde, 1 cm dicke Holzzapfen, die etwa 2 cm vorspringen sollen. Das Verbindungsstück erhält 2 cm von beiden Enden je ein 1 cm weites Loch, so dass es auf die Zapfen aufgelegt werden kann. In das Verbindungsstück schraubt man offene Ring-

schrauben in der Mitte und in Abständen von 6, 12, 18, 24, 36, 42 cm zu beiden Seiten. Für Versuche, die in der Höhe weniger Platz beanspruchen, stellt man das Gestell auf die Schulbank. Bei den Pendelversuchen werden die Ständer auf zwei gegenüberstehende Schulbänke gestellt, so dass der Gang für die Versuche benutzt werden kann.

2. Die Rollen. Damit die Reibung möglichst wenig Einfluss habe, macht man die Rollen ziemlich gross. Man schneidet aus dickem Karton, oder Zigarrenkistchen- oder Laubsägeholz Kreisflächen von mindestens 5 cm Radius und erstellt in gleicher Weise doppelt so viel Scheiben mit etwa 5 mm grösserem Radius. Die Scheiben werden in der Mitte mit dem Laubsägebohrer durchbohrt. Je drei Scheiben werden aufeinandergeleimt. Damit die Löcher genau übereinander zu liegen kommen, steckt man hiebei einen Nagel durch. Um den Rollen auf der Achse grössern Halt zu geben, kann man auf ihre Mitte noch kleine durchbohrte Scheibchen aufleimen, wobei wieder ein Nagel durchgesteckt wird. Zu der Schere schneidet man von 12—15 mm dicken Linealen Stücke von 2 cm Länge und von alten Reisschienen Streifen von 12—15 mm Breite und solcher Länge, dass die Rollen Spielraum haben. Nachdem diese aufeinandergeleimt und in der Mitte durchbohrt sind, werden zu beiden Seiten offene Ringschrauben eingeschraubt. Als Achse dient ein Nagel.

3. Die Gegengewichte werden nach Art der Anhängegewichte hergestellt. Rolle und dazugehörendes Gegengewicht erhalten die gleiche Nummer.

11. Das Pendel.

MATERIAL. Ein schweres und ein leichtes Pendel von 994 mm Länge, ein Pendel von 248,5 mm Länge. Das Anhängegestell. Dünne Latte zum Messen der Pendellänge.

AUSFÜHRUNG. Stellt das Anhängegestell auf 2 benachbarte Bänke, so dass der Zwischenraum für die Versuche frei bleibt. Hängt das schwerere, längere Pendel in die zweiten Haken links und rechts von der Mitte des Anhängegestells.

1. Die Schwingung. Fasst das Pendel mit Daumen und Zeigfinger; bringt es wenig aus seiner Lage und gebt es frei. Warum fällt das Pendel? Warum schlägt es über die Senkrechte hinaus? Wie weit schlägt es auf die andere Seite aus? Um-

wandlung von Energie der Bewegung in Energie der Lage und umgekehrt. Warum steht das Pendel schliesslich doch still? Wie ist die Energie aufgebraucht worden? Was versteht man unter einer Schwingung?

2. Schwingungsdauer und Grösse des Ausschlages. Das Pendel wird nur wenig aus der Lage gebracht. Zählt leise die Schwingungen.

Bringt das Pendel weiter aus seiner Lage und zählt wieder. Beobachtung: Die Schwingungsdauer ist die gleiche. Warum? Vergleicht das Gefäll der schiefen Ebenen, auf denen sich das Pendel bewegt.

I. Gesetz: Die Schwingungsdauer ist nicht abhängig von der Grösse des Ausschlages.

3. Schwingungsdauer und Gewicht des Pendels. Das leichtere, lange Pendel wird seitlich vom ersten angehängt. Fasst mit der einen Hand das eine, mit der andern das zweite Pendel und gebt sie gleichzeitig frei. Beobachtung: Sie schwingen gleich rasch. Warum? Vergleicht mit dem Fallen leichter und schwerer Körper.

II. Gesetz: Die Schwingungsdauer ist nicht abhängig vom Gewicht des Pendels. Pendel von gleicher Länge schwingen gleich rasch. Welches der beiden Pendel schwingt länger und warum?

4. Das Sekundenpendel. Fasst das schwerere Pendel, bringt es aus der Lage und gebt es auf 3! frei. Zählt die Schwingungen, während ich leise die Sekunden nachzähle. Nach 25 Sekunden sage ich: Achtung! nach 30 Sekunden: Halt! Wie viele Schwingungen habt ihr gezählt? (30) Welche Zeit braucht also das Pendel zu einer Schwingung? (Eine Sekunde!) Wie werden wir ein Pendel heissen, das in einer Sekunde eine Schwingung macht? (Sekundenpendel.)

5. Bestimmung der Länge des Sekundenpendels. Hängt die dünne Latte mit ihrem Nagel an die mittlere Schraube des Aufhängegestells. Zieht mit einem scharfen Bleistift über und unter der Pendellinse einen Strich. Legt die Latte auf den Tisch und halbiert die Breite der Pendellinse. Welche Strecke gibt nun die Pendellänge an? (Entfernung dieser Mitte vom untern Rand des Nagels.) Warum messen wir nicht vom untern Rand der Pendellinse an? (Der Schwerpunkt der Linse

liegt in ihrer Mitte, das Gewicht des Fadens können wir vernachlässigen.) Sucht das Klassenmittel der Pendellänge. 994 mm!

III. Gesetz: Das 994 mm lange Pendel macht in jeder Sekunde eine Schwingung.

5. Schwingungsdauer und Länge des Pendels. Hängt das kurze Pendel an die Haken links und rechts von der Mitte. Bringt es aus der Lage und lasst es schwingen. Beobachtung: Das kurze Pendel schwingt rascher.

IV. Gesetz: Die Schwingungsdauer ist von der Länge des Pendels abhängig.

6. Bestimmung der Schwingungsdauer des kurzen Pendels. Zählt leise Doppelschwingungen. Auf 3! gebt ihr das Pendel frei; nach 25 Sekunden erfolgt das Kommando: Achtung!, nach 30 Sekunden: Halt! Wie viele Doppelschwingungen zählt ihr? (30! Einfache Schwingungen sind 60.)

7. Bestimmung der Länge des kurzen Pendels. Messt das kurze Pendel in gleicher Weise, wie das lange Pendel. Sucht das Klassenmittel: (248,5 mm).

8. Vergleichung von Länge und Schwingungsdauer. Das kurze Pendel ist 4 mal kürzer als das lange Pendel; es schwingt zweimal rascher.

9. Demonstrationsversuch. Wir hängen an die Decke des Zimmers ein 2236,5 mm langes Pendel und setzen es in Schwingung. Wir zählen wie früher während einer Minute. Wir finden 40 Schwingungen.

10. Ableitung des V. Gesetzes. Wir stellen die Ergebnisse in einer Tabelle zusammen.

Pendellängen:	Schwingungen in einer Sekunde:
248,5	120
994	60
2236,5	40

oder

Verhältnis der Längen:	Verhältnis der Schwingungszahlen:
1 : 4	2 : 1
1 : 9	3 : 1
4 : 9	3 : 2

V. Gesetz. Das viermal längere Pendel schwingt zweimal langsamer, das neunmal längere Pendel schwingt dreimal langsamer. Die Schwingungszahlen der Pendel, deren Längen sich verhalten wie 4 : 9, verhalten sich wie 3 : 2. Oder:

Die Schwingungszahlen verhalten sich umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den Pendellängen. (Löscht mit dem Gummi die Striche auf der dünnen Latte aus!)

DER APPARAT. Als „Pendellinsen“ eignen sich ungeschnittene Schraubenmuttern, die in Eisenhandlungen käuflich sind. Damit die Fäden nicht vom innern scharfen Rand durchschnitten werden, wird die Kante mit einem Metallbohrer gebrochen. Die Pendel werden bifilar aufgehängt. An die beiden Enden der Fäden bindet man kleine Ringe, um die Reibung zu vermindern. Man stellt von jeder Pendellänge ein Normalpendel her und spannt es zwischen zwei in eine Latte geschlagene Nägel aus. Allen andern Pendeln gibt man diese Länge, indem man die Fäden zwischen diesen Nägeln abmisst.

Die dünne Latte zum Messen der Pendellängen muss etwas mehr als ein Meter lang sein. Am einen Ende schlägt man in dieselbe einen kleinen Nagel zum Anhängen an die mittlere Schraube des Gestells.

12. Das Parallelogramm der Kräfte.

MATERIAL. Anhängegestell. 2 Rollen. Schnur. Anhängegewichte. Zeichnungen der Parallelogramme. Transporteur. (Siehe Fig. 8.)

AUSFÜHRUNG. Hängt die Rollen an die äussern Haken des Anhängegestells und legt die Schnur darüber.

1. Gleiche Kräfte in entgegengesetzter Richtung wirksam. Hängt an beide Enden der Schnur je ein Anhängegewicht. Beobachtung: (Die Schnur ist gerade. Zwei gleiche in entgegengesetzter Richtung wirkende Kräfte heben sich auf.)

2. Drei gleiche Kräfte, die auf den gleichen Punkt wirken. Hängt an die kurze Schnur, die in der Mitte der langen Schnur befestigt ist, auch ein Anhängegewicht. Beobachtung: (Der Punkt, in dem die Schnüre zusammenlaufen, senkt sich; es tritt ein Gleichgewichtszustand ein. Die zwei unter einem Winkel an einen Punkt angreifenden Kräfte können durch eine einzige ersetzt werden, durch eine Mittelkraft oder Resultierende.) Messt den Winkel zwischen den Seitenkräften. (Er ist 120 °.) Zusammenfassung: Zwei gleiche Kräfte, die unter einem Winkel von 120° auf einen Punkt wirken, können durch die einfache Kraft ersetzt werden, die in der Richtung der

Winkelhalbierungslinie wirkt.) Wieviel Prozent der wirkenden Kräfte ist die resultierende Kraft? (Die resultierende Kraft ist 50 % der Seitenkräfte, der Nutzeffekt ist 50 %.)

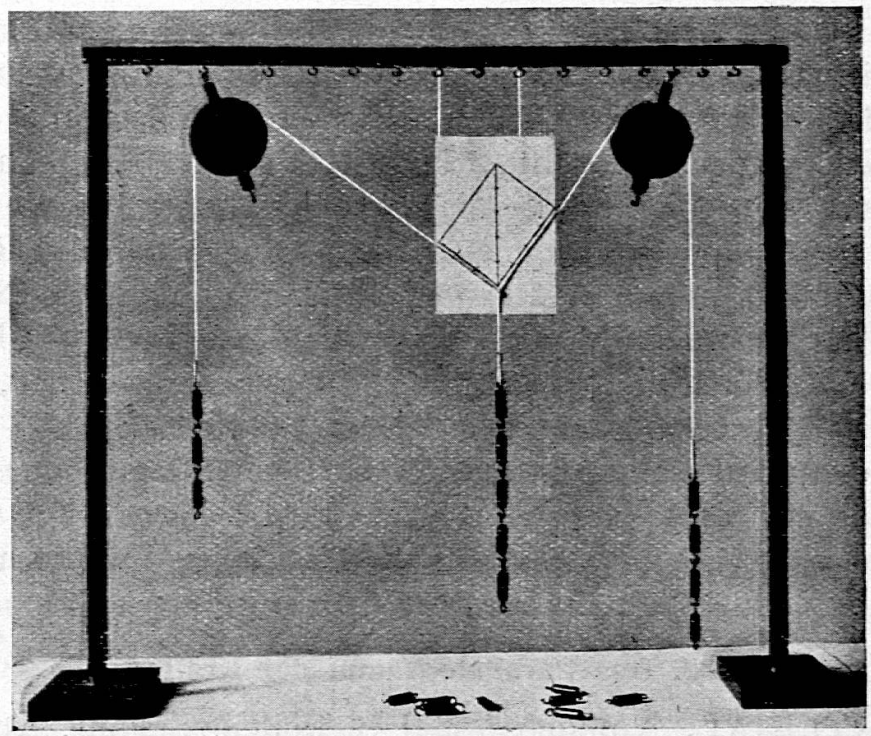

Fig. 8.

Zeichnet unter einem Winkel von 120° zwei gleiche Strecken, welche die Seitenkräfte darstellen und eine Winkelhalbierungslinie gleicher Länge, welche die Resultierende darstellt. Was für eine Figur ist durch die 4 Eckpunkte der Strecken bestimmt? (Ein Parallelogramm.) Vervollständigt das Parallelogramm und haltet die Zeichnung an die Schnüre.

3. Weitere Versuche über das Parallelogramm der Kräfte. Probiert die folgenden Verhältnisse aus. Messt die Winkel. Haltet die gezeichneten Parallelogramme an die Schnüre und konstatiert die Übereinstimmung der Richtung der Schnüre und der Seiten, sowie der Diagonale der Parallelogramme. Berechnet den Nutzeffekt und ordnet die Ergebnisse nach der Grösse der Winkel in einer Tabelle an.

TABELLE.

Verhältnis der Seitenkräfte:	Resultierende:	Winkel:	Nutzeffekt:
4 : 4	1	166½°	12½ %
4 : 4	3	136°	37½ %

Verhältnis der Seitenkräfte:	Resultierende:	Winkel:	Nutzeffekt:
1 : 1	1	120°	50 %
1 : 2	2	104°	66,7 %
3 : 4	5	90°	71,4 %
2 : 3	4	75°	80 %
2 : 4	5	72°	83 %
4 : 5	8	54°	88,9 %

Erkenntnis: (Je grösser der Winkel ist, unter dem die Kräfte zusammenwirken, um so kleiner ist der Nutzeffekt.)

DER APPARAT. Anhängegestell und Rollen wurden im Abschnitt 9 beschrieben. An der 200 cm langen Schnur werden an beiden Enden Schleifen geknüpft. In der Mitte der Schnur wird in einen Knoten ein 15 cm langes Schnurstück eingeknüpft, das am andern Ende ebenfalls eine Schleife hat.

Die Zeichnungen der Parallelogramme, die man vorführen will, können im geometrischen Zeichnen angefertigt werden.

13. Der Auftrieb.

MATERIAL. Einmachglas, 2 Liter haltend, zu $^2/_3$ mit Wasser gefüllt. Glaszylinder. Glasplatte an einer Schnur. Messzylinder mit Wasser. Reagenzglas mit Pfropf.

1. Der Auftrieb (Fig. 9). Fasst mit der linken Hand den Glaszylinder umgekehrt, mit der rechten Hand die Glasplatte und lasst die Schnur durch den Zylinder fallen. Ergreift das Ende der Schnur mit der rechten Hand, zieht die Platte leicht an den Zylinder und kehrt diesen um. Drückt mit der linken Hand den Zylinder ins Wasser, während die Rechte die Platte festhält. Was bemerkt ihr? (Widerstand von unten.) Lasst die Schnur los. Beobachtung: (Die Platte fällt nicht ab, sie wird angedrückt.) Auftrieb.

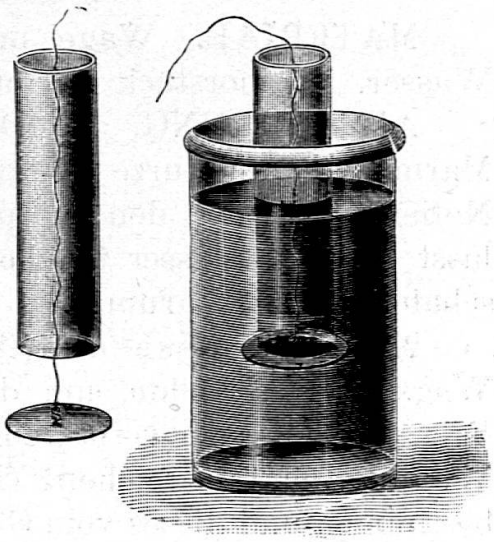

Fig. 9.

2. Bestimmung der Grösse des Auftriebes. Ein zweiter Schüler der Gruppe giesst sorgfältig mit dem Messzylinder Wasser in den Glaszylinder. Beobachtet genau, wann

sich die beiden Wasserspiegel nähern. Wann fällt die Glasplatte ab? Haben wir nun ein Mass für die Grösse des Auftriebes? Gebt an, wie gross der Auftrieb ist.

Die andern Schüler der Gruppe wiederholen den Versuch in folgender Weise: Taucht den Glaszylinder einige Centimeter ins Wasser, zieht dann die Schnur an, taucht den Zylinder tiefer ein und lasst die Schnur los. Nun hebt langsam den Zylinder. Merkt euch die beiden Wasseroberflächen, wenn die Platte wegfällt.

3. Weiterer Versuch über Auftrieb. Taucht das geschlossene Reagenzgläschen unter Wasser und gebt es frei. Beobachtung. (Es schnellt empor.)

DER APPARAT. Der Versuch kann mit Lampenzylindern ausgeführt werden, die auf der einen Seite glatt geschliffen sind. Die Glasplatten lasse man sich beim Glaser achteckig schneiden, etwas grösser als die Weite der Zylinder. Die Schnur befestigt man mit Siegellack. Damit dieser auf dem Glas hafte, muss die Glasplatte so stark erwärmt werden, dass Siegellack darauf schmilzt. — Es empfiehlt sich, den Rand des Zylinders leicht einzufetten.

14. Bestimmung des spezifischen Gewichtes von festen Körpern, die schwerer sind als Wasser.

a) von Marmor:

MATERIAL. Wage mit Gewichtsatz. Einmachglas mit Wasser. Marmorstück an Faden oder dünnem Draht.

AUSFÜHRUNG. 1. Der Auftrieb. Legt das Stück Marmor in die kurze Wagschale und bestimmt das Gewicht. Notieren! Hängt den Körper an die kurze Wagschale und lasst ihn ins Wasser tauchen. Beobachtung: Die kurze Wagschale steigt. Warum?

2. Die Grösse des Auftriebes. Legt auf die kurze Wagschale Gewichte, um den Gewichtsverlust zu bestimmen. Wie müssen wir verfahren, wenn unsere Gewichte für diese Wägung nicht ausreichen? (Das Gewicht des Körpers im Wasser bestimmen und dieses vom Gewicht in der Luft abziehen.) Führt die Wägung so aus. Notieren!

3. Der Rauminhalt des Körpers. Worauf können wir aus dem Gewichtsverlust im Wasser schliessen? (Auf den Rauminhalt.) Wie gross ist der Gewichtsverlust? (54,78 g.) Welchen Rauminhalt hat somit der Körper? (54,78 cm^3.)

4. Bestimmung des Gewichtes von 1 cm³ Marmor. Welche Grössen kennen wir nun? (Rauminhalt und Gewicht des Stückes Marmor.) Berechnet daraus das Gewicht von 1 cm³ Marmor. (2,7 g.) Wie schwer ist 1 dm³ Wasser, 1 dm³ Marmor, 1 m³ Wasser, 1 m³ Marmor?

5. Wie manchmal schwerer ist also der Marmor als ein gleicher Rauminhalt, ein gleiches Volumen Wasser? (2,7 mal.)

Spezifisches Gewicht.

Tragt die Zahlen in folgende Tabelle ein:

Marmor.	Gewicht in der Luft	149,030 g
	Gewicht im Wasser	94,250 g
	Gewichtsverlust	54,780 g
	Rauminhalt	54,780 cm³
	54,780 cm³ Marmor wiegen . . .	149,030 g
	1 cm³ Marmor wiegt	2,71 g
	Das spez. Gewicht von Marmor ist	2,71
	Klassenmittel	2,708.

Bestimmt in gleicher Weise das spezifische Gewicht von Blei, Zink, Aluminium.

b) einer Legierung von Blei und Zink.

MATERIAL. Wage mit Gewichtsatz. Einmachglas mit Wasser. Legierung von Blei und Zink.

AUSFÜHRUNG. Die Ausführung des Versuches erfolgt nach folgendem Muster:

Die Legierung wiegt in der Luft	79,9 g
im Wasser	70,7 g
Somit Gewichtsverlust	9,2 g
Inhalt des Körpers	9,2 cm³
Das spez. Gewicht von Blei wurde gefunden zu	11,3
„ „ „ „ Zink „ „ „	7,23
1 cm³ Zink ist leichter als 1 cm³ Blei um .	4,07 g
Bestünde der Körper bloss aus Blei, so würde sein Gewicht betragen . . 9,2 · 11,3 g =	103,96 g
Er wiegt bloss	79,9 g
Er ist somit leichter um	24,06 g

Wenn 1 cm³ Blei durch 1 cm³ Zink ersetzt wird, so wird die Legierung um 4,7 g leichter; damit sie 24,06 g leichter werde, sind 24,06 : 4,7 oder 5,9 cm³ Zink notwendig.

Die Legierung besteht somit aus . . . 5,9 cm³ Zink und
3,3 cm³ Blei
gleich 9,2 cm³.

Probe: 5,9 cm³ Zink wiegen 5,9 × 7,23 g = 42,6 g
3,3 cm³ Blei wiegen 3,3 × 11,3 g = 37,3 g
Total 79,9 g.

DER APPARAT. Versuche haben ergeben, dass es sehr schwer ist, gleichmässige Legierungen von Blei und Zink herzustellen. Statt der Legierung wurden genau gleich schwere Zinkstäbe mit genau gleich schweren Bleidrähten umwunden.

Der Versuch wird für die Schüler besonders interessant, wenn man ihnen erzählt, welcher Auftrag Archimedes Veranlassung zur Entdeckung des nach ihm benannten Gesetzes gab.

15. Bestimmung des spezifischen Gewichtes eines festen Körpers, der leichter ist als Wasser, durch Wasserverdrängung.

MATERIAL. Wage mit Gewichtsatz. Messzylinder mit Wasser. Pappelholz.

AUSFÜHRUNG. Die Durchführung des Versuches geschieht nach folgendem Beispiel:

Gewicht des Stückes Pappelholz in der Luft . .	23,62 g
Wasserstand im Messzylinder vor dem Eintauchen	146 cm³
„ „ „ nach „ „	210 cm³
Inhalt des Stückes	74 cm³
74 cm³ Pappelholz wiegen	23,62 g
1 cm³ „ „ . . 23,62 : 74 g =	0,319 g
Das spezifische Gewicht von Pappelholz beträgt	0,319

Das Stück Pappelholz wird von den Schülern mit der Spitze der Feder oder des Bleistiftes unter Wasser gedrückt.

Beim Ablesen am Messzylinder bringt das Auge in das Niveau der Flüssigkeit, so dass ihr die in der Mitte des Zylinders ebene Flüssigkeitsoberfläche als wagrechten, scharfen Strich vor euch habt.

In gleicher Weise wird das spezifische Gewicht von Buchen-, Eichen- oder Erlenholz bestimmt.

DER APPARAT. Stücke von diversen Holzarten, eckig oder rund, etwa 7 cm lang und 2,5 cm dick.

Die Messzylinder wählt man zweckmässig mit einem Inhalt von 250 cm³.

16. Bestimmung des spezifischen Gewichtes einer Flüssigkeit mit dem Pyknometer.

MATERIAL. Wage mit Gewichtsatz. Pyknometer. Brennsprit.

AUSFÜHRUNG. Die Durchführung der Untersuchung erfolgt nach folgendem Beispiel:

Gewicht des leeren Fläschchens	45,800 g
Gewicht des Fläschchens mit Wasser	72,970 g
Gewicht des Wassers	27,170 g
Inhalt des Fläschchens	27,170 cm³
Gewicht des mit Brennsprit gefüllten Fläschchens	68,120 g
Hievon ab das Gewicht des Fläschchen . . .	45,800 g
Gewicht des Brennsprits	22,320 g
27,170 cm³ Brennsprit wiegen	22,320 g
1 cm³ Brennsprit wiegt	0,821 g
Das spez. Gewicht von Brennsprit ist	0,821
Klassenmittel	0,820

DER APPARAT. An Stelle der teuren Pyknometer verwendet man mit gutem Erfolg Tropffläschchen von ca. 25 cm³ Inhalt. Man füllt das Fläschchen, setzt den Glasstöpsel so auf, dass die überschüssige Flüssigkeit ausfliessen kann und dreht hierauf den Stöpsel. Nach jeder Füllung muss das Fläschchen mit Fliesspapier getrocknet werden.

17. Bestimmung der Dichtigkeit von Kochsalzlösungen mit dem Aräometer.

MATERIAL. 12 Messzylinder mit Kochsalzlösung. Aräometer.

AUSFÜHRUNG. Der erste Messzylinder enthält reines Wasser, die folgenden Kochsalzlösung von 2½ %, 5 %, 7½ %, 10 % bis 27½ %. Jede Gruppe behält ihr Aräometer während der Übung. Die Messzylinder mit den Salzlösungen zirkulieren, so dass jede Gruppe 12 Ablesungen zu machen hat. Jede Gruppe notiert den am Messzylinder angeschriebenen Prozentgehalt der Lösung und daneben die am Aräometer abgelesenen Grade.

Beobachtungen einer Gruppe:

Kochsalzgehalt in %:	Grade am Aräometer:	Kochsalzgehalt in %:	Grade am Aräometer:
0	0	15	15
2,5	2,5	17,5	17
5	5	20	19
7,5	7,5	22,5	20,5
10	10	25	22,5
12,5	12,5	27,5	23,5

GRAPHISCHE DARSTELLUNG. Das Ergebnis wird graphisch dargestellt. (Siehe Fig. 10.) Die Schüler erhalten ein Quartblatt 4 mm karriertes Papier. Auf der Abszisse wird der Prozentgehalt abgetragen, 2,5 % = 8 mm, auf der Ordinate die Aräometergrade, 1 Grad = 4 mm.

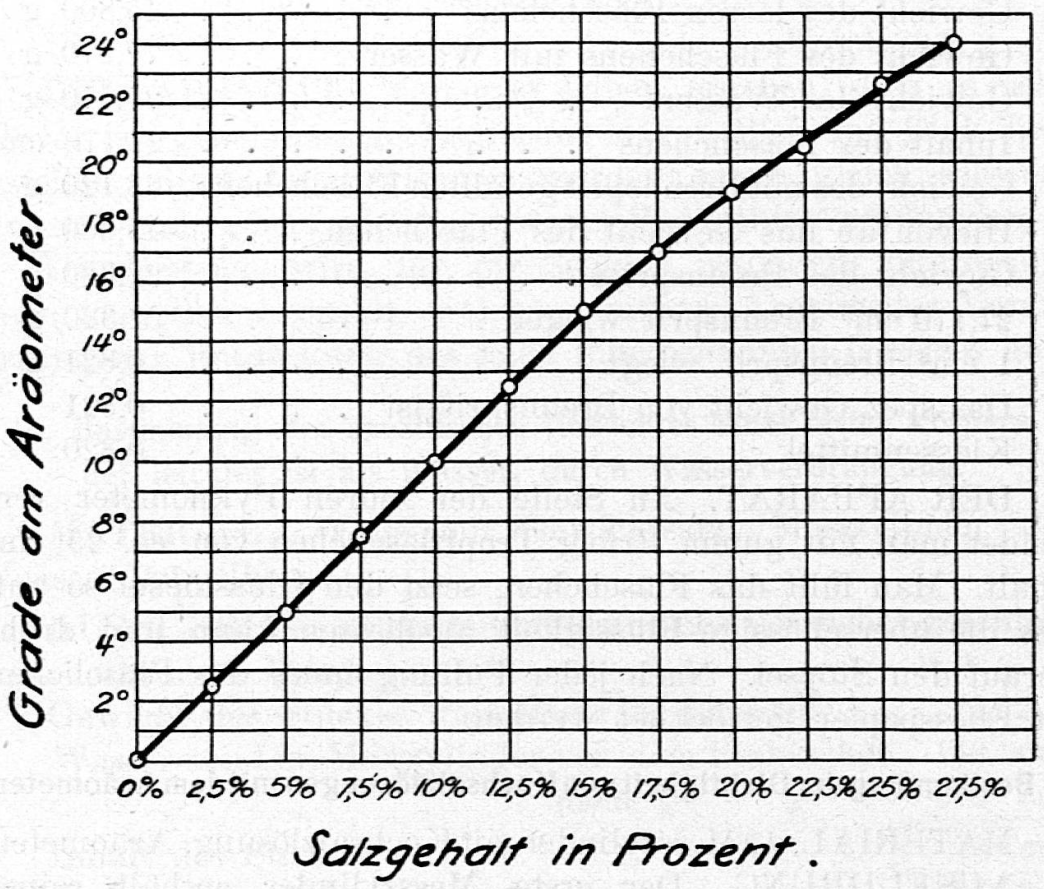

Fig. 10.

DER APPARAT. Das Aräometer hat seinen Nullpunkt in der Mitte der Skala, es kann also für leichte und schwere Flüssigkeiten verwendet werden.

Die Salzlösungen müssen eine Woche vor der Unterrichtsstunde hergestellt werden, da es lange geht, bis alles Kochsalz gelöst ist. Das Salz ist unterdessen öfters umzurühren. Auf 250 g Wasser berechnet, sind folgende Kochsalzmengen zuzusetzen:

Kochsalzgehalt in %:	in Gramm:	Kochsalzgehalt in %:	in Gramm:
2,5 %	6,4 g	17,5 %	53,0 g
5 %	13,2 g	20 %	62,5 g
7,5 %	20,3 g	22,5 %	72,6 g
10 %	27,8 g	25 %	83,3 g
12,5 %	35,7 g	27,5 %	94,8 g
15 %	44,1 g		

II. Lehre von der Wärme.

1. Leitung der Wärme.

MATERIAL. Jeder Schüler erhält je ein Stück Eisen- und Kupferdraht von ca. 6 cm Länge und von 20 cm Länge, alle Drähte von gleicher Dicke, 1,5—2 mm Durchmesser.

Jede Gruppe erhält eine Weingeistlampe, ein Drahtnetz, einen starken Nagel, einen Bleistift, ein Stück Nähfaden, einen Dreifuss, eine Asbestplatte, Zündholz.

AUSFÜHRUNG. Gruppiert euch um die Weingeistlampen, zündet diese an.

1. Eisen leitet die Wärme. Alle Schüler fassen das kürzere Eisendrahtstück zwischen Daumen und Zeigfinger. Auf 3! halten alle Schüler das Ende des Drahtstückes in den Rand der Flamme. Ich zähle weiter Sekunden. Wenn die Hitze zu gross wird, lasst das Stück fallen. Beobachtung: (Das Eisen leitet die Wärme nach den Fingern.)

2. Kupfer leitet die Wärme besser. Alle Schüler fassen das kurze Kupferdrahtstück. Ich zähle wie vorhin. Die Schüler lassen den Draht vor dem ersten Drittel der Zeit los. Kupfer leitet 5-mal besser als Eisen.

3. Haltet das lange Drahtstück in die Flamme und fährt mit dem Zeigfinger der andern Hand wiederholt langsam auf dem Draht gegen die Flamme.

4. Wiederholt den Versuch mit dem Kupferdrahtstück. Beobachtung: (Die Wärme pflanzt sich im Kupfer rascher fort.)

5. Ein guter Wärmeleiter schützt vor plötzlicher Temperaturerhöhung. Haltet das Drahtnetz über die Weingeistflamme, bewegt es auf- und abwärts. Beobachtung: (Die Flamme ist wie abgeschnitten.) Haltet ein Streichholz über das Drahtgeflecht. (Es brennt erst nach einiger Zeit ab.)

6. Wickelt um den grossen Nagel den Faden in einfacher Lage straff auf und haltet den Nagel für kurze Zeit in die Flamme. Beobachtung: (Der Faden bleibt unversehrt.)

Wickelt den Faden um den Bleistift und haltet ihn in die Flamme. (Er brennt ab.)

7. Gute Wärmeleiter geben die Wärme rasch ab. Legt auf den Dreifuss die Asbestplatte und auf diese ein Zündhölzchen ohne Kopf und das kurze Kupferdrahtstück. Nehmt, nachdem die Flamme einige Zeit gebrannt hat, die beiden Gegen-

stände weg. Beobachtung: (Das Kupfer erscheint wärmer als das Holz; es gibt die Wärme rasch an die Hand ab.) Gebt ähnliche Beispiele an. Wie verhalten sich ein kalter Leiter und ein kalter Nichtleiter? Beispiele. Wärmeisolatoren.

2. Vorgänge beim Erwärmen des Wassers.

MATERIAL. Mittelgrosser Kolben. Stativ, Dreifuss. Weingeistlampe. Thermometer. Drahtnetz. Brunnenwasser.

AUSFÜHRUNG. Füllt den Kolben etwa zur Hälfte mit Wasser. Befestigt ihn im Stativ etwa einen Centimeter über dem Drahtnetz, das ihr auf den Dreifuss legt. Stellt das Thermometer in den Kolben, sorgfältig, damit ihr den Boden nicht durchstösst. Rührt das Wasser von Zeit zu Zeit mit dem Thermometer um. Achtet auf das regelmässige Steigen des Thermometers. Ein Schüler jeder Gruppe notiert die Beobachtungen. Damit der Gang des Versuches nicht gestört wird, werden die beobachteten Erscheinungen erst nach Beendigung des Versuches besprochen.

1. Der Kolben beschlägt sich aussen mit Wasserdampf, der sich zu Tropfen vereinigt.
2. 30° Im Hals des Kolbens beginnt eine Trübung.
3. 40° Der Beschlag aussen am Kolben fängt an zu verschwinden.
4. 53° Der äussere Beschlag ist verschwunden.
5. 65° Der Beschlag im Hals verdichtet sich immer mehr.
6. 75° Kleine, feine Blasen steigen immer reichlicher auf.
7. 80° Aus der Mündung des Kolbens entweicht Wasserdampf.
8. 85° Immer mehr Bläschen steigen empor und erzeugen das „Singen“.
9. 90° Das Singen wird immer stärker, das Aufsteigen der Blasen immer lebhafter.
10. 97° Von einzelnen Punkten des Bodens erheben sich flammenartige Blasen, die wieder verschwinden.
11. 98,5° Das Wasser gerät in wallende Bewegung, Dampfwolken entsteigen der Mündung des Kolbens. Im Dampf steht das Thermometer auf 98,5°, im Wasser auf 99°.

Ergebnisse der Diskussion. Das Beschlagen mit Wasserdampf: Der Wasserdampf kann nicht aus der Luft des Zimmers herrühren, sonst müsste sich auch der auf dem Tisch

stehende Kolben beschlagen. Der Wasserdampf wird von der Flamme ausgehaucht; an den kältern Teilen des Kolbens wird er verdichtet. Schwitzen der Fensterscheiben.

Beschlag im Hals des Kolbens: Aufsteigender Wasserdampf wird von der kalten Kolbenwand verdichtet.

Aufsteigen feiner Blasen: Die im Wasser aufgelöste Luft wird ausgetrieben.

Verschwinden der ersten Dampfblasen: Die obern Schichten des Wassers sind kühler als die mit dem heissen Boden in Berührung stehenden. Der Dampf wird deshalb wieder abgekühlt, kondensiert.

Entweichender Wasserdampf: Im Kolben ist der Wasserdampf nicht sichtbar. Bei Berührung mit der Luft wird er verdichtet.

3. Ausdehnung des Wassers bei Erwärmen.

MATERIAL. Erlenmeyerkolben mit 150 cm³ Inhalt. Doppelt durchbohrter Kautschukpfropf. Thermometer. Glasröhre, 45 cm lang und 3—4 mm innere Weite. Masstab mit Millimeterteilung, 40 cm lang. Faden. Stativ. Dreifuss. Drahtnetz. Weingeistlampe. Ausgekochtes Wasser.

VORBEREITENDE ARBEITEN. Durch die Bohrungen des Kautschukpfropfes steckt man die Glasröhre und das Thermometer. Damit man dieses ohne Gefahr durchschieben kann, wird die Bohrung mit Glyzerin befeuchtet. Die Teilung soll bis etwa 10° sichtbar sein. Der Kolben wird mit ausgesottenem Wasser gefüllt. Wenn der Pfropf aufgesetzt wird, soll das Wasser in der Glasröhre über demselben sichtbar sein.

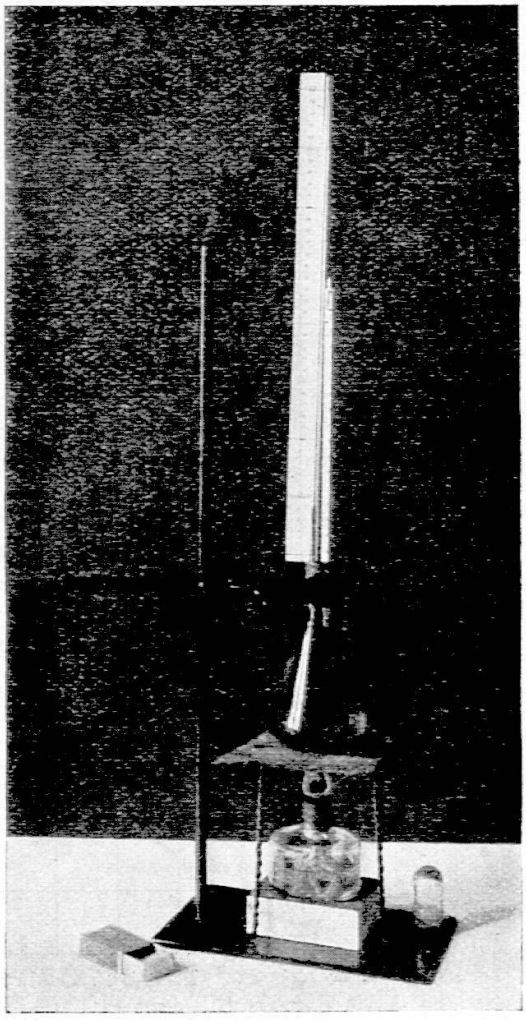

Fig 11.

AUSFÜHRUNG. (Fig. 11.) 1. Befestigt den Kolben im Stativ über Dreifuss und Drahtnetz. Befestigt ferner mit Nähfaden den Masstab an der Glasröhre, so dass er auf dem Pfropf aufsteht. Notiert die Temperatur des Wassers und den Wasserstand.

Stellt die angezündete Weingeistlampe unter den Kolben und wartet, bis die Temperatur um 5—8 Grad gestiegen ist. Zieht die Lampe weg und wartet ab, bis weder das Thermometer noch die Wassersäule weitersteigen. Lest Temperatur und Wasserstand ab und notiert sie.

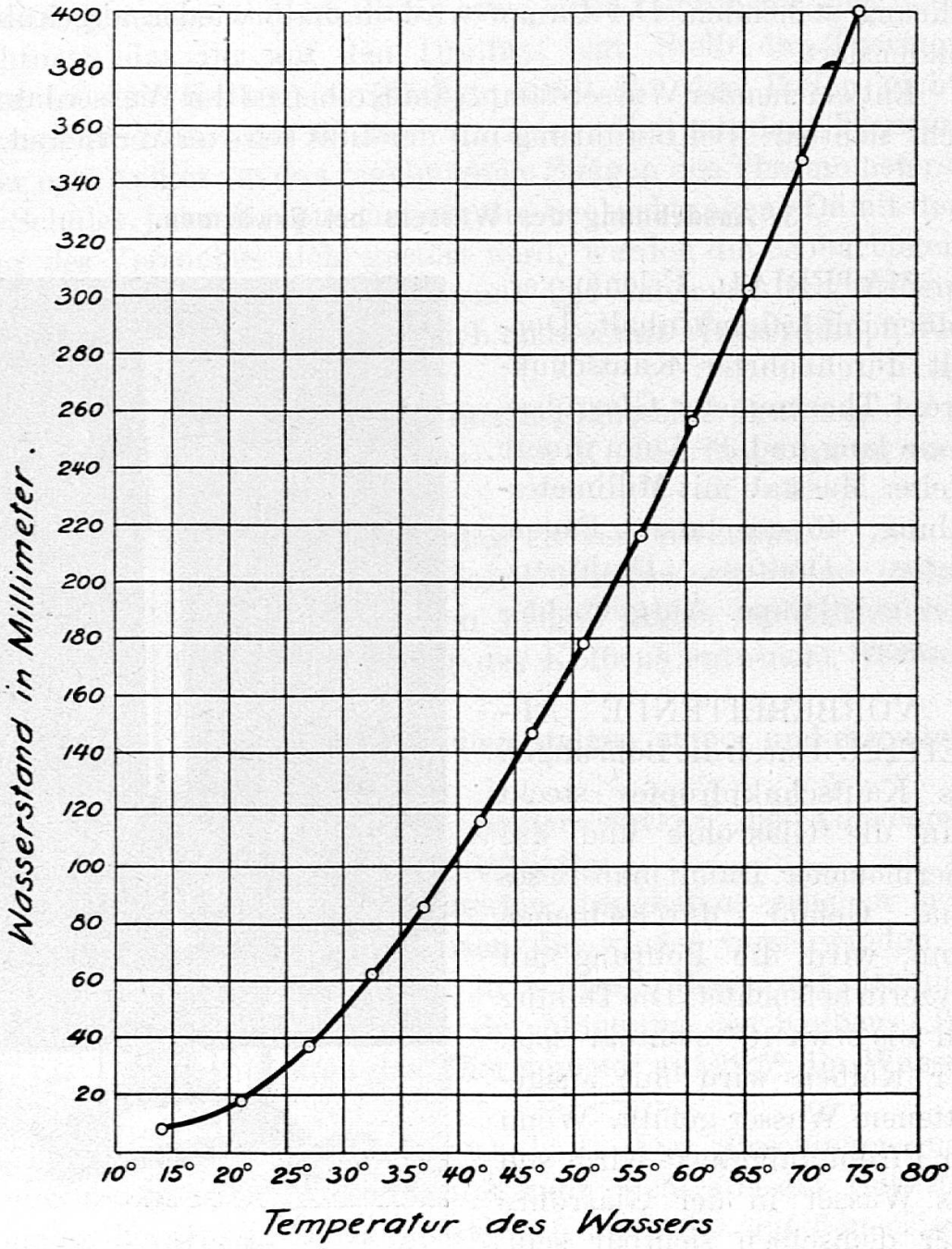

Fig. 12

Stellt nun die Lampe wieder unter den Kolben und verfahrt in gleicher Weise, bis die Temperatur auf etwa 70° gestiegen ist.

Eine Schülergruppe hat gefunden:

Temperatur:	Wasserstand:	Temperatur:	Wasserstand:
14°	6 mm	51°	178 mm
21°	18 „	56°	216 „
26,8°	37 „	60,5°	256 „
32,5°	62 „	65,5°	301 „
37°	86 „	70°	347 „
42°	116 „	75°	400 „
46,5°	146 „		

2. Graphische Darstellung. (Siehe Fig. 12.) Die Schüler erhalten ein Blatt 4 mm karriertes Papier. Auf der Abszisse werden die Temperaturen abgetragen, 1° = 4 mm; auf der Ordinate der Wasserstand, 10 cm als 4 mm.

3. Erkenntnis: 1. Das Wasser dehnt sich beim Erwärmen aus. 2. Die Ausdehnung ist unregelmässig; sie ist um so grösser, je höher die Temperatur ist.

DER APPARAT. Den Masstab verfertigt man aus Millimeterpapier, das man auf dünnen Karton aufzieht und in Streifen von 2 cm Breite und 42 cm Länge zerschneidet.

4. Bestimmung des Siedepunktes von reinem Wasser und von Salzwasser.

MATERIAL. Langhalsiger Kolben (Kjeldahl, Fig. 13.) Doppeltdurchbohrter Kork. Rechtwinklig gebogene, kurze aber weite Glasröhre. Stativ. Dreifuss. Drahtnetz. Weingeistlampe. Ausgesottenes Wasser. Thermometer. Kochsalz.

VORBEREITENDE ARBEITEN. Das Thermometer wird so durch den Kork geschoben, dass die Gegend um 100° wenig über dem Kork ist. In den Kolben bringt man ausgesottenes Wasser, doch so, dass das Thermometer nicht in dasselbe taucht. In die zweite Bohrung des Korkes steckt man eine kurze, rechtwinklig gebogene, ziemlich weite Glasröhre, deren Mündung so gerichtet werden soll, dass vom ausströmenden Dampf kein Schüler getroffen wird. (Siehe Fig. 13.)

AUSFÜHRUNG. 1. Bestimmung der Temperatur des Wasserdampfes. Beobachtet das Ansteigen des Thermometers. Welche Temperatur zeigt es an, wenn das Wasser leb-

haft siedet? (98,5 °.) Erhitzt weiter und beobachtet den Stand des Thermometers. (Es steigt nicht höher.)

2. Bestimmung der Temperatur des siedenden Wassers. Schiebt das Thermometer abwärts, so dass seine Kugel ins Wasser taucht. Beobachtung: Das Thermometer steigt etwas. (Bis 99 °.) Erklärung: Das Wasser ist nicht ganz rein.

3. Bestimmung der Temperatur einer Kochsalzlösung. Hebt den Pfropf ab und werft etwas Kochsalz in den Kolben. Setzt den Pfropf wieder auf und erwärmt weiter. Beobachtung: Das Thermometer steigt. Die Gruppe, die den höchsten Stand abliest, findet 108 °.

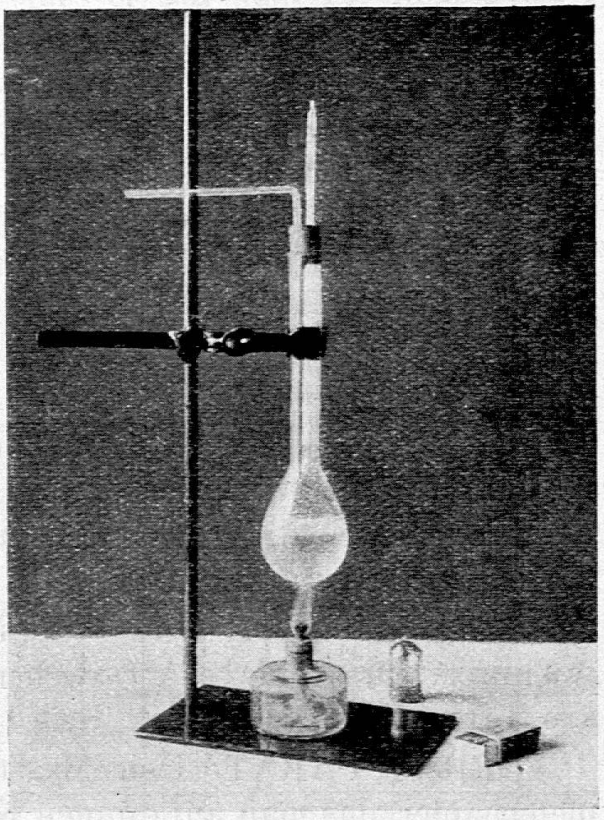

Fig. 13.

DER APPARAT. Die langhalsigen Kjeldahlkolben haben den Vorteil, dass sich das Thermometer bis gegen die Marke 100 ° im Kolben befindet und deshalb die Quecksilbersäule vollständig von heissen Dämpfen umgeben ist. Sie sind sehr widerstandsfähig.

5. Nachprüfung des Gefrierpunktes.

MATERIAL. Weites Glas (Batterieglas) mit Schnee. Thermometer.

AUSFÜHRUNG. Drückt den Schnee im Glas etwas fest. Stosst mit einem Bleistift einen Kanal in den Schnee, führt das Thermometer ein und drückt den Schnee an. Der Nullpunkt der Teilung muss sichtbar sein. Beobachtung: (Das Thermometer sinkt bis 0 ° und bleibt stehen.)

6. Kältemischung.

MATERIAL. Das vorige. Kochsalz. Reagenzgläschen. Lineal.

AUSFÜHRUNG. Schüttet Kochsalz auf den Schnee und mischt tüchtig mit einem Lineal. Stosst mit dem Bleistift einen Kanal in die Mischung, bringt das Thermometer hinein und umgebt es gut mit der Mischung. Gebt von Zeit zu Zeit die Temperatur an. Welche Gruppe liest die tiefste Temperatur ab? (—15° bis —22°.)

Gleichzeitig mit dem Thermometer versenkt auch das Reagenzgläschen mit etwas Wasser in die Mischung, indem ihr mit dem Lineal eine Vertiefung anbringt.

Beobachtet unterdessen die Erscheinungen aussen am Glas. (Es beschlägt sich mit Wasserdampf, sogar mit Reif.) Woher rührt der Wasserdampf? (Aus der Atmosphäre des Schulzimmers.) Warum schlägt er sich an die kalte Glaswand nieder? (Kalte Luft vermag nicht so viel Wasserdampf aufzulösen, wie warme Luft.) Vergleicht damit Vorgänge in der Natur. (Schwitzen der Fensterscheiben, Tau- und Reifbildung etc.)

Zieht nun das Reagenzglas aus der Kältemischung und versucht, das Wasser auszugiessen. (Nur wenige Tropfen fliessen heraus, das Wasser ist gefroren.) Kehrt die Mündung des Gläschens nach unten und umfasst es mit der warmen Hand. (Ein Eiskern in Form eines Fingerhutes fällt heraus.)

7. Bestimmung der Verdampfungswärme des Wassers.

MATERIAL. Wage mit Gewichtsatz. Erlenmeyerkolben von 150 cm³ Inhalt, mit doppeltdurchbortem Kautschukpfropf. U-förmig gebogene Glasröhre. Einmachglas mit 1½ l Wasser. Thermometer. Stativ. Dreifuss und Drahtnetz. Weingeistlampe. Unterlagbrettchen.

AUSFÜHRUNG. (Siehe Fig. 14.) Verseht den Glaskolben etwa zur Häfte mit Wasser, wägt ihn und notiert das Gewicht. Hängt die Wage auf die Seite. Befestigt in der Muffe die Klammer und in dieser den Kolben. Die eine Bohrung des Kautschukpfropfs ist durch ein Glasstäbchen verschlossen; steckt durch die andere Bohrung den kürzeren Schenkel der U-förmigen Glasröhre und setzt den Pfropf auf den Kolben. Den längern Schenkel der Glasröhre lasst ihr in das Einmachglas bis fast auf den Boden tauchen. Das Einmachglas enthält 1500 cm³ Wasser. Stellt das Thermometer in das Einmachglas und bestimmt die Temperatur des Kühlwassers. Stellt zwischen Kühlwassergefäss und Kolben einen Karton zum Abhalten der Wärme.

Zündet die Lampe an und erhitzt das Wasser. Achtet darauf, dass kein Wasser hinübergetrieben wird. Beobachtet am Ende des langen Schenkels der Glasröhre. (Zuerst entweicht Luft, die in Blasen aufsteigt. Später steigen keine Blasen mehr auf, die Luft ist ausgetrieben. Die sich bildenden Dampfblasen verschwinden rasch.) Man lässt den Versuch einige Zeit andauern. Ehe ihr die Lampen wegnehmt, hebt den Kolben so hoch, dass die Röhre nicht mehr in das Kühlwasser taucht! Wägt das Kölbchen wieder!

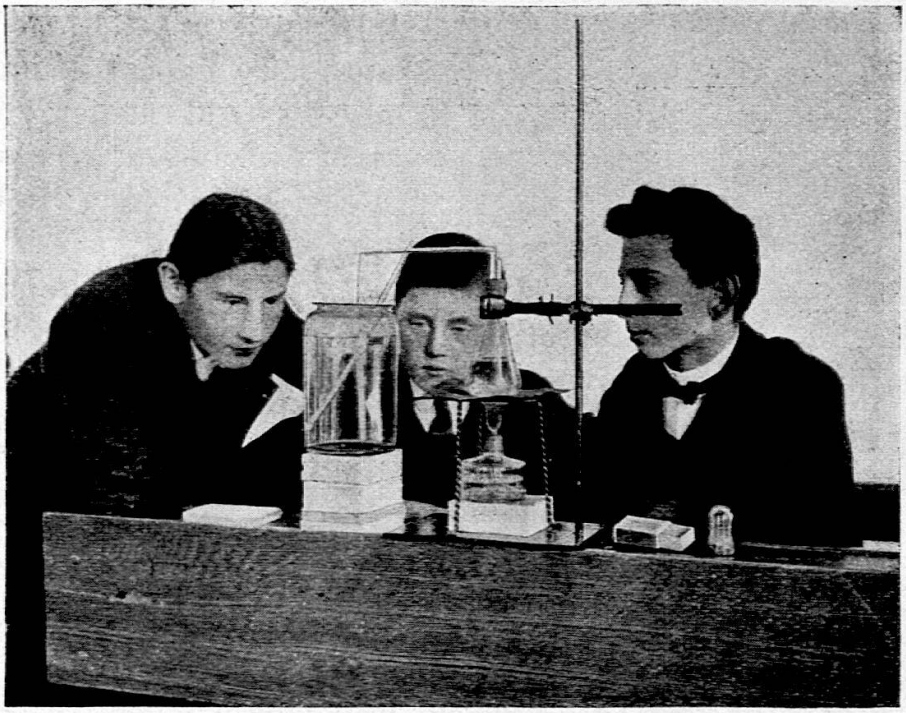

Fig. 14.

Die Berechnung wird nach folgendem Beispiel durchgeführt. (Die angeführten Werte sind von einer Schülergruppe gefunden.)

Gewicht des Fläschchens mit Wasser vor dem Versuch	115,3 g
„ „ „ „ „ nach „ „	103,0 g
Gewicht des verdampften Wassers	12,3 g
Temperatur des Kühlwassers vor dem Versuch . . .	10 °
„ „ „ nach „ „ . . .	15 °
Temperaturzunahme des Kühlwassers	5 °

12,3 g Wasserdampf haben 1500 g Wasser um 5 Grad erwärmt; hiezu sind 1500 · 5 kleine Wärmeeinheiten oder 7,5 grosse Wärmeeinheiten notwendig. Der kondensierte Wasserdampf

wurde von 99° auf 15°, also um 84° abgekühlt. Um 12,3 g Wasser um 84° abzukühlen, wurden abgegeben:

12,3 · 84 kleine oder 1,033 grosse WE.

12,3 g Wasserdampf haben bei der Verwandlung in Wasser von 100° abgegeben 7,5—1,033 WE gleich 6,467 WE.

1000 g Wasserdampf geben somit ab 6,467. 1000 : 12,3 = 526 WE. Wissenschaftlich ermittelt: 536 WE.

8. Verdunstungskälte.

MATERIAL. Thermometer. Watte. Nähfaden. Schwefeläther.

AUSFÜHRUNG. Lest am Thermometer die Zimmertemperatur ab. Ein Schüler taucht sein Thermometer in das Fläschchen mit Schwefeläther; er findet Zimmertemperatur. Befestigt einen kleinen Wattebausch mit etwas Faden an der Kugel des Thermometers und taucht der Reihe nach den Wattebausch in den Schwefeläther. Fasst das Thermometer an seinem obern Ende und schwingt es anfangs sachte, später lebhafter durch die Luft. Lest von Zeit zu Zeit die Temperatur ab. Welche Gruppe hat die tiefste Temperatur erhalten? (etwa — 16°) Woher rührt die Abkühlung?

Man giesst einigen Schülern etwas Schwefeläther auf die Hand und lässt sie die Beobachtung angeben. Woher rührt das Kältegefühl? Warum friert man in nassen Kleidern? Gebt weitere Erscheinungen an, die von der Verdunstungskälte herrühren.

III. Lehre vom Magnetismus.

1. Magnetische Grunderscheinungen.

MATERIAL. Stabmagnet. Magnetnadel auf Nadelstativ. Stativ mit eingespanntem Lineal oder Anhängegestell. Grosser Nagel, mittlere und kleine Nägel. Verschiedenartige Stoffe wie: Tuch, Holz, Harz, Glas, Metalle. Nickelmünzen. Aufhängebügel.

AUSFÜHRUNG. 1. Untersucht das Verhalten des Stabmagneten gegenüber verschiedenartigen Stoffen. (Der Magnet zieht nur Eisen (Stahl) und Nickel (Zwanzigrappenstück) an.)

2. Die magnetische Kraft äussert sich an den Polen. Legt den Stabmagneten auf ein Blatt Papier und überstreut ihn mit den kleinen Nägeln. Fasst ihn in der Mitte mit zwei Fingern und hebt ihn auf. Pole. Indifferenzstelle.

Hängt den grossen Nagel an einen Pol des wagrechtgehaltenen Magneten und schiebt den Nagel allmählig nach innen. (Er fällt ab.)

3. Die magnetische Kraft wirkt durch andere Körper hindurch. Führt den Magneten unter einem Blatt Papier durch, auf das ihr einige kleine Nägel gestreut habt.

Haltet den einen Pol des Magneten an die Fensterscheibe und ihm gegenüber einen kleinen Nagel. (Der Nagel kann an der Scheibe auf- und abgeführt werden.)

4. Der Magnet besitzt Richtkraft. Hängt den Aufhängebügel (Fig. 19.) an das Lineal im Stativ, (an das Anhängegestell) und legt den Stabmagneten in den Haken. Beobachtung: (Das eine Ende zeigt nach Nord, das andere nach Süd.)

Legt die Magnetnadel auf das Nadelstativ und vergleicht die Richtung. Nordpol. Südpol.

5. Das magnetische Gesetz. Nähert dem Nordpol der Magnetnadel den Nordpol des Magneten, dem Südpol den Südpol, hierauf dem Nordpol den Südpol und dem Südpol den Nordpol. Beobachtung. Gesetz.

6. Legt die beiden Magnete mit den gleichnamigen Polen aufeinander und dazwischen als Achse ein kleines Geldstück. Beobachtung: (Der obere Magnet dreht sich um 180 ^{0}.)

7. Untersuchung, ob ein Eisenstück magnetisch ist. Nähert den grossen Nagel dem Nordpol der Magnetnadel. (Er wird angezogen.) Ist der Nagel magnetisch? Nähert das gleiche Ende des Nagels dem Südpol der Magnetnadel. (Er wird angezogen.) Ist der Nagel magnetisch? Wann kann auf Magnetismus geschlossen werden? (Wann der eine Pol der Nadel abgestossen wird.)

8. Ungleichnamige Pole schwächen sich. Hängt an den einen Pol des wagrechtgehaltenen Magneten den grossen Nagel und schiebt langsam den entgegengesetzten Pol des andern Magneten darüber. Beobachtung: (Er fällt ab.) Versucht bei gleicher Lage der Magnete den Nagel wieder anzuhängen.

9. Gleichnamige Pole verstärken sich. Befestigt im Stativ einen Stabmagneten senkrecht und stellt darunter einen Nagel auf die Spitze. Probiert die Entfernung des Magneten so aus, dass der Nagel senkrecht steht und doch nicht angezogen wird. Nähert dem nach unten schauenden Pol den gleichnamigen Pol des anderen Magneten. Beobachtung: (Der Nagel schnellt an den Magneten hinauf.)

MATERIAL. Die Stabmagnete haben 1/2/27 cm. Die Magnetnadeln sind 11,5 cm lang. Das Nadelstativ kann man selbst machen. Da das gleiche Gestell auch bei den Versuchen über Elektrizität dient, stellt man es mit isolierendem Ständer und für jede Gruppe doppelt her. In ein quadratisches Brettchen von ca. 8 cm Seite bohrt man ein Loch von 1 cm Weite und kittet mit Siegellack einen 1 cm dicken Glasstab von etwa 15 cm Länge hinein. Den Glasstab umwickelt man oben in einigen Lagen mit einem 4 cm breiten Streifen festen Papiers, dessen Ende man verleimt, so dass eine Hülse entsteht. Diese giesst man mit Siegellack aus. Wenn dieser erhärtet ist, senkt man eine starke Nadel, deren Oehr man heiss gemacht hat, hinein und hält sie fest, bis der Siegellack wieder fest ist.

Auch der Aufhängebügel wird bei den Versuchen über Reibungselektrizität verwendet; er wird deshalb mit einem Seidenfaden versehen. Die Form ist in der Figur 19 angegeben.

Für eine Reihe von Versuchen verwendet man besser kleine, 6 mm lange Nägel anstatt Eisenfeilspäne. Die Magnete sind von den Nägeln viel leichter zu reinigen als von den Feilspänen.

2. Magnetische Induktion.

MATERIAL. Stabmagnet. Hufeisenmagnet. Stativ. Stricknadel. Ein ca. 10 cm langer Nagel, mittlere und kleine Nägel. Zwei Stücke dünner Eisendraht von 5—6 cm Länge. Eisenfeilspäne.

AUSFÜHRUNG. 1. Magnetismus durch Induktion. Taucht den einen Pol des Stabmagneten in die kleinen Nägel. Beobachtung: (Es bilden sich Ketten von Nägeln.)

2. Taucht den Hufeisenmagneten in die kleinen Nägel. Beobachtung: (Es bildet sich eine Brücke von Nägeln von einem Pol zum andern, die mit dem Finger erweitert werden kann.)

3. Dauer des induzierten Magnetismus. Befestigt den Stabmagneten wagrecht im Stativ und hängt an den einen Pol einen Nagel, an diesen einen zweiten, dritten u. s. f. Fasst den obersten Nagel und zieht ihn vom Magneten weg. Beobachtung: Die Nägel fallen von einander ab, bis vielleicht auf einen. Remanenter Magnetismus. Nehmt diesen Nagel weg und nähert ihn dem ersten Nagel wieder. Beobachtung: (Er wird nicht mehr angezogen.)

4. Taucht die Spitze des langen Nagels in Eisenfeile und zieht ihn wieder heraus: (Er ist unmagnetisch.)

Taucht die Spitze wieder ein und nähert dem Kopf des Nagels einen Magnetpol. Hebt beide hoch. Beobachtung: (Der Nagel ist magnetisch.) Entfernt den Magneten: (Die Eisenfeile fällt ab; der Nagel ist nur so lange magnetisch, als er im Bereich des Magneten ist.)

5. Untersuchung der Polarität im induzierten Körper. Haltet den grossen Nagel senkrecht und nähert seine Spitze dem Nordpol der Magnetnadel. Sie wird angezogen. Nähert nun den Nordpol des Stabmagneten dem Kopf des Nagels. Die Magnetnadel wird abgestossen. Die Spitze des Nagels ist ein Nordpol.

Wiederholt den Versuch am Südpol der Nadel, indem ihr dem Kopf des Nagels den Südpol nähert. Erkenntnis: (Das entferntere Ende des induzierten Körpers ist ein gleichnamiger Pol.)

6. Haltet den Nordpol des Stabmagneten in der Richtung der Magnetnadel einige Centimeter vom Südpol derselben hin und nähert der Nadel wagrecht von der Seite die Spitze des grossen Nagels. Beobachtung: Die Nadel weicht aus. Warum? (Die Spitze des Nagels muss zum Südpol geworden sein.) Oder:

Hängt eine unmagnetische Stricknadel in ihrem Schwerpunkt an einem Faden auf und nähert einem Ende auf einige Centimeter Abstand den Nordpol des einen Stabmagneten, so dass Nadel und Magnet die gleiche Richtung haben. Nähert von der Seite unter rechtem Winkel den Südpol des zweiten Stabmagneten. Beobachtung: (Die Nadel weicht aus; ihr dem Nordpol des Magneten zugekehrtes Ende ist ein Südpol.)

Erkenntnis: Der Magnet ruft im Eisen eine Verteilung hervor; der gleichnamige Magnetismus wird abgestossen, der ungleichnamige ins angenäherte Ende angezogen.

7. Hängt kurze, dünne Eisendrahtstücke nebeneinander an den einen Pol des Stabmagneten. Beobachtung: (Die untern Enden stossen sich ab. Wiederholt den gleichen Versuch mit zwei Zwanzigrappenstücken. Erklärt die Erscheinung. (Die unteren Enden sind gleichnamig magnetisch.)

8. Anfertigung eines künstlichen Magneten. Steckt die beiden Enden der Stricknadel in die Eisenfeilspäne. (Sie ist unmagnetisch.) Legt sie flach auf den Tisch, fasst mit der rechten Hand den Stabmagneten, setzt ihn mit dem Südende auf die Nadel und streicht, indem ihr den Magneten in

der Richtung des Streichens neigt, über die Nadel hin bis an das andere Ende; hebt ihn ab und kehrt in einem Bogen an den Anfang zurück. Wiederholt dies 15—20 mal. Bezeichnet das Ende, in dessen Richtung ihr gestrichen habt, mit einem roten, das andere mit einem blauen Stückchen Papier.

Steckt die Enden der Stricknadel wieder in die Eisenfeilspäne. (Sie ist magnetisch.) Bestimmt mit Hülfe der Magnetnadel die Pole. Welcher Pol ist in der Richtung des Streichens entstanden? (Ein Nordpol.)

9. Molekulare Theorie der Magnetisierung. Legt die magnetisierte Stricknadel auf den Tisch und überstreut sie mit Eisenfeilspänen. Wie verhält sich die Mitte der Nadel? (Sie ist unmagnetisch.) Zerbrecht die Nadel in der Mitte und legt die Stücke in der ursprünglichen Lage auf den Tisch. Untersucht die Bruchstellen auf ihren Magnetismus. (An der Indifferenzstelle sind entgegengesetzte Pole entstanden.) Zerbrecht eine der Hälften wieder und stellt wieder die Art der Pole fest. Stellt eine Skizze der zerbrochenen Nadel mit Angabe der Pole her. Siehe Fig. 15.

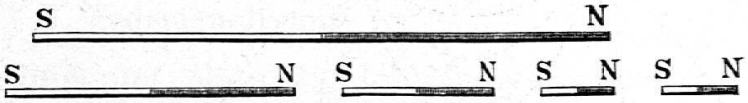

Fig. 15.

3. Magnetische Kraftlinien.

MATERIAL. 2 Stabmagnete, Eisenstab in der Grösse der Stabmagnete. Kürzerer Eisenstab. Eisenring. Feilspansieb. Lineale. Ein Blatt festes Papier.

AUSFÜHRUNG. Legt in allen Versuchen von 2 ab um den Magneten Lineale, so dass das darauf gelegte Blatt Papier eben liegt. Streut die Eisenfeilspäne aus mindestens 40 cm Höhe gleichmässig dünn auf das Papier. Pocht mit dem Bleistift leicht gegen das Papier. Entwerft von allen Kraftlinienbildern eine Skizze nach Fig. 16 und 17. Bringt nach Beendigung jedes Versuches die Eisenfeilspäne in das Gefäss zurück.

1. Kraftlinienbilder von Magneten, die senkrecht zur Papierfläche stehen. *a)* Ein Schüler hält mit der linken Hand den Stabmagneten senkrecht und mit der rechten Hand das Blatt Papier wagrecht darüber. Der andere Schüler stellt das Kraftlinienbild des Poles her.

b) Stellt beide Stabmagnete, die ungleichnamigen Pole einander gegenüber, in etwa 5 cm Abstand auf den Tisch, legt das Blatt Papier darüber und streut Eisenfeilspäne auf.

c) Ebenso die gleichnamigen Pole einander gegenüber.

2. Kraftlinienbilder von Magneten, die der Papierfläche parallel liegen.

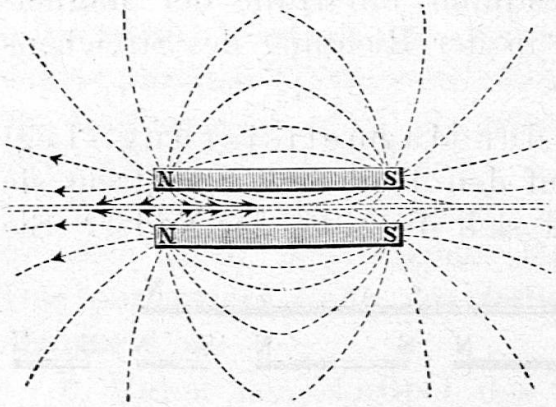

Fig. 16.

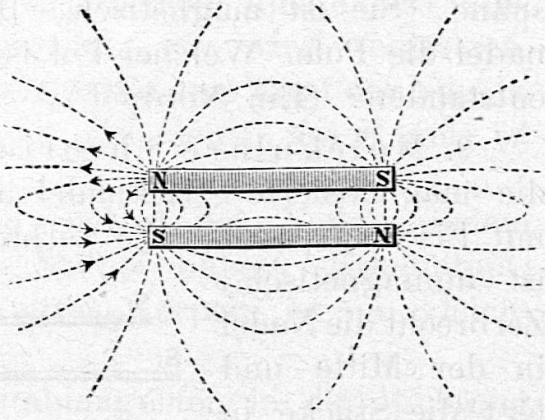

Fig. 17.

a) Kraftlinienbild eines Stabmagneten. Stellt das Kraftlinienbild des Stabmagneten her. Legt das Blatt Papier immer höher und erzeugt parallele Schnitte des Kraftlinienfeldes.

b) Kraftlinienbild von zwei Magneten, deren gleichnamige Pole einander gegenüber liegen, Abstand etwa 5 cm. (Fig. 16), deren ungleichnamige Pole einander gegenüber liegen (Fig. 17).

c) Kraftlinienbild des Hufeisenmagneten.

3. Beeinflussung des Kraftlinienfelds durch Eisen.

a) Legt die beiden Stabmagnete parallel in etwa 5 cm Abstand, die gleichnamigen Pole einander gegenüber und dazwischen den Eisenstab von gleicher Dimension wie die Stabmagnete; ebenso, die ungleichnamigen Pole einander gegenüber.

b) Legt die beiden Stabmagnete in eine Gerade in einem Abstand von etwa 5 cm und dazwischen quer den kurzen Eisenstab, zuerst die gleichnamigen Pole einander gegenüber, dann die ungleichnamigen Pole einander gegenüber.

c) Legt die beiden Stabmagnete parallel und, quer vor beide Pole, im Abstand von 2—3 cm das kurze Eisenstück, zuerst die gleichnamigen Pole, dann die ungleichnamigen Pole nebeneinander.

d) Legt die Stabmagnete in eine Gerade, die gleichnamigen Pole einander gegenüber und dazwischen den Eisenring, ebenso, die ungleichnamigen Pole einander gegenüber.

e) Legt die Stabmagnete parallel nebeneinander und zwischen die Pole den Eisenring, zuerst die gleichnamigen, dann die ungleichnamigen Pole nebeneinander.

DER APPARAT. Der grössere Eisenstab hat die Dimension des Stabmagneten. Der kleinere hat den gleichen Querschnitt, ist aber nur etwa 7 cm lang.

Der Eisenring hat 7 cm äussern und 4 cm innern Durchmesser. Stäbe und Ring sollen aus weichem Eisen hergestellt sein.

Als Feilspansieb dient ein weithalsiges Fläschchen, über dessen Öffnung feinmaschiger Tüll gespannt wird.

4. Erdmagnetismus.

MATERIAL. Stabmagnet. Magnetnadel. Nadelstativ. Stativ. Stahlstreifen mit Körner. Eisenstab. Hammer. Nähfaden.

AUSFÜHRUNG. 1. Verhalten der Magnetnadel im Kraftlinienfeld eines Magneten. Befestigt den Stabmagneten wagrecht im Stativ. Führt die an einem Faden aufgehängte Magnetnadel zuerst in wagrechter, dann in einer schiefen und auch in der senkrechten Ebene um den Magneten herum. Skizziert die Richtung der Nadel in den verschiedenen Lagen. (Nach Figur 18.)

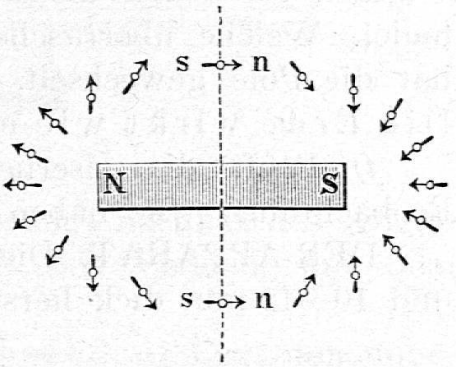

Fig. 18.

2. Herstellung einer Inklinationsnadel. Legt den mit einem Körner versehenen Stahlstreifen auf das Nadelstativ. (Er liegt horizontal und besitzt keine Richtkraft.)

Legt den Stahlstreifen auf den Tisch und streicht mit dem Nordpol des Stabmagneten 10 mal von der Mitte nach einem Ende; hierauf mit dem Südpol von der Mitte 20 mal nach dem andern Ende und endlich wieder mit dem Nordpol 10 mal von der Mitte aus in der ersten Richtung. Legt den Stahlstreifen wieder auf das Nadelstativ. Beobachtung: (Das Nordende sinkt nach unten.) Inklinationsnadel.

3. Induktion durch Erdmagnetismus. *a)* Befestigt den Eisenstab horizontal im Stativ und gebt ihm Ost-West-Richtung. Nähert seinen Enden die Magnetnadel auf dem Nadel-

stativ. Beobachtung: (Beide Pole der Nadel werden angezogen, er ist unmagnetisch.)

b) Gebt dem Stab die Richtung der Inklinationsnadel und nähert dessen unterm Ende den Nordpol der Magnetnadel. Beobachtung: (Er wird abgestossen; der Stab hat unten einen Nordpol.)

c) Nähert dem obern Ende des Stabes den Südpol der Magnetnadel. Beobachtung: (Es ist ein Südpol,) Schreibt mit Kreide auf das untere Ende ein N, auf das obere Ende ein S.

d) Legt hierauf den Stab in die Ost-West-Richtung und führt mit dem Hammer ein paar Streiche an ein Ende in der Längsrichtung. Nähert die Magnetnadel den beiden Enden: (Der Stab ist wieder unmagnetisch.)

e) Befestigt den Stab wieder in der Richtung der Inklinationsnadel im Stativ, aber in umgekehrter Richtung, N oben, S unten. Untersucht die Enden des Stabes wieder mit der Magnetnadel. Welche überraschende Tatsache ergibt sich? (Der Stab hat die Pole gewechselt, Nord ist wieder unten.) Erkenntnis: Die Erde wirkt wie ein Magnet.

f) Prüft die eisernen Fensterstangen auf Magnetismus. Beobachtung: (Sie haben unten einen Nord-, oben einen Südpol.

DER APPARAT. Die Eisenstäbe lasse man etwa 80 cm lang und 10—12 mm dick herstellen.

IV. Lehre von der Elektrizität.

1. Elektrische Grunderscheinungen.

MATERIAL. 2 Glasstäbe. Seidenlappen. 2 Siegellackstäbe ev. 2 Hartgummistäbe. Woll-Lappen. Verschiedene leichte Gegenstände wie Watte, Kleie, Papierschnitzel, Markkügelchen, leere Eischale, Pillenschachtel. Nadelstativ zum Auflegen von Schilfrohr oder Strohhalm. Stativ mit eingespanntem Lineal oder Anhängegestell. Holundermarkkügelchen an Seidenfaden. Aufhängehaken. Lineal mit Bohrung.

AUSFÜHRUNG. 1. Elektrische Anziehung. Reibt den Glasstab mit dem Seidenlappen, den Hartgummistab mit dem Woll-Lappen, indem ihr nur in einer Richtung streicht, und nähert den geriebenen Stab leichten Gegenständen wie Watte, Kleie, Papierschnitzelchen, Markkügelchen, dem Haar des Mit-

schülers. Beobachtung: (Die Gegenstände werden angezogen.) Legt das Schilfrohr auf das Nadelstativ und führt es im Kreise herum, ebenso das Lineal mit Bohrung. Versucht, die Eischale, leichte Papierrollen, oder eine runde Pillenschachtel ins Rollen zu bringen.

Reibt ein Lineal, einen Schlüssel mit Wolle oder Seide und versucht, leichte Körper anzuziehen.

2. Elektrische Abstossung. Hängt das Holundermarkkügelchen mit einem Seidenfaden an das Lineal. Berührt es

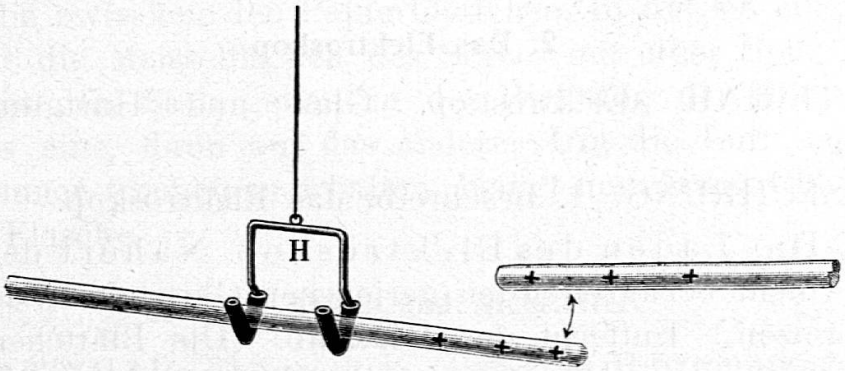

Fig. 19.

mit dem geriebenen Glasstab und verfolgt nachher das Kügelchen mit dem Glasstab. Wiederholt den Versuch mit dem geriebenen Hartgummistab.

3. Das elektrische Grundgesetz. *a)* Legt den ungeriebenen Glasstab in den Aufhängehaken und nähert ihm den geriebenen Glasstab. (Er wird angezogen.)

b) Legt den geriebenen Glasstab in den Aufhängehaken und nähert ihm den geriebenen Glasstab. (Sie stossen einander ab.) (Fig. 19.)

c) Wiederholt die Versuche unter *a* und *b* mit dem Ebonitstab.

d) Legt den geriebenen Glasstab in den Aufhängehaken und nähert ihm den geriebenen Hartgummistab, ebenso dem geriebenen Hartgummistab den geriebenen Glasstab. Beobachtung: (Sie ziehen einander an.)

Erkenntnis: Es gibt zwei elektrische Zustände. Gesetz.

DER APPARAT. Die Versuche über Reibungselektrizität gelingen am besten in trockener Luft. Die Apparate sollen warm und trocken sein. Glasstäbe reibt man mit Spiritus, Hartgummistäbe mit Benzin ab. Stäbe und Reibzeug lege man bei

ungünstigem Wetter auf ein Eisenblech, unter dem eine Weingeistlampe brennt.

Hartgummistäbe und Glasstäbe wähle man 35 cm lang und 12 mm dick. Ein Lineal wird auf der Messerschneide ausbalanziert; mit einem kleinen Bohrer bohrt man durch den Schwerpunkt ein Loch, das nicht ganz durchgeht. Das Lineal ist auf der Nadelspitze leicht beweglich. Noch leichter beweglich ist ein Schilfrohr, das man im Schwerpunkt zur Hälfte durchbohrt und in dessen Enden man in senkrechten Spalten runde Papierstücke anbringt.

2. Das Elektroskop.

MATERIAL. Elektroskop. Glas- und Hartgummistab. Reibzeug.

AUSFÜHRUNG. 1. Beschreibt das Elektroskop.

2. *a)* Das Laden des Elektroskop. Nähert dem Elektroskop (nicht berühren!) den geriebenen Glasstab. (Die Blättchen spreizen.) Entfernt den Glasstab. (Die Blättchen fallen zusammen.)

b) Berührt das Ende des Metallstabes mit dem geriebenen Glasstab. (Die Blättchen spreizen wieder.) Entfernt den Glasstab. (Die Blättchen verharren in ihrer Lage.)

c) Berührt den Metallstab des Elektroskops mit dem Finger und führt die Versuche mit dem Hartgummistab durch.

3. Das Verhalten des Elektroskops gegen gleichnamige und ungleichnamige Elektrizität. Ladet das Elektroskop mit positiver Elektrizität und nähert ihm den geriebenen Glasstab. (Die Blättchen weichen noch weiter von einander.) Nähert ihm den geriebenen Hartgummistab. (Die Blättchen nähern sich.) Entfernt den Hartgummistab. (Sie kehren wieder in ihre Lage zurück.)

Führt diese Versuche durch, indem ihr das Elektroskop negativ ladet.

Erkenntnis: Wenn dem geladenen Elektroskop ein gleichnamig geladener Körper genähert wird, spreizen die Blättchen noch mehr, wenn ein entgegengesetzt elektrischer Körper genähert wird, nähern sie sich, um nach der Entfernung wieder in die frühere Lage zurückzukehren.

Für die Erklärung dieser Erscheinungen müssen wir erst neue Tatsachen kennen lernen.

DER APPARAT. Elektroskope kann man in folgender Weise herstellen: Man lässt vom Glasbläser den Hals eines Literkolbens auf 3 cm Länge verkürzen. Auf den Kolben setzt man einen einfach durchbohrten Kautschukpfropf. Durch die Bohrung schiebt man ein etwa 8 cm langes Stück Blitzableiterdraht, das man oben rundet und unten meisselförmig zuhämmert. Der schwierigste Teil der Arbeit ist das Anbringen der Gold- oder Aluminiumblättchen. Man schneidet die Gold- oder Aluminiumfolie zwischen den Papierblättchen, in die sie eingelegt ist, versieht die Meisselflächen des Stabes mit einer Spur Klebstoff und legt den Stab genau in der Richtung der Blättchen erst auf das eine, dann auf das andere. Um die Luft im Elektroskop immer trocken zu erhalten, bringt man etwas Chlorcalcium in die Flasche.

3. Leiter und Nichtleiter.

MATERIAL. Elektroskop. Glas- und Hartgummistab. Reibzeug. Seiden- und Baumwollfaden. Holzstäbchen. Metalldraht. Stativ. Nadelstativ. Pelz.

AUSFÜHRUNG. 1. Berührt das geladene Elektroskop mit einem ungeriebenen Glasstab, einem ungeriebenen Hartgummistab, mit dem Seiden- und mit dem Woll-Lappen, hierauf mit dem Finger. Beobachtung. (Die Berührung mit den erstgenannten Körpern hat keine Veränderung zur Folge, wohl aber die Berührung mit der Hand.)

Ladet das Elektroskop wieder und berührt es mit einem Lineal, einem metallenen Gegenstand (Schlüssel, Messerklinge.)

Erkenntnis: Es gibt Leiter und Nichtleiter.

2. Verbindet das Elektroskop durch einen etwa 60 cm langen Seidenfaden mit dem Nadelstativ und berührt den Faden in der Nähe des Stativs mit dem geriebenen Glasstab oder Hartgummistab. Beobachtung: (Die Blättchen gehen nicht auseinander; Seide ist ein Nichtleiter.)

Macht den Seidenfaden nass und führt den Versuch wieder aus. Beobachtung: (Nasse Seide ist ein Leiter der Elektrizität.)

3. Leiter. Ersetzt den Seidenfaden durch einen Baumwollfaden, einen Metalldraht, ein Holzstäbchen. Sagt, wie sich diese Körper verhalten.

4. Nähert dem an einem Seidenfaden hangenden Holundermarkkügelchen den geriebenen Glasstab. Beobachtung: (Es wird zuerst angezogen, dann abgestossen.) Erklärt den Vorgang.

Nähert dem an einem Baumwollfaden hangenden Holundermarkkügelchen den Glasstab. Beobachtung: (Es wird immer angezogen.) Erklärt!

5. Haltet die eine Hand und den geriebenen Glas- oder Hartgummistab in geringer Entfernung links und rechts vom Holundermarkkügelchen, das an einem Seidenfaden aufgehängt ist und beobachtet das Verhalten des Kügelchen. (Es pendelt zwischen Hand und Stab hin und her.)

6. Alle Körper werden durch Reiben elektrisch. Welcher Art waren die Körper, die wir durch Reiben elektrisch machen konnten? (Nichtleiter.) Warum konnten wir Leiter nicht elektrisch machen? (Die Elektrizität wurde durch unsere Hand fortgeleitet.) Wie werden wir also verfahren müssen, um auch diese Körper elektrisch zu machen? (Wir müssen sie isolieren.) Befestigt an einem Seidenfaden einen metallenen Gegenstand und peitscht ihn mit Pelz. Berührt mit dem Gegenstand das Elektroskop und prüft die Art der Elektrizität.

Wiederholt den Versuch, indem ihr ein Holzstück oder ein kleines Buch isoliert aufhängt und mit Pelz peitscht. Prüft wieder die Art der Elektrizität.

4. Elektrische Induktion.

MATERIAL. Glas- und Ebonitstab. Reibzeug. 2 Nadelstative. 2 Äpfel. (Rüben, Orangen.) Metalldraht. Elektroskop. 2 Doppelpendel. Stecknadeln.

AUSFÜHRUNG. 1. Elektrisierung durch Induktion. Steckt auf ein Nadelstativ einen Apfel. Nähert ihm den geriebenen Glasstab und entfernt ihn wieder. Fasst das Nadelstativ unten und berührt mit dem Apfel die Metallstange des Elektroskops. Beobachtung: (Der Apfel ist unelektrisch.)

2. Nähert dem isoliert aufgestellten Apfel den geriebenen Glasstab wieder und berührt gleichzeitig den Apfel mit einem Finger. Berührt das Elektroskop wieder mit dem Apfel. Beobachtung: (Die Blättchen spreizen, der Apfel war elektrisch.) Nähert dem Elektroskop den geriebenen Glasstab wieder: (Die Blättchen nähern sich, um sich nach der Entfernung des Glasstabes wieder von einander zu entfernen.) Nähert dem Elektro-

skop den geriebenen Hartgummistab. (Die Blättchen spreizen stärker.) Der Apfel war negativ elektrisch.

3. Wiederholt den Versuch mit dem Hartgummistab. Sucht in Anlehnung an die Erklärung der Erscheinungen bei der magnetischen Induktion, die Erklärung für diese Tatsachen. Entwerft zu der Erklärung Skizzen.

4. Nähert dem Apfel wieder den geriebenen Glasstab und berührt ihn auf der dem Stab zugekehrten Seite. Prüft die Art der Elektrizität. (Er ist wieder negativ elektrisch.) Erklärt und entwerft eine Skizze.

5. Wiederholt den Versuch mit dem Hartgummistab.

6. Steckt auch auf das zweite Stativ einen Apfel und stellt die beiden so nebeneinander auf, dass die Äpfel sich berühren. Nähert dem einen Apfel den geriebenen Glasstab und entfernt rasch die beiden Äpfel von einander. Untersucht. (Der erste Apfel ist negativ, der entferntere positiv elektrisch.) Stellt eine erklärende Skizze her.

7. Wiederholt den Versuch mit dem Ebonitstab.

8. Die elektrische Verteilung vollzieht sich augenblicklich. Stellt die beiden Äpfel in etwa einem Meter Entfernung von einander auf und verbindet sie durch einen Metalldraht, dessen Enden ihr in die Äpfel steckt. Verbindet den zweiten Apfel leitend mit dem Elektroskop. Nähert dem ersten Apfel den geriebenen Glasstab. Beobachtung. (Im gleichen Augenblick spreizen die Blättchen.) Berührt den ersten Apfel. (Die Blättchen fallen zusammen.) Entfernt den Glasstab. (Sie spreizen wieder.) Nähert den Glasstab dem Elektroskop. (Sie nähern sich, sind negativ elektrisch.) Erklärt.

9. Wiederholt den Versuch mit dem Hartgummistab.

10. Befestigt an jedem Apfel ein kleines Doppelpendel und erklärt das Verhalten der Pendel, wenn ihr erstens einen geriebenen Stab annähert, dann zweitens einen der beiden Äpfel mit dem Finger berührt und drittens den Stab entfernt.

11. Theorie des Elektroskops. Erklärt nun das Verhalten des Elektroskops bei folgenden Versuchen und stellt Skizzen her.

a) Nähert den geriebenen Glasstab und entfernt ihn wieder.

b) Nähert den Glasstab, berührt das Elektroskop mit dem Finger und entfernt Stab und Finger. (Indirektes Laden.)

c) Nähert den Glasstab wieder; nähert nachher den Hartgummistab.

d) Führt die Versuche unter *a, b* und *c* mit dem Ebonitstab aus.

12. Vergleicht die elektrischen und die magnetischen Erscheinungen mit einander.

V. Lehre vom Galvanismus.

1. Galvanische Grunderscheinungen.

MATERIAL. Batterieglas. 2 Kupfer- und 2 Zinkplatten. Magnetnadel auf Nadelstativ. Leitungsdraht, 2 Stück von je 1 m Länge. Wasser. Schwefelsäure. Glasstäbe.

AUSFÜHRUNG. 1. Stellt in das Glas mit Wasser 2 Kupferplatten und dazwischen den Glasstab, damit sie sich nicht berühren können. Verbindet die beiden Klemmen mit einem isolierten Kupferdraht. Führt ihn in der Richtung der Magnetnadel an dieser vorbei und beobachtet das Verhalten der Nadel. (Kein Ausschlag.)

2. Führt den gleichen Versuch mit zwei Zinkplatten aus. (Kein Ausschlag.)

3. Verwendet zum gleichen Versuch eine Kupfer- und eine Zinkplatte. (Kein Ausschlag.)

4. Stellt in das Glas wieder 2 Kupfer- oder 2 Zinkplatten und setzt dem Wasser etwas Schwefelsäure zu. (Wieder negatives Ergebnis.)

5. Stellt in das angesäuerte Wasser eine Kupfer- und eine Zinkplatte und führt den Draht wieder an der Magnetnadel vorüber. (Es erfolgt ein Ausschlag der Nadel.)

Beobachtet die Erscheinungen im Glasgefäss. (Gasentwicklung.)

Elektrischer Strom. Positiver und negativer Pol.

DER APPARAT. Die Metallplatten für den Voltaischen Fundamentalversuch erhalten die Dimensionen 18 cm auf 4,5 cm. Man versieht sie oben mit Klemmen.

Der Gleichrichter. Fig. 20, 21, 22. Grätz beschreibt in seinem Buche: „Die Elektrizität“ den nach ihm benannten Gleichrichter, der es möglich macht, ohne rotierende Apparate Wechselstrom in Gleichstrom zu verwandeln. Er beruht darauf, dass Aluminium als Anode den Strom nicht durchlässt. Der Gleichrichter kann den Schulen, die an ein Elektrizitätswerk

angeschlossen sind, sehr empfohlen werden; er liefert ziemliche Strommengen, verlangt wenig Unterhalt und kann leicht selbst mit geringen Kosten erstellt werden.

Der Gleichrichter besteht aus vier Glaszellen, in denen je eine Eisenplatte und eine Aluminiumplatte stehen. Fig. 20 zeigt die Schaltung schematisch. A, B, C und D stellen die 4 Zellen dar; der dicke Strich bezeichnet die Eisenelektrode, der Doppelstrich die Aluminiumelektrode. Die positive Hälfte der Stromwelle tritt bei W ein und geht, da sie bei B auf Aluminium trifft, über A nach E. Bei D kann der Strom nicht austreten, da er auf Aluminium trifft; er geht somit von E nach F und über C zurück. Die negative Hälfte der Stromwelle tritt bei W_1 ein, geht über D nach E und von dort über F und B in die Leitung. Im Leitungsstück E F fliessen die Stromwellen somit in gleicher Richtung.

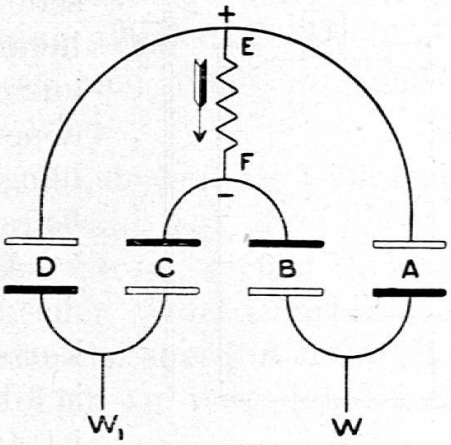

Fig. 20.

Der Wechselstrom wird mit Vorteil zuerst transformiert. Wir schicken ihn durch den Transformator der Projektionslampe, so dass er nur noch etwa 50 Volt Spannung hat. Die Anordnung unseres Gleichrichters zeigt Fig. 21. Ein starker Holzkasten ist durch 3 Scheidewände in 4 Abteilungen geteilt. In diesen befinden sich 4 Glaszellen von 26 cm Höhe, 17 cm Länge und 6,5 cm Breite (von der Akkumulatorenfabrik Örlikon zu 70 Rappen das Stück geliefert). In diesen stehen dieElektroden. Die Eisenelektrode ist ausgezogen, die Aluminiumelektrode durch einen Doppelstrich dargestellt. Aus Eisenblech von 2 mm Dicke

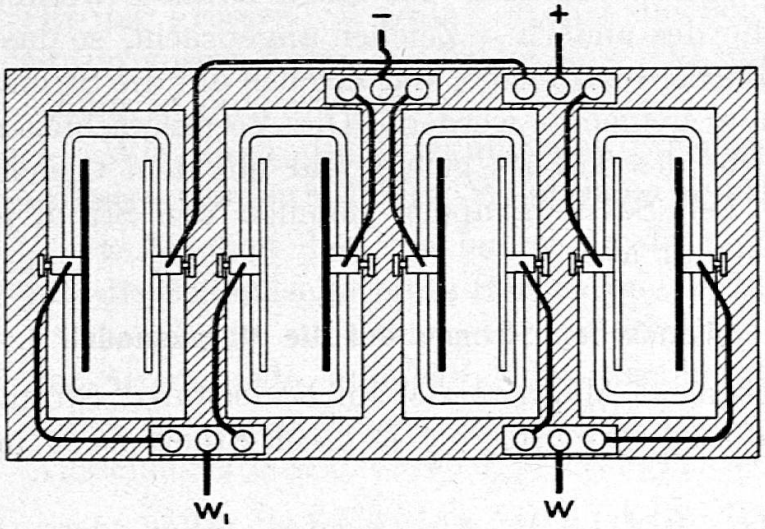

Fig. 21.

und Aluminiumblech von 0,8 mm Dicke lässt man Rechtecke von 24 cm Länge und 13 cm Breite schneiden. Aus einer Schmalseite schneidet man 3 cm tief 2 Ausschnitte heraus (siehe Fig. 22) und biegt die zwei äusseren Vorsprünge zu Haken um, mit denen die Platten an die Glaszellen gehängt werden. Am mittleren Vorsprung befestigt man eine Klemme.

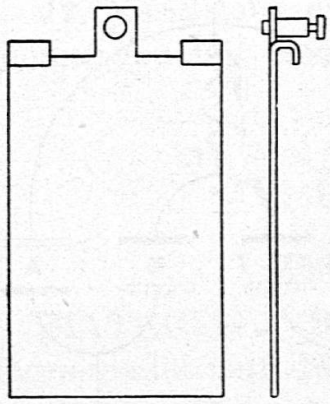

Fig. 22.

Auf dem Kasten bringt man, wie in der Fig. 21 angegeben ist, auf jeder Seite kurze Messingblechstreifen an, auf welchen je 3 Klemmen stehen. Die Drahtverbindung ist aus der Figur ersichtlich.

Die Zellen werden mit Wasser gefüllt, dem auf jede Zelle etwa ein Esslöffel voll Natriumbikarbonat und etwas Alaun zugesetzt wird.

Damit die Bleche sich nicht berühren können, stellt man Glasstäbe dazwischen.

Die Verteilerschienen. Um den Schülergruppen den Strom zuzuführen, bedienen wir uns der Verteilerschienen. Auf zwei Latten von je einem Meter Länge und 5—6 cm Breite werden 2 gut isolierte, starke Leitungsdrähte verschiedener Farbe parallel im Abstand von etwa 3 cm gezogen. In Abständen von etwa 30 cm wird die Isolierung entfernt und werden Klemmen eingeschraubt. Neben die Klemmen des einen Drahtes werden + Zeichen, neben die des andern — Zeichen angebracht, so dass die Schüler durch Farbe des Drahtes und Zeichen auf die Stromrichtung aufmerksam gemacht werden. Die Verteilerschienen werden auf die Mitte des Tisches gelegt und mit dem Gleichrichter verbunden. Die Schülergruppen nehmen den Strom je von einem Klemmenpaar ab.

2. Wirkung des galvanischen Stromes auf die Magnetnadel.

MATERIAL. Element. Magnetnadel auf Nadelstativ. Stromwender. Multiplikator. Leitungsdraht, je zwei Stück zu 2 m, 1,2 m, 60 cm.

AUSFÜHRUNG. 1. Die Magnetnadel wird durch den Strom aus ihrer Richtung abgelenkt. Befestigt den Leitungsdraht von 1 m Länge an den beiden Polen der Stromquelle. Führt den Draht geradlinig in der Richtung der

Nadel über dieser vorbei. Merkt euch die Richtung, in der der Nordpol ausschlägt. Haltet den Draht, ohne die Richtung zu ändern, unter die Magnetnadel. Beobachtung: (Der Nordpol wird in der entgegengesetzten Richtung abgelenkt). Dreht den Draht um 180° in der Längsrichtung und führt ihn wieder zuerst über, dann unter der Nadel vorbei.

2. Die Rechte-Hand-Regel. Wiederholt die 4 Versuche, indem ihr die rechte Hand so an den Draht legt, dass der vom Kupfer kommende Strom, der positive Strom, in der Richtung der Finger fliesst und die Handfläche der Nadel zugekehrt ist; streckt dabei den Daumen aus. Welche Regel ergibt sich? (Der Ausschlag des Nordpols erfolgt in der Richtung des ausgestreckten Daumens.)

3. Bestimmung der Stromrichtung. Der eine Schüler hält den Draht in beliebiger Richtung an die Nadel, der andere Schüler der Gruppe bestimmt aus der Richtung des Ausschlages die Richtung des Stromes.

4. *a)* Der Multiplikator. Krümmt den Draht in die Form eines U mit langen Schenkeln und legt ihn so an die Nadel, dass der Strom über der Nadel von Süd nach Nord und unter der Nadel von Nord nach Süd fliesst. Zeigt durch Hineinlegen der rechten Hand in den Stromkreis, dass der Ausschlag in beiden Malen in der gleichen Richtung, nach West, erfolgen muss. Was beobachtet ihr über die Grösse des Ausschlages? (Er ist grösser.) Warum? Kehrt die Schleife um, so dass der Strom zuerst unter der Nadel von Süd nach Nord fliesst. (Ausschlag in entgegengesetzter Richtung.)

Wie kann die Wirkung des Stromes auf die Nadel vergrössert werden? (Mehr Windungen anbringen.)

b) Wickelt den 2 m langen Draht nicht zu straff mehrmals um die Schmalseite eines Buches und zieht das erhaltene Rechteck sorgfältig vom Buch ab. Befestigt die Enden an den Polen der Stromquelle und haltet das Rechteck so, dass die Magnetnadel in ihrem Innern liegt. Wie verhält sich die Grösse des Ausschlages gegen vorher? Multiplikator.

5. Der Nadeltelegraph. Legt die Magnetnadel auf die Nadelspitze im Multiplikator. Wie müssen wir verfahren, dass die Nadel nach Belieben nach links und rechts ausschlägt? (Eine Vorrichtung einschalten, die es uns möglich macht, den Strom

nach Belieben durch die eine oder andere Klemme in den Multiplikator zu schicken.)

6. Beschreibt den Stromwender. Schaltet ihn zwischen Stromquelle und Multiplikator ein. Lasst die Nadel nach West und Ost ausschlagen. Gebt an, wie diese Ausschläge zum Übermitteln von Nachrichten dienen können. Nadeltelegraph.

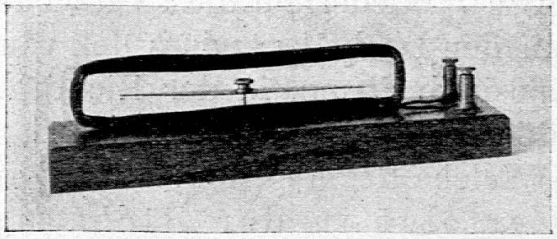

Fig. 23.

DER APPARAT. 1. Der Multiplikator. (Fig. 23.) Einen dauernden Multiplikator kann man in folgender Weise herstellen:

Um ein Brettchen von 13 cm Breite und 2 cm Dicke wickelt man dicht neben- und übereinander umsponnenen Draht von 0,7 mm Dicke in etwa 20 Lagen. Der Draht wird wiederholt mit Schellacklösung bestrichen und wenn das Ganze erhärtet ist, vom Brettchen abgenommen. In der Mitte der unteren Längsseite des Drahtvierecks werden die Windungen etwas von einander entfernt für den Durchgang der Nadel, welche die Magnetnadel tragen soll. Als Unterlage dient ein Brettchen von 20 cm Länge, 6 cm Breite und 2 cm Dicke.

In der Mitte der Breite, etwa 8,5 cm von der einen Schmalseite des Brettchens bohrt man senkrecht ein Loch, das man mit geschmolzenem Siegellack füllt. Wenn dieser erhärtet ist, steckt man von oben eine heiss gemachte Nähnadel in das Bohrloch, so dass die Spitze etwa 15 mm über das Brettchen vorspringt. Dann stellt man das Drahtviereck auf das Brettchen, so dass die Nadel durch die Öffnung in der Langseite etwas über die Mitte in den Hohlraum des Rechtecks hineinschaut. An beiden Enden wird das Rechteck mit weichem Kupferdraht, den man durch Bohrlöcher im Brettchen zieht, festgebunden.

Die Enden des Leitungsdrahtes führt man zu zwei Klemmen, die an der freien Schmalseite eingeschraubt werden und achtet darauf, dass der Verlauf des Drahtes leicht festzustellen ist. Durch weiteres Bestreichen mit Schellacklösung kann dem Apparat die nötige Festigkeit gegeben werden. Auf die Spitze der Nadel legt man die Magnetnadel.

Der Stromwender (Fig. 24) wurde nach Ruhmkorff gebaut, indem es nicht zu empfehlen ist, den Schülern Quecksilberwippen in die Hand zu geben. Auf dem Grundbrett von 14 cm

Länge und 10 cm Breite sind in der Mitte der Schmalseiten feste Träger aus Messing aufgeschraubt. Die Achse der Walze liegt 3 cm über dem Grundbrett; diese ist 6 cm lang und 3 cm dick. Die Achse der Walze wird durch zwei Messingschrauben gebildet, die sich aber in der Mitte nicht berühren dürfen. Von den beiden Seiten her drücken Messingfedern an zwei Messingknöpfe, die einander gegenüber auf der Walze stehen und durch Kupferstreifen je mit einem Ende der Achse verbunden sind. Man hat darauf zu achten, dass die Nägel der Messingknöpfe nicht bis auf die Schrauben gehen. Die Kurbel wird am besten so gestellt, dass sie in der Richtung weist, in welcher der Strom in die Leitung geht, wenn er bei der Kurbel eintritt.

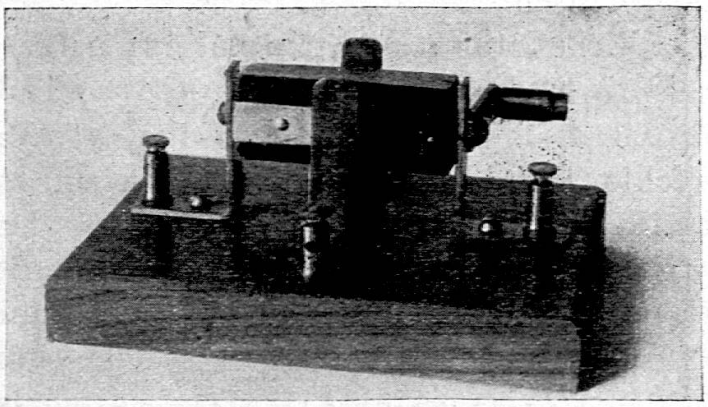

Fig. 24.

3. Der Elektromagnet.

MATERIAL. Stromquelle. Magnetnadel auf Nadelstativ. Ein ca. 12 cm langer Nagel. Stromwender. Elektromagnet. Telegraphenmodell. Taster. Leitungsdrähte. Anker. Eisenfeilspäne. Ein Blatt steifes Papier.

AUSFÜHRUNG. 1. Einfachster Elektromagnet. Wickelt den langen Leitungsdraht, beim Kopf beginnend, in Uhrzeigerrichtung auf den Nagel, so dass jederseits etwa 3 cm des Nagels frei bleiben. Legt schön Windung an Windung in einer einzigen Lage. Befestigt den Anfang des Drahtes am positiven Pol, das Ende am negativen Pol der Stromquelle. Nähert die Spitze des Nagels dem Nordpol der Magnetnadel. (Er wird angezogen, der Südpol wird abgestossen. Der vom Strom umkreiste Nagel ist ein Magnet. Seine Spitze ist ein Südpol, der Kopf ist ein Nordpol.)

Vertauscht die beiden Drähte in den Anschlussklemmen und untersucht die Art der Pole wieder. (Die Spitze ist nun ein Nordpol, der Kopf ein Südpol.)

2. Löst die Verbindung mit der Stromquelle und prüft den Nagel wieder auf seinen Magnetismus. (Er ist wieder unmagnetisch.)

Erkenntnis: Der Nagel ist nur so lang ein Magnet, als er vom Strom umflossen wird.

3. Die Rechte-Hand-Regel erweitert. Schaut euere rechte Hand, deren Finger gebogen sind, von der Seite des Daumens an und vergleicht die Richtung der Finger mit der Bewegungsrichtung des Uhrzeigers: Sie haben Gegenzeigerrichtung. Schaut die rechte Hand von der Seite des kleinen Fingers an. Die Finger haben Zeigerrichtung.

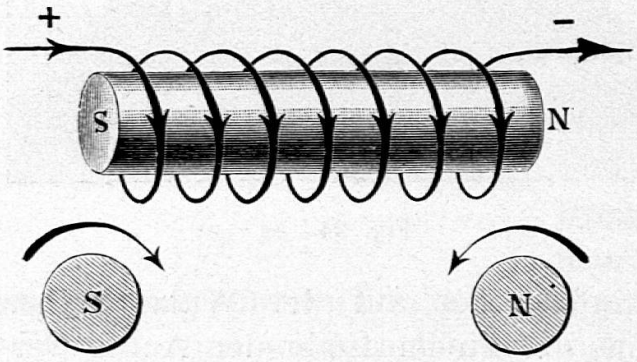

Fig. 25.

Haltet die rechte Hand so an den Nagel, dass der Strom in der Richtung der Finger fliesst. (Fig. 25.) Auf der Seite welches Fingers befindet sich der Nordpol, der Südpol? (Der Nordpol befindet sich auf der Seite des Daumens.)

Zeichnet zwei Kreise, schreibt in dieselben die Buchstaben N und S und bezeichnet durch Pfeile die Stromrichtung am Nordpol und am Südpol. (Fig. 25.) (Südpol: Zeigerrichtung, Nordpol: Gegenzeigerrichtung.)

4. Polwechsel im Elektromagneten. Schaltet zwischen euern Elektromagneten und die Stromquelle den Stromwender ein. Nähert die Spitze des Nagels der Magnetnadel und kehrt den Strom um. Was erfolgt?

5. Auf welche Weise kann wohl der Elektromagnet kräftiger gemacht werden? (Durch vermehrte Windungen und stärkeren Strom.)

Beschreibt die ausgeteilten Elektromagnete, achtet besonders auf die Verbindung der beiden Spulen. Gebt mit der rechten Hand die Stromrichtung und damit Nordpol und Südpol der Spulen an, wenn angenommen wird, der Strom trete durch die Klemme links ein.

Verbindet den Elektromagneten derart mit der Stromquelle, dass der Strom bei dieser Klemme eintritt und untersucht mit der Magnetnadel, ob euere Untersuchung richtig war.

6. Das Kraftlinienbild des Elektromagneten. Legt ein Blatt Papier auf die Pole des Elektromagneten und streut Eisenfeile auf.

7. Der Elektromagnet ist sehr wirksam. Bringt ein kurzes Eisenstück als Anker vor die Pole des Elektromagneten und versucht, den Anker wegzureissen. Unterbrecht den Strom und wiederholt den Versuch.

8. Legt das Eisenstück, das als Anker gedient hat, auf den Tisch, haltet den Elektromagneten umgekehrt wenig darüber und öffnet und schliesst den Strom, indem ihr zwischen Elektromagnet und Stromquelle einen Taster einschaltet. (Der Anker wird angezogen und wieder losgelassen. Sollte sich der remanente Magnetismus störend bemerkbar machen, dann legt man zwischen Anker und Pole einen Streifen Papier.)

9. Gebt an, wie die Bewegungen des Ankers dazu verwendet werden könnten, um Zeichen zu geben. Beschreibt das Telegraphenmodell. (Fig. 27.)

Schaltet zwischen Stromquelle und Telegraphenmodell einen Taster und gebt lange und kurze Zeichen.

DER APPARAT. Für die Elektromagnete (Fig. 26 und 27) lässt man sich beim Schlosser die Eisenteile herstellen. In eine Grundplatte von 8,5 cm Länge, 4,5 cm Breite und 6 mm Dicke werden im Abstand von 4 cm von einander zwei Rundeisenstäbe von 1 cm Dicke und 5 cm vorspringender Länge befestigt. Vier Löcher in den Ecken der Platte ermöglichen das Aufschrauben auf ein Brettchen von 10 cm Länge, 8 cm Breite und 2 cm Dicke. Die Spulen werden einige Millimeter kürzer hergestellt als die Eisenkerne lang sind. Auf einen zylindrischen Holzkern von 1 cm Dicke wickelt man zunächst einige Lagen Papier und leimt es fest. Darüber legt man in nur einer Lage ein rechteckiges Stück dünnes Bleiblech von 9 cm Länge. Dieses wird mit der Schere von den Schmalseiten her in 5 Lappen aufgeschlitzt, so dass ein Rechteck von 4,8 cm Länge ganz bleibt. Die Lappen werden senkrecht aufgebogen; von beiden Seiten her werden 2 Blechscheiben, wie solche von Filmrollen erhalten

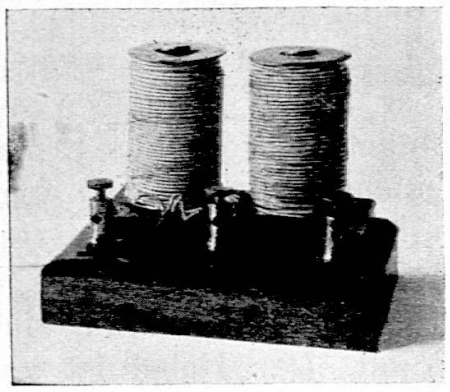

Fig. 26.

werden, geschoben und befestigt. Nun wickelt man in 8 Lagen 0,7 mm dicken Draht auf. Die Bleiblechlappen werden über die Spulen gebogen und mit weichem Draht festgebunden. Siehe Fig. 27. Die Spulen können noch mit Schellack getränkt werden. Hierauf werden sie vom Holzkern abgenommen und auf die Eisenkerne geschoben. Die einen Enden der Drähte werden so verbunden, dass der Strom in den beiden Spulen entgegengesetzte Richtung hat. Hiezu kann eine Klemme verwendet werden. Die andern Enden führt man nach Klemmen, die in das Grundbrett eingeschraubt werden. Man achte darauf, dass der Verlauf der Drähte deutlich erkannt wird.

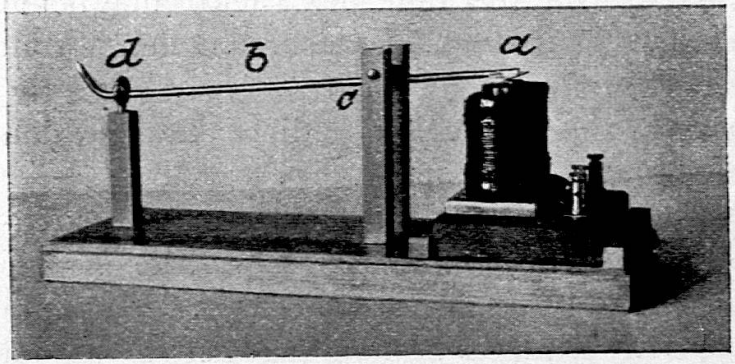

Fig. 27.

Schöne Unterlagen für Spulen erhält man, wenn man zwischen die zwei Endbleche einer Filmrolle ein 5 cm langes, reichlich 1 cm weites Röhrchen aus dünnem Messingblech lötet. (Fig. 26.)

Das Modell des Telegraphenapparates. Der Elektromagnet bildet einen Bestandteil des Telegraphenapparates. Er kann zwischen zwei parallele Stäbchen auf das Grundbrett des Modells geschoben werden. Über dem Elektromagneten befindet sich der aus Eisenblech hergestellte Anker *a*. Er ist an einem Messingstab *b* angelötet, der sich um die Achse *c* dreht und am andern Ende stumpfwinklig umgebogen und zugespitzt ist. Eine Ringschraube *d* ist so eingestellt, dass der Anker die Pole nicht berühren, sich aber auch nicht zu weit entfernen kann. Der Hebel ist an der Achse mit einem kleinen Stück Messingrohr von 5 mm Durchmesser verlötet, durch welches als Achse ein dicker Nagel gesteckt ist.

Dimensionen. Grundbrett, Länge: 29,5 cm, Breite: 11,5 cm, Dicke: 2 cm. Entfernung Mitte Elektromagnet bis Achse 6 cm, Achse bis Ringschraube 14,5 cm. Höhe der Achse über dem Grundbrett 8,5 cm; Höhe der Mitte der Ringschraube über dem Grundbrett: 7 cm.

Der Taster. (Fig. 28.) Auf ein Brettchen von 5—6 cm Breite und 10—12 cm Länge befestigt man von der einen Schmalseite her mit einer Klemme und einer Messingschraube mit rundem Kopf einen Messingstreifen von 1 cm Breite und 4 cm Länge. Von der andern Seite her wird mit einer Klemme und einem Schräubchen ein Messingstreifen gleicher Breite und 7—8 cm Länge befestigt. Der Streifen wird etwas aufgebogen. Am freien Ende desselben wird ein 2 cm langes Stück eines Lineals mit einer Messingschraube festgemacht. Die Köpfe der beiden Messingschrauben sollen sich beim Hinabdrücken berühren.

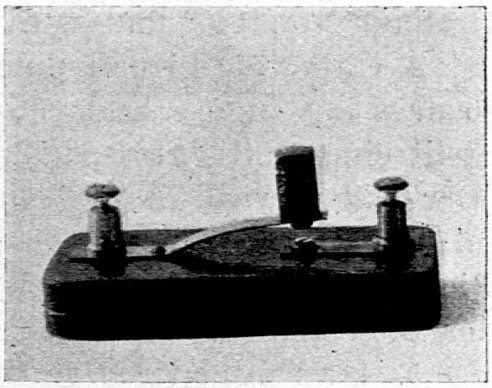

Fig. 28.

4. Das Solenoid.

MATERIAL. Stromquelle. Modell des Induktionsapparates mit Kern aus Eisendraht. Magnetnadel auf Nadelstativ. Stromwender. Eisenfeilspäne. Nähfaden. Ein Blatt steifes Papier. Ein Karton mit einem Ausschnitt, der dem Längsschnitt der Induktionsspule entspricht. (Fig. 29.) Leitungsdrähte. Nagel.

AUSFÜHRUNG. 1. Die vom Strom durchflossene Spule wirkt wie ein Magnet. Verbindet die Stromquelle mit dem Stromwender und diesen mit der Induktionsspule. Legt die letztere auf eine Unterlage (Bücher, Unterlagbrettchen), so dass ihre Achse in der Höhe der Magnetnadel liegt und Nord-Südrichtung hat. Stellt die Magnetnadel so auf, dass ein Pol gerade vor der Spule liegt. Schickt den Strom in der einen oder andern Richtung durch und beobachtet das Verhalten der Magnetnadel.

2. Untersucht die Stromrichtung in der Spule, wann der Südpol, wann der Nordpol der Magnetnadel (Rechte-Hand-Regel) angezogen wird. Welche neuen Tatsachen ergeben sich? (Es gibt Magnetismus ohne Eisen. Die stromdurchflossene Spule verhält sich wie ein Magnet. Diese Entdeckung soll weiter verfolgt werden.)

3. Befestigt die Magnetnadel an einem Faden und hält sie vor die Mündung der Induktionsspule. Beobachtung: (Wenn

der Nadel ein entgegengesetzter Pol gegenüber liegt, wird sie etwas in die Spule hineingezogen. Wenn man den Strom umkehrt, wird die Nadel zuerst abgestossen, dann macht sie eine Drehung von 180° und wird wieder in die Spule hineingezogen.)

4. Haltet die Primärspule des Induktionsapparates senkrecht, so dass das untere Ende nur ein wenig vom Tisch entfernt ist. Stellt einen mittelgrossen Nagel hinein und schliesst den Strom. (Der Nagel wird in die Spule hineingezogen und schwebt frei im Raum.) Unterbrecht den Strom. (Der Nagel fällt heraus.) Richtet ein elektrisch betriebenes Pochwerk ein. (Regulierung der Bogenlampe. Volt- und Ampèremeter.)

5. Das Kraftlinienbild der Spule. Stellt die Spule senkrecht auf den Tisch, legt ein Blatt Papier darauf, schickt den Strom durch und streut Eisenfeilspäne auf. (Es entsteht das Kraftlinienbild eines Magnetpoles.)

6. Legt die Spule wagrecht und darauf den Karton mit Ausschnitt, so dass die Hälfte der Spule herausschaut. Stellt

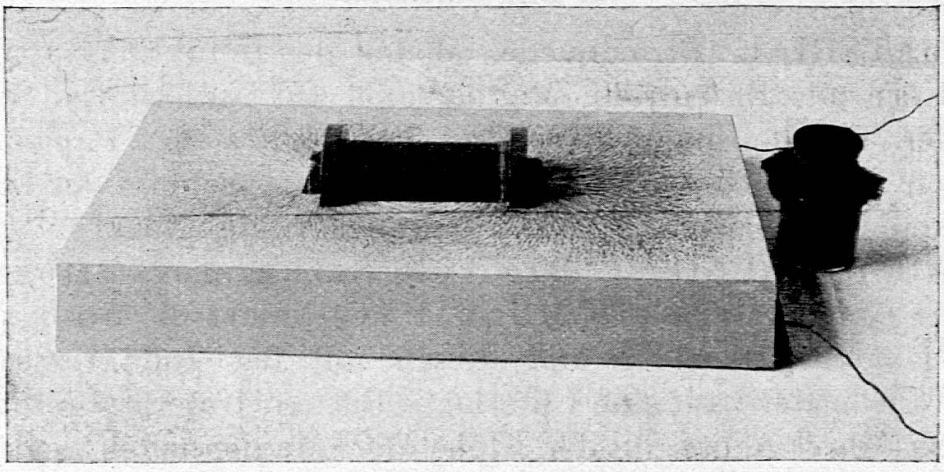

Fig. 29.

das Kraftlinienbild her. (Es entspricht dem Kraftlinienbild des Stabmagneten.) (Fig. 29.)

7. Legt den Eisenkern in die Spule und wiederholt die beiden letzten Versuche. (Die magnetische Kraft ist weit grösser, indem der Eisenkern nun auch magnetisch wird.)

DER APPARAT. Das Modell des Induktionsapparates wurde dem Schlittenapparat ähnlich gebaut. Der Hauptunterschied besteht darin, dass der Wagnersche Hammer weggelassen ist. Fig. 30 gibt über den Bau Aufschluss. Die Primärspule *a* besteht aus 4 Lagen 1 mm starkem Draht, die Sekundär-

spule *b* aus 10 Lagen 0,3 mm dickem Draht. Im Hohlraum der Primärspule liegt ein massiver Eisenkern *c*; in den Hohlraum der Sekundärspule passt ein Kern aus weichem Eisen-

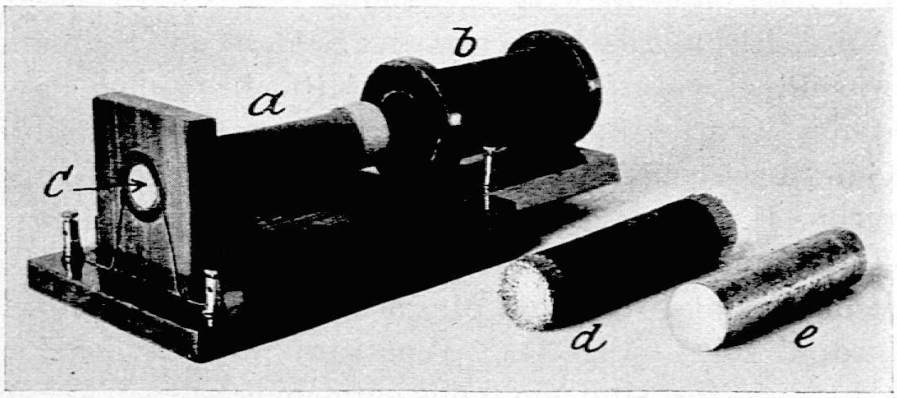

Fig. 30.

draht *d* (Blumendraht) und ein massiver Eisenkern *e*. Die Richtung der Windungen soll an den Spulen leicht gefunden werden können, daher ist das Ende der Windungen an der Sekundärspule aus dickerem Draht hergestellt.

Dimensionen. Grundbrett, Länge: 20 cm, Breite: 13 cm, Dicke: 1,5 cm. Länge der Spulen: 12 cm. Die Primärspule hat eine Bohrung von 2 cm, die Sekundärspule von 3,5 cm Durchmesser.

Der Karton. Aus einem Stück Halbkarton von etwa 48 cm Länge und 31 cm Breite schneidet man den Rand in einer Breite von 4,5 cm halb durch. Durch Leinwandstreifen, die auf der Unterseite über die Bruchkanten geleimt werden, erhält die Vorrichtung grössere Festigkeit. Aus der Mitte des Kartons schneidet man eine Figur, die dem Achsenlängsschnitt der Induktionsspule entspricht. Der Karton wird bei der Herstellung der Kraftlinien auf die Induktionsspule gelegt und seine Ränder abwärts gebogen, so dass ein Tischchen entsteht. Siehe Fig. 29.

5. Galvanische Induktion.

MATERIAL. 2 Stabmagnete. Modell des Induktionsapparates mit Kern aus Eisendraht. Vertikalgalvanoskop. Element. Stromquelle. Widerstand. Magnetnadel auf Nadelstativ. Leitungsdrähte. Eisenstück von den Dimensionen des Stabmagneten.

AUSFÜHRUNG. 1. Beschreibt das Vertikalgalvanoskop. Weist nach, dass die Nadel in der Richtung des durchfliessenden Stromes ausschlägt.

2. Magnetoinduktion. Verbindet die Induktionsspule mit langen Leitungsdrähten mit dem Vertikalgalvanoskop und schiebt in rascher Bewegung das unmagnetische Eisenstück in die Spule. (Es entsteht kein Ausschlag.)

3. Annähern des Magneten. Schiebt den Stabmagneten mit dem Südpol voran bis zu seiner Mitte in rascher Bewegung in die Spule. (Es erfolgt ein Ausschlag.) Worauf lässt er schliessen? (Es ist ein Strom entstanden.) Der eine Schüler der Gruppe hält seine rechte Hand so an die Spule, dass der induzierte Strom in der Richtung der Finger fliesst. Der zweite Schüler hält seine rechte Hand so an den Magneten, dass der Daumen nach dem Nordpol zeigt. (Fig. 31[1].) Was sagt ihr von der Lage der beiden Hände? (Sie sind einander entgegengesetzt.) Erkenntnis: Beim Annähern ist der Induktionsstrom den Ampèreschen Strömen entgegengesetzt.

4. Entfernen des Magneten. Zieht den Magneten rasch aus der Spule. Beobachtung. (Die Nadel schlägt in entgegengesetzter Richtung aus.) Ein Schüler halte seine rechte Hand in die Richtung des neuen Induktionsstromes, ein anderer in die Richtung der Ampèreschen Ströme. Beobachtung: (Die beiden Hände haben die gleiche Richtung; die Ströme laufen parallel. (Fig. 31[3].) Erkenntnis: Beim Entfernen ist der Induktionsstrom den Ampèreschen Strömen parallel.

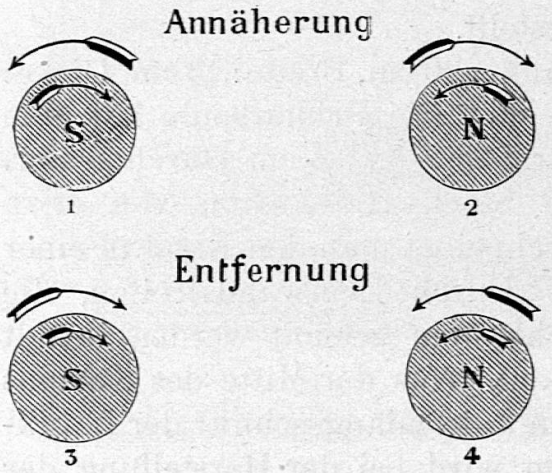

Fig. 31.

5. Bewegt den Magneten im Tempo der Nadel hin und her. (Die Ausschläge werden stärker.) Was erkennt ihr über die Dauer der Ströme? (Sie sind von ganz kurzer Dauer, sind blosse Stromstösse.)

6. Wiederholt die Versuche unter 3, 4 und 5, indem ihr den Magneten mit dem Nordpol voran in die Spule schiebt, legt wieder die Hände in die Stromrichtungen. (Die Ausschläge erfolgen in entgegengesetzter Richtung zu den vorigen Ausschlägen. Fig. 31[2] u. [4].)

7. Durchziehen des Magneten. Schiebt den Magneten mit dem Südpol voran in die Spule, merkt die Richtung des Ausschlages und zieht ihn ganz durch die Spule.

8. Wiederholt den Versuch, indem ihr den Nordpol voran in die Spule schiebt. Beobachtung: (Die Richtung des Stromstosses ist die gleiche, ob man den Magneten zurückzieht oder ganz durchschiebt).

9. Verstärken und Schwächen des Magnetismus hat Induktionsströme zur Folge. Legt den Eisenkern in die Induktionsspule und nähert und entfernt einen Magnetpol zuerst in der Richtung der Spule, dann auch senkrecht zur Spule. Bewegt auch einen Magnetpol längs der Spule hin und her. (In allen Fällen entstehen Induktionsströme.)

10. Galvanoinduktion. Überlegung: Der Magnet ist von einem Kraftlinienfeld umgeben; von einem gleichen Kraftlinienfeld ist auch der Elektromagnet umgeben. Statt des Stabmagneten können wir zu unsern Versuchen deshalb auch den Elektromagneten verwenden.

Annähern und Entfernen des Primärstromes. Schickt den Strom durch die Primärspule mit Eisenkern. Stellt mit der Magnetnadel Nord- und Südpol fest. Haltet die rechte Hand in die Richtung des Stromes. Welche Richtung wird der Induktionsstrom haben, wenn ihr die beiden Spulen übereinanderschiebt? In welcher Richtung wird also die Nadel des Vertikalgalvanoskops ausschlagen? Führt den Versuch aus und gebt an, ob unsere Annahme bestätigt worden ist.

In welcher Richtung wird der Ausschlag erfolgen, wenn die Spulen rasch von einander entfernt werden? Führt den Versuch aus!

11. Öffnen und Schliessen des Primärstromes. Schiebt die beiden Spulen dauernd über einander. Schickt den Strom durch die Primärspule. Beobachtung: Der beim Schliessen entstehende Induktionsstrom ist dem Primärstrom entgegengesetzt.

Unterbrecht den Strom. (Der beim Öffnen entstehende Induktionsstrom ist dem Primärstrom gleichgerichtet.)

12. Stärken und Schwächen des Primärstromes. Ich schalte im Stromreis einen Widerstand ein und aus.

a) Der Widerstand wird ausgeschaltet. Beobachtung: (Es entsteht ein dem Primärstrom entgegengesetzt gerichteter Strom.)

b) Der Widerstand wird eingeschaltet. Beim Schwächen des Primärstromes ist der Induktionsstrom dem Primärstrom parallel.)

Zusammenfassung. Wenn sich eine Drahtspule in einem magnetischen Feld befindet, hat jede Änderung der Lage und

der Stärke des Feldes einen Induktionsstrom zur Folge. Bei Näherung, (Schliessung) und Verstärkung hat der Induktionsstrom eine dem Molekularstrom, oder Primärstrom, entgegengesetzte Richtung, bei Entfernung, (Offnung) oder Schwächung eine dem Molekularstrom, oder Primärstrom gleiche Richtung.

Da entgegengesetzte Ströme sich abstossen, parallel gerichtete sich anziehen, ergibt sich das Gesetz von Lenz: Der Induktionsstrom ist stets so gerichtet, dass er die Zustandsänderung zu hemmen sucht.

6. Der Wagnersche Hammer. Physiologische Wirkung des Stromes.

MATERIAL. Modell des Wagnerschen Hammers. (Fig. 32.) Modell des Induktionsapparates. Stromquelle. Handhaben. Induktionsapparat der Sammlung. Leitungsdrähte.

AUSFÜHRUNG. Wie müssen wir verfahren, um in rascher Folge Induktionsströme hervorzurufen? (Wir müssen den Primärstrom in kurzen Zwischenräumen öffnen und schliessen.) Hiezu dient der Wagnersche Hammer, den ihr in einem grossen Modell vor euch habt.

1. Beschreibt den Wagnerschen Hammer. Verbindet die Stromquelle mit der Klemme am Ende der Feder, die freie Klemme des Elektromagneten mit dem Modell des Induktionsapparates und dieses mit dem andern Pol der Stromquelle. Erklärt die automatische Unterbrechung und Schliessung des Stromes.

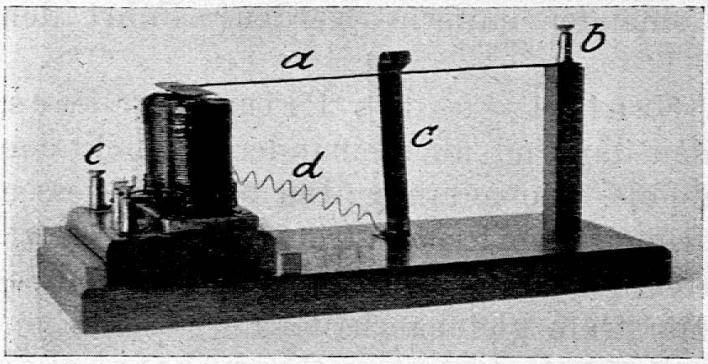

Fig. 32.

2. Befestigt die beiden Handhaben mit Leitungsdrähten an den Klemmen der Induktionsspule und fasst sie mit den befeuchteten Händen. Schiebt die beiden Spulen mehr und mehr über einander. Beobachtung.

Da die Unterbrechungen nicht sehr rasch aufeinander folgen, ist die Wirkung nicht bedeutend. Es werden deshalb Versuche mit dem Induktionsapparat der Sammlung angeschlossen.

DER APPARAT. Wie beim Telegraphenmodell kann der Elektromagnet auf das Grundbrett geschoben werden. Der Anker ist an einer 22 cm langen Messingfeder a von 10 mm Breite und 1 mm Dicke gelötet. Das andere Ende der Feder ist mit einer Klemme b auf einem Ständer befestigt. Seitlich, etwas hinter der Mitte ist auf das Grundbrett eine Messingfeder c aufgeschraubt, die oben umgebogen und zugespitzt ist. Die Spitze ruht auf der geraden Feder auf, wenn aber der Anker angezogen wird, entsteht ein Zwischenraum. Die senkrechte Feder ist mit der einen Klemme e des Elektromagneten durch den in der Figur sichtbaren Draht d verbunden.

Dimensionen. Grundbrett, Länge: 29,5 cm, Breite: 11,5 cm, Dicke: 2 cm. Höhe der Säule: 8,7 cm; Länge der wagrechten Feder: 22 cm, Breite: 1 cm, Dicke: 1 mm.

Die Handhaben zum Elektrisieren stellt man aus einer Messingröhre von 10 mm Durchmesser her, die man in Stücke von 10 cm Länge zerschneidet. Zur Befestigung der Leitungsdrähte lötet man in jede Handhabe eine Klemme.

7. Zur Erklärung der dynamo-elektrischen Maschine.

MATERIAL. Induktionsspule mit Drahtbüschel. 2 Stabmagnete. Vertikalgalvanoskop. Dünne Lette von der doppelten Länge des Stabmagneten. Weicher Draht. Leitungsdrähte.

AUSFÜHRUNG. 1. Zur Erklärung des Gramme'schen Ringes. Befestigt die beiden Stabmagnete mit weichem Draht an der dünnen Latte, die Nordpole einander zugekehrt. Verbindet die Induktionsspule mit 2 m langen Leitungsdrähten mit dem Galvanoskop. Schiebt auf 1 ↓ die Magnete bis zu der ersten Indifferenzstelle in die Spule.

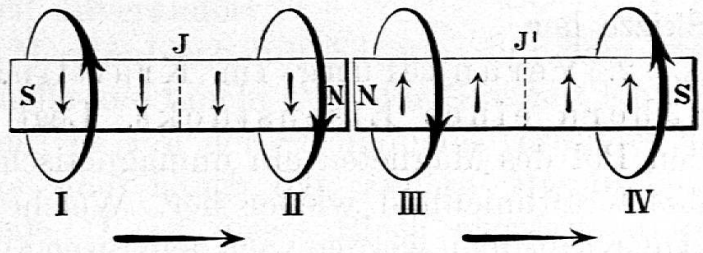

Fig. 33.

Beobachtung: (Die Nadel schlägt aus.) Schiebt auf 2 ↓ die Magnete durch die Spule über beide Nordpole weg bis zur zweiten Indifferenzstelle. Beobachtung: (Kräftiger Ausschlag der Nadel in entgegengesetzter Richtung.) Zieht auf 3 ↓ die Magnete ganz durch. Beobachtung: (Ausschlag der Nadel in der ersten Richtung.)

Erklärt die Vorgänge und fertigt eine Skizze an. (Siehe Fig. 33.)

Gebt an, wie die Ausschläge erfolgen, wenn wir die Südpole einander zukehren und den Versuch wiederholen.

2. Die Spule im Felde zweier Magnete. Legt die beiden Stabmagnete in der gleichen Achse auf zwei gleich hohe Schichten Bücher so, dass die entgegengesetzten Pole einander gegenüberliegen und der Polabstand wenig grösser ist, als die Länge des Drahtbüschels der Induktionsspule. Befestigt das Drahtbüschel in der Spule mit kleinen Keilen und verbindet die Spule mit dem Vertikalgalvanoskop. Haltet die Spule zwischen die Magnete und führt rasch eine Drehung in vertikaler Ebene um 180° aus. Beobachtung: (Der Zeiger des Galvanoskops schlägt aus.) Dreht die Spule wieder zurück. (Der Ausschlag erfolgt in entgegengesetzter Richtung.)

Macht Vorschläge, wie diese Einrichtung vervollkommnet werden könnte. (Drehachse, Kurbel, Motorantrieb. Statt zwei Magnete deren vier und vierteilige Spule etc.)

8. Das Telephon.

MATERIAL. 2 Stabmagnete. Drahtspule des Induktionsapparates mit massivem Eisenkern. Galvanoskop. Kurze Eisenstücke vom Querschnitt des Stabmagneten. Streubüchse für Eisenfeilspäne. Ein Blatt steifes Papier.

AUSFÜHRUNG. 1. Kraftlinienbild eines Magnetpols. Legt den Magneten auf den Tisch, und daneben einige Lineale, bedeckt den Magneten mit dem Blatt Papier und ruft das Kraftlinienbild eines Magnetpoles hervor. Stellt eine Skizze her.

2. Veränderung im Kraftlinienbild durch Annähern eines Eisenstücks. Legt einige Zentimeter vor den Pol des Magneten ein unmagnetisches Eisenstück und stellt das Kraftlinienbild wieder her. Welche Veränderung zeigt es? (Die Kraftlinien werden nach dem Eisen abgelenkt und verdichtet.)

3. Legt das Eisenstück ganz nahe an den Magnetpol und vergleicht das neue Kraftlinienbild mit dem frühern.

Veranschaulicht mit den Fingern einer Hand die Veränderungen im Kraftlinienfeld, wenn das Eisenstück angenähert und entfernt wird. Was muss diese Änderung im Kraftlinienfeld zur Folge haben? (Die Annäherung hat eine Stärkung des magnetischen Feldes zur Folge, es entsteht ein Induktionsstrom. Die

Entfernung bewirkt eine Schwächung des magnetischen Feldes und damit einen Strom in entgegengesetzter Richtung.)

4. Modell eines Telephons. Legt beide Stabmagnete mit den gleichnamigen Polen aufeinander in die Induktionsspule, so dass sie auf der einen Seite nur wenig vorspringen. Verbindet die Spule mit dem Galvanoskop. Nähert dem Magnetpol (bis zur Berührung) ein unmagnetisches Eisenstück und entfernt es wieder. Was bemerkt ihr? Nähert und entfernt das Eisenstück im Tempo, wie die Nadel schwingt.

5. Bringt den massiven Eisenkern in die Induktionsspule und legt die Magnete, wieder die gleichnamigen Pole aufeinander, in dessen Richtung, so dass sie den Eisenkern berühren. Nähert und entfernt das Eisenstück. Der Eisenkern ist zum Magneten geworden, dessen Stärke durch das Eisenstück beeinflusst wird.

Vergleicht diese Versuchsanordnung mit der Abbildung des Telephons.

DER APPARAT. Der massive Eisenkern soll die Länge der Induktionsspule haben und deren Hohlraum beinahe ausfüllen.

9. Galvanoplastik.

MATERIAL. Stromquelle. Wage mit Gewichtsatz. Stativ. Messingblech von etwa 5 auf 8 cm mit Klemme an Holzstab. Zweites gleiches Messingblech an Kupferdraht. Glasstäbchen. Glas mit Kupfervitriollösung. Leitungsdraht.

AUSFÜHRUNG. 1. Taucht die beiden Messingbleche gleichzeitig für kurze Zeit wenig in die Kupfervitriollösung. Beobachtung: (Sie bleiben unverändert.)

2. Verbindet das Messingblech mit Klemme mit dem positiven Pol der Stromquelle und taucht es in das Glas mit Kupfervitriollösung, den negativen Pol der Stromquelle verbindet mit der Schere der Wage und hängt das andere Messingblech an die kurze Wagschale. Lasst dieses Blech ebenfalls in die Kupfervitriollösung tauchen und legt zwischen die beiden Messingbleche das Glasstäbchen, damit sie sich nicht berühren. Senkt die Wage am Stativ, bis das Blech ganz untertaucht und bringt sie ins Gleichgewicht. Schickt nun den Strom durch und wartet einige Zeit. Beobachtung: (Die kurze Wagschale sinkt; das Messingblech am negativen Pol ist somit schwerer geworden).

Zieht beide Bleche aus der Flüssigkeit: Das Blech am positiven Pol ist unverändert, das Blech am negativen Pol ist verkupfert. Das Metall wandert mit dem Strom.

DER APPARAT. Auf die Mitte der Schmalseite des einen Messingbleches lötet man eine Klemme und befestigt es an einem kurzen Holzstab, so dass es auf den Rand des Glasgefässes aufgelegt werden kann. In die Mitte der Schmalseite des zweiten Bleches bohrt man ein Loch und befestigt darin ein Stück Kupferdraht von ca. 15 cm Länge.

In einem Liter Wasser löst man 200 g Kupfervitriol und setzt der Lösung 16—20 cm^3 Schwefelsäure zu.

Nach Beendigung des Versuches werden die verkupferten Bleche mit Schmirgelleinwand gereinigt.

Wenn der Strom dem Gleichrichter entnommen wird, können die Apparate von mindestens 5 Schülergruppen hintereinander geschaltet werden.

10. Der Akkumulator.

MATERIAL. Stromquelle. Akkumulator. Galvanoskop. Leitungsdrähte. Aus der Schulsammlung: Wasserzersetzungsapparat. Voltmeter. 4 Voltlämpchen. Läutwerk.

AUSFÜHRUNG. 1. Demonstrationsversuch: Das Sekundärelement, der Polarisationsstrom. In den Stromkreis wird das Galvanoskop geschaltet und die Stromrichtung festgestellt. Dann wird der Strom durch den Wasserzersetzungsapparat geschickt und auf dem Tisch die Stromrichtung bezeichnet. Die Verbindung mit der Stromquelle wird gelöst und der Wasserzersetzungsapparat mit dem Galvanoskop verbunden. Die Schüler stellen fest, dass ein Strom entsteht, der aus der Klemme des Wasserzersetzungsapparates austritt, durch die der Strom vorhin in den Apparat geleitet wurde. Der Sekundärstrom ist dem Primärstrom entgegengesetzt. Die Erklärung wird gegeben. Die Schüler werden darauf geführt, dass der Apparat wirksamer wäre, wenn der Sauerstoff durch die Platte gebunden würde. Diese Eigenschaft hat das Blei.

2. Laden des Akkumulators. Schaltet die Bleiakkumulatoren hintereinander. Gebt auf dem Tisch die Stromrichtung an. Welchen Vorgang beobachtet ihr im Akkumulator während des Ladens? (Blasenentwicklung.)

3. Prüfung der Stromrichtung des Akkumulators. Verbindet den Akkumulator für einen Augenblick mit dem Galvanoskop. Beobachtung: (Es schlägt lebhaft aus. Der Strom ist dem Ladestrom entgegengesetzt.)

4. Messen der Stromstärke. Verbindet den Akkumulator mit dem Voltmeter. Gebt auf die Bezeichnung der Klemmen acht. Welche Spannung lest ihr ab? (Zwei Volt.)

5. Lichtwirkung. Schaltet zwei Akkumulatoren hintereinander. Welche Spannung werden sie haben? (4 Volt.) Verbindet mit der 4-Voltlampe. (Sie brennt hell.)

6. Elektromagnetische Wirkung. Verbindet den Akkumulator mit dem Läutwerk und wartet ab. Beobachtung: (Im Anfang ist das Läuten sehr kräftig; es wird schwächer und hört allmählig auf.)

Schaltet das Galvanoskop nochmals ein. (Der Zeiger schlägt noch längere Zeit aus, er kehrt aber nach und nach in die Ruhelage zurück.)

Beim Entleeren des Akkumulators bemerken die Schüler, dass die positive Platte braun gefärbt ist.

DER APPARAT. Bleiplatten für Akkumulatoren schneidet man aus Bleiblech von 3 mm Dicke in der Grösse 18 cm auf 4,5 cm. Zum Einhängen in die Gläser befestigt man sie an Stücken von Linealen mit 10 cm Länge. In das Querstück wird auch eine Klemme geschraubt. Die Gläser sollen 19—20 cm hoch und 7—8 cm weit sein. Die Akkumulatorensäure stellt man aus 11 Volumenteilen Wasser und einem Teil Schwefelsäure her. Zwischen die Bleiplatten stellt man ein Glasstäbchen, damit sie sich nicht berühren können.

Es genügt, den Strom 10—15 Minuten durch die Akkumulatoren zu schicken.

Ausrüstung einer Schülergruppe.

I. Mechanik. Setzwage. Hebelgestell. 15 Anhängegewichte. Schalenwage mit Gewichtsatz. 2 Rollen mit langer und kurzer Schnur. 3 Pendel. Anhängegestell. Latte zum Messen der Pendellänge. Schnur für das Parallelogramm der Kräfte. Zeichnungen von Parallelogrammen. Transporteur. Weites Glas. Glaszylinder für Auftrieb, Glasplatte an Schnur. Messzylinder. Reagenzglas mit Pfropf. Je ein Stück Marmor, Blei, Zink, Aluminium, Legierung von Blei und Zink. Pappelholz, Buchenholz. Pyknometer (Tropfgläschen). Aräometer.

II. Wärme. Eisendraht- und Kupferdrahtstücke, 6 cm und 20 cm lang. Weingeistlampe. Dreifuss mit Drahtnetz und Asbestplatte. Stativ mit Doppel-

muffe und Klammer. Erlenmeyerkolben, 150 cm³ Inhalt, mit doppeltdurchbohrtem Kautschukpfropf. Thermometer. Glasröhre, 3 mm weit, 45 cm lang. Masstab auf Karton mit Millimeterteilung, 40 cm lang. Langhalsiger Kolben. Rechtwinklig gebogene, weite Glasröhre. U förmige Glasröhre mit langem und kurzem Schenkel.

III. Magnetismus. 2 Stabmagnete. Kleiner Hufeisenmagnet. Magnetnadel. 2 Nadelstative. Verschiedenartige Stoffe für magnetische Anziehung. Aufhängebügel. Karton für Kraftlinien. 2 Stückchen Eisendraht. Eisenstab in den Dimensionen des Stabmagneten und kürzerer Stab. Stricknadel. Stahlstreifen mit Körner. Eisenring. Feilspansieb mit Eisenfeilspänen. Kleine Nägel, mittelgrosse Nägel, grosser Nagel. Eisenstab, 80 cm lang.

IV. Elektrizität. 2 Glasstäbe. 2 Hartgummistäbe. Reibzeug aus Wolle, Seide, Pelz. Leichte Gegenstände für elektrische Anziehung. Schilfrohr und Lineal zum Aufsetzen auf das Nadelstativ. Holundermarkkügelchen an Seidenfaden und an Baumwollfaden. Seidenfaden. Metalldraht. Elektroskop. 2 Doppelpendel.

V. Galvanismus. 2 Kupferplatten. 2 Zinkplatten (hiezu das Glas des Akkumulators). Leitungsdraht, 2 Stück zu 2 m, 2 zu 1,2 m, 2 zu 60 cm. Stromwender. Multiplikator. Einfacher Elektromagnet. Elektromagnet mit Anker. Telegraphenmodell. Taster. Modell des Induktionsapparates mit Kern aus Eisendraht und Eisenstab. Karton mit Ausschnitt zur Herstellung des Kraftlinienbildes der Spule. Vertikalgalvanoskop. Lattenstück von der doppelten Länge des Stabmagneten. Modell des Wagnerschen Hammers. 2 Handhaben für Elektrisierung. Galvanoplastischer Apparat, bestehend aus einem Glas, einem Messingblech mit Klemme und einem zweiten mit Bohrung. Modell des Akkumulators, bestehend aus hohem Glas und 2 Bleiplatten mit Klemmen.

Verschiedenes Material: Nähfaden. Bindfaden. Weicher Eisendraht. Halbkarton. Stecknadeln.

Gemeinsames Material: Weingeist. Schwefelsäure. Schwefeläther. Fluorescein. Kupfervitriol.

Inhaltsverzeichnis.

I. Mechanische Physik.

		Seite
1.	Das Lot	133
2.	Die Setzwage	134
3.	Bestimmung des Schwerpunktes eines Stückes Papier, eines Lineals	135
4.	Das Gleichgewicht	136
5.	Der gleicharmige Hebel	137
6.	Die Schalenwage	138
7.	Der ungleicharmige Hebel	140
8.	Die Schnellwage	143
9.	Der einarmige Hebel	144
10.	Die Rollen, der Flaschenzug	146
11.	Das Pendel	148
12.	Das Parallelogramm der Kräfte	151
13.	Der Auftrieb	153

14. Bestimmung des spezifischen Gewichtes von Körpern, die schwerer sind als Wasser.
a) von Marmor ... 154
b) einer Legierung von Blei und Zink ... 155
15. Bestimmung des spezifischen Gewichtes eines festen Körpers, der leichter ist als Wasser, durch Wasserverdrängung ... 156
16. Bestimmung des spezifischen Gewichtes einer Flüssigkeit mit dem Pyknometer ... 157
17. Bestimmung der Dichtigkeit von Kochsalzlösungen mit dem Aräometer 157

II. Lehre von der Wärme.

1. Leitung der Wärme ... 159
2. Vorgänge beim Erwärmen des Wassers ... 160
3. Ausdehnung des Wassers bei Erwärmen ... 161
4. Bestimmung des Siedepunktes von reinem Wasser und von Salzwasser. 163
5. Nachprüfung des Gefrierpunktes ... 164
6. Kältemischung ... 164
7. Bestimmung der Verdampfungswärme des Wassers ... 165
8. Verdunstungskälte ... 167

III. Lehre vom Magnetismus.

1. Magnetische Grunderscheinungen ... 167
2. Magnetische Induktion ... 169
3. Magnetische Kraftlinien ... 171
4. Erdmagnetismus ... 173

IV. Lehre von der Elektrizität.

1. Elektrische Grunderscheinungen ... 174
2. Das Elektroskop ... 176
3. Leiter und Nichtleiter ... 177
4. Elektrische Induktion ... 178

V. Lehre vom Galvanismus.

1. Galvanische Grunderscheinungen ... 180
2. Wirkung des galvanischen Stromes auf die Magnetnadel ... 182
3. Der Elektromagnet ... 185
4. Das Solenoid ... 189
5. Galvanische Induktion ... 191
6. Der Wagnersche Hammer. Physiologische Wirkung des Stromes ... 194
7. Zur Erklärung der dynamo-elektrischen Maschine ... 195
8. Das Telephon ... 196
9. Galvanoplastik ... 196
10. Der Akkumulator ... 198