

## Ein regulierbarer Schul-Rheostat.

Von

Bruno Kolbe in St. Petersburg.

Seit über sechs Jahren benutze ich den bekannten Kurbel-Rheostaten von Hartmann & Braun. Damals besaß der Apparat noch kein Extra-Ohm mit Schleifkontakt, den genannte Firma auf meine Bestellung nachlieferte und seitdem dem Apparate beigefügt hat. Als ich vor drei Jahren mit einer guten Meßbrücke die Widerstände des Rheostaten verglich, ergaben sich unerwartete Differenzen (5—13%), auch nachdem alle Kurbelkontakte sorgfältig gereinigt und der Druck reguliert worden war. Da von einer Überlastung der Widerstände nicht die Rede sein konnte, und die bekannte Firma den Apparat sicherlich geeicht haben wird, können nur die verlöteten Kontaktstellen oder die Wahl eines nicht ganz geeigneten Materials für die Widerstandsdrähte in Frage kommen. Leider ist bei diesem Apparat ein nachträgliches Regulieren der Widerstände sehr schwierig und für den Lehrer selbst kaum möglich.

Nachdem ich mich vergeblich bei einigen Firmen nach einem „regulierbaren“ Schul-Rheostaten erkundigt hatte, forderte mich die Firma Max Kohl in Chemnitz auf, nach meinen Erfahrungen einen Schul-Rheostaten zu konstruieren, indem sie sich anheischig machte, die erforderlichen Metallteile nach meinen Angaben herzustellen und die Widerstandsdrähte zu liefern, was auch geschah. Da der Apparat sich nun beim Gebrauche als sehr bequem erwies, dabei jeder einzelne Teil auswechselbar und für sich regulierbar ist, so gebe ich im folgenden eine Beschreibung des regulierbaren Schul-Rheostaten.

Außer der „Regulierbarkeit“ der einzelnen Widerstände wollte ich den Nachweis des Potentialgefälles im Leiter erzielen. Um den Apparat möglichst billig herzustellen, beschränkte ich mich auf 20 Ohm Gesamtwiderstand nebst einem Ergänzungs-Ohm (mit Gleitkontakt), das Hundertstel-Ohm abzuschätzen gestattet. Damit kann man, meiner Erfahrung nach, bei den meisten Schulversuchen sehr gut auskommen.

### I. Beschreibung des Apparates.

Fig. 1 zeigt die Vorderseite des Apparates. Die Kontaktknöpfe und die Kurbelachse (mit Preßklemme) haben durchgehende Schrauben, deren Muttern auf der Rückseite des Standbrettes versenkt sind. Das polierte Fußbrett ( $40 \times 17 \times 4$  cm) hat vier verleimte und verschraubte niedrige Füßchen. In der Mitte ist das aus drei kreuzweise verleimten Brettern bestehende Standbrett ( $52 \times 35 \times 2,5$  cm) durch zwei nicht verleimte Holzzapfen und drei lange Holzschrauben befestigt, so daß es nach Bedarf abgenommen werden kann. Die Vorder- und die Rückseite sind, nach vorherigem Grundieren mit Leinölfirnis, dreimal mit weißer Lackfarbe gestrichen. Die Widerstände bestehen fast alle aus Konstantan, da diese Legierung härter ist und federt. Beim Einzel-Ohm (links) ist die Drahtstärke 0,6 mm, wenn man ein Bereich

von  $0,05$ — $1,4 \Omega$  wünscht, oder von  $0,7$  mm Durchmesser, wenn man nur bis  $1,1 \Omega$  gehen will, was vorzuziehen ist, da der dickere Draht weniger erwärmt wird. — Die übrigen Widerstandsdrähte ( $1$ — $10 \Omega$ ) sind  $1,2$  mm dick und grün besponnen; von  $10$ — $20 \Omega$  sind zwei rot besponnene Manganindrähte<sup>1)</sup> von je  $5 \Omega$  (Durchmesser  $0,8$  mm) verwendet, da diese sich leichter biegen ließen. Sie sind induktionsfrei (bifilar) auf zwei Rollen gewickelt, die auf der Rückseite des Standbrettes festgeschraubt sind.

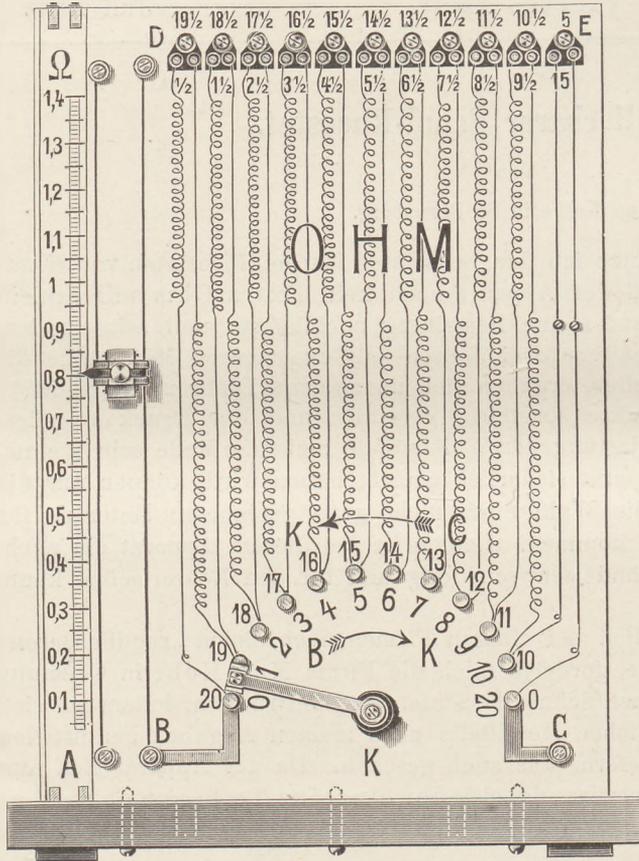


Fig. 1.

zinnem<sup>3)</sup> Messingblech von  $1$  mm Stärke mit Holzschrauben derart befestigt, daß zwischen Schraubenkopf und Draht eine der erwähnten verzinneten runden Blechscheiben zu liegen kommt. Nachdem auch die Preßklemme eingeschraubt worden, kontrolliert man den Widerstand an der Meßbrücke, indem man mit  $4$  mm dicken Leitungsschnüren die Preßklemme oben und die Klemme der Kurbel ( $K$ ) mit den  $X$ -Klemmen der Brücke verbindet. Natürlich sind schon vorher die Drähte annähernd geeicht. Ganz zweckmäßig ist es, nach geschehener Justierung die Drähte nicht ganz kurz abzukneifen, sondern ein  $10$  mm langes Ende nachzulassen, so daß beim etwaigen Nachregulieren der Draht mit einer Rundzange gefaßt und etwas herumgebogen werden kann. — Vor dem Anschrauben werden die Drähte ( $0$ — $10 \Omega$ )

<sup>1)</sup> Die meist hellgrau besponnenen Manganindrähte können leicht mit roter Tinte gefärbt werden.

<sup>2)</sup> Umständlicher, aber noch zweckmäßiger ist es, auch bei den Kontaktknöpfen Blechplatten anzubringen wie bei den Preßklemmen oben (s. w. u.), da man dann jeden Draht unabhängig vom anderen lösen oder befestigen kann.

<sup>3)</sup> In die ca.  $0,1$  mm dicke Zinnschicht wird der Draht eingepreßt, wodurch ein sehr sicherer Kontakt erreicht wird.

Bei den Kontaktknöpfen und den unteren Klemmen des Ergänzungs-Ohms sind die ösenförmig gebogenen Drahtenden verlötet und etwas flach gehämmert. Zuerst wird die Schraube des Kontaktknopfes durch die Öse des einen Drahtes geschoben, darüber eine beiderseits stark verzinnete runde Messingscheibe von  $0,5$  mm Dicke, dann die zweite Drahtöse und wieder eine Messingscheibe aufgesetzt, die Schraube durch das vorgebohrte Loch des Standbrettes geschoben und die Schraubenmutter auf der Rückseite aufgesetzt und — bei richtiger Lage der Drähte — fest angezogen.

Die Kontaktknöpfe  $O$  und  $20$  haben natürlich nur je einen Draht, dafür die dickere Messingplatte, die sie mit den Klemmen  $B$  (resp.  $C$ ) verbindet, zur Unterlage<sup>2)</sup>.

Die oberen Enden der Drähte sind einzeln an Kontaktscheiben aus stark verzinn-

so um einen etwa 6 mm dicken Glas- oder Metallstab gewickelt, daß ein glattes Stück von ca. 20 cm Länge nachbleibt, und zwar liegt bei den aufsteigenden Drähten der gelockte Teil oben, bei den absteigenden unten, damit man beide Zweige leichter verfolgen kann.

Einige Schwierigkeiten machte der Kurbelkontakt. Der Bürstenkontakt ist sehr gut, aber knifflig herzustellen. Der von mir benutzte Federkontakt genügt für unseren Zweck vollständig.

Die Kurbel ist 90 mm lang und 4 mm dick. Bei der Achse geht sie in eine 5,5 mm dicke Scheibe von 16 mm Durchmesser über. An dieser Scheibe ist die Kurbel 9,6 mm und beim Handgriff 8 mm breit. Der metallene Handgriff ist 20 mm lang und endet in eine 4 mm lange Schraube.

Die Kurbelachse besteht aus der Preßklemme von 10 mm Dicke, diese hat einen konischen Ansatz, um den die Kurbel (*k*, Fig. 2A) drehbar ist. Darunter ist eine größere Scheibe (*p*), die dem Standbrett aufliegt. Die Schraube ist durch das Brett geführt und auf der Rückseite mit einer versenkten Scheibe und einer Schraubenmutter befestigt.

Die Kontaktfeder (*f*, Fig. 2B) besteht aus einem Streifen von hartgehämmertem Messingblech ( $55 \times 9 \times 0,5$  mm), der an den beiden Enden mit Löchern versehen ist. Durch die (vermöge Biegung der Feder) übereinander gebrachten Löcher wird die Schraube des Handgriffes geschoben und in die Kurbel (*k*, Fig. 2B) fest eingeschraubt. Die Feder (*f*) wird vermittelt einer Rundzange an den Seiten aufgebogen, so daß der halbmondförmige untere Teil der Feder etwa 3 mm von der Kurbel absteht und mit dem Kontaktknopf (*KK*) eine gute Berührungsfläche hat. Falls der Kontakt zu „hart“ ist, kann man durch Andrücken der Feder gegen den Kontaktknopf die Feder flacher biegen und dadurch den Druck regulieren. Noch weicher wird der Kontakt, wenn man die Feder an den Biegungsstellen (oben) etwas schmaler nimmt.

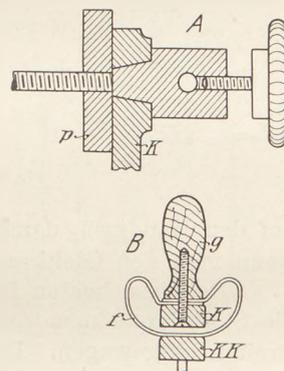


Fig. 2.

Nicht geringe Schwierigkeiten machte der Gleitkontakt des Einzel-Ohms. Der von Hartmann & Braun angewandte Schlittenkontakt geht etwas schwer und ist schwierig herzustellen; ein einfacher Schleifkontakt versagt völlig. Nach verschiedenen Versuchen erhielt ich in folgender Weise einen weichen und doch sicheren Kontakt.

Ein Streifen von verzinnem Messingblech ( $40,8 \times 16 \times 0,8$  mm) ist in der Mitte durchlocht und an beiden Enden mit quadratischen Löchern ( $8 \times 8$  mm) versehen (*A*, Fig. 3).

Über einem Streifen Eisenblech von 30 mm Breite und 0,8 mm Dicke mit abgerundeten Kanten werden die Enden der Messingplatte umgebogen, so daß beiderseits zwei Ösen entstehen. Unten ist eine Weißblechplatte von ca. 16 mm Breite gelötet und an derselben Stelle durchlocht wie die obere. Von unten ist eine Schraube mit flachem Kopf durchgesteckt und verlötet. Die umgebogenen, sich etwas verbreiternden Seitenflächen des Weißbleches sind an den unteren Ecken mit je 1 feinen Loche versehen für die Achsen der beiden Holzwalzen ( $w_1 w_2$ ) von 20 mm Länge und 10 mm Durchmesser. Ein Ende jeder Achse (ein Stück einer feinen Stricknadel) ist vermittelt eines LötKolbens mit Tinol verlötet.

Das Einzel-Ohm besteht aus zwei in 30 mm Entfernung strammgespannten blanken Konstantandrähten von 0,7 mm Durchmesser. Die beiden Drähte stehen vom Standbrett etwa 17 mm ab (d. h. um die Höhe des zylindrischen Teiles der Preßklemmen). Oben sind zwei einfache Preßklemmen, unten links (*A*) eine Preßklemme mit zwei, rechts mit drei Muttern. Der zylindrische Teil der Preßklemmen hat ein Loch,

wodurch das Einschrauben erleichtert wird, indem man einen Stahlstift durchstecken kann. Die rechte untere Klemmschraube (*B*, Fig. 1) ist durch einen verzinnnten oder vernickelten Messingstreifen mit dem ersten Kontaktknopf verbunden (ebenso die Klemme *C* mit dem äußersten Kontaktknopf rechts).

Zunächst schiebt man den einen Draht des Einzelohms in die Doppelöse, sodann den anderen Draht. Nun schiebt man den schwarzgebeizten, als Zeiger

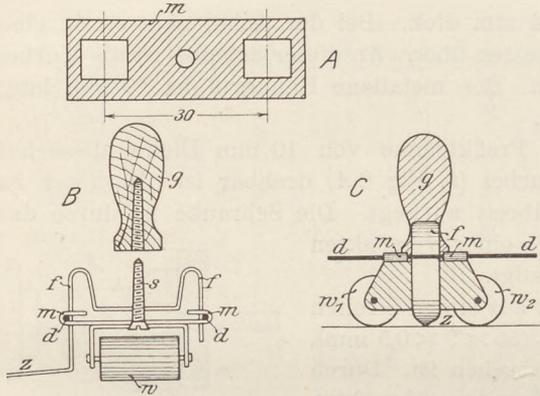


Fig. 3.

dienenden Teil der Feder (*f*, Fig. 3) in die linke, vom Draht begrenzte rechtwinklige Öffnung der Messingplatte, schiebt das Loch der Feder über die Schraube (*S*), drückt den rechten Bügel etwas zusammen und schiebt ihn in die rechte Öffnung der Kontaktplatte. Schraubt man nun den metallenen Handgriff fest auf, so ist der Gleitkontakt fertig. Die an den Kanten abgerundete Feder preßt beiderseits den betreffenden Draht an die Ösen der Kontaktplatte, und zwar mit konstantem Druck. Beim Gebrauche drückt man leicht

auf den Handgriff, damit beide Walzen das Standbrett berühren und auf ihm rollen, wenn man den Gleitkontakt auf- oder abwärts bewegt.

Da diese beiden Drähte am meisten dem Verschleiß ausgesetzt sind, so wird die Skala auf einem durch vier Federn gehaltenen, also leicht ersetzbaren Kartonstreifen aufgetragen. Die Zwanzigstel- $\Omega$  sind geeicht und die Abstände in 5 gleiche Teile geteilt. Diese Skala reicht von 0,04—1,4  $\Omega$ , doch ist es, wie gesagt, zweckmäßiger, 0,7 mm dicke Drähte zu verwenden, so daß das Meßbereich 0,04—1,1  $\Omega$  beträgt.

## II. Die Verwendung des Schul-Rheostaten

1. als Vergleichswiderstand. Durch dicke Leitungsschnüre (von 4 mm Kerndurchm.) verbindet man die Klemmen *B* und *K* (Fig. 1) mit dem Galvanometer und der Batterie, wenn man bekannte Widerstände einschalten will, indem man z. B. *B* und *K* des Rheostaten mit den Klemmen  $G_1$  und  $B_1$  der Meßbrücke (ds. Zeitschr. 1907, S. 79) verbindet. Man kann 0, 1, 2, 3 . . . 10 und 20  $\Omega$  erhalten. Verbindet man die Klemmen *C* und *K* und dreht die Kurbel von rechts nach links, so erhält man 10  $\Omega$ , 11, 12 . . . 19, 20  $\Omega$ . — Verbindet man die Klemme *B* und die erste linke Klemme oben (*D*), so hat man  $\frac{1}{2}$   $\Omega$ , bei der nächsten  $1\frac{1}{2}$ , dann  $2\frac{1}{2}$  . . .  $9\frac{1}{2}$  und 15  $\Omega$  usw. — Durch Verbindung von *C* mit der rechten oberen Klemme (*E*) erhält man 5  $\Omega$ , dann  $10\frac{1}{2}$ ,  $11\frac{1}{2}$  . . .  $19\frac{1}{2}$   $\Omega$  (d. h. für jede der oberen Klemmen ist die Summe der so erhaltenen Zahlen gleich dem Gesamtwiderstande (20  $\Omega$ ). Es empfiehlt sich, diese Ziffern anzubringen, und zwar die erste Reihe (unten) schwarz, die obere rot.

2. Nachweis des Potentialgefälles im Leiter. Man verbindet die Batterie, z. B. sechs hintereinandergeschaltete Cupronelemente, durch dicke Leitungsschnüre mit den Klemmen *B* und *C* und das Voltmeter (1 Skalengrad = 0,5 Volt) mit *B* und *K*. Zwischen den Punkten *B* und *C* sind 20  $\Omega$  eingeschaltet. Jedes Ohm in der Voltmeterleitung entspricht  $\frac{1}{20}$  des Widerstandes *BC*, also die Potentialdifferenz auch  $\frac{1}{20}$  der Potentialdifferenz zwischen *B* und *C*. Bei meinem Apparat entspricht zufällig in diesem Falle die Einschaltung von  $\frac{2}{20}$  *BC*, also von 2  $\Omega$ , genau 1 Skalengrad des Voltmeters. Bei einem etwas empfindlicheren Voltmeter brauchte ich nur

einen Extrawiderstand in den Stromkreis (Batterie—Rheostat) einzuschalten, um mit ganzen Zahlen operieren zu können. (Hierbei leistete mir der Kurbel-Rheostat von Hartmann & Braun als Hilfsapparat gute Dienste.)

Will man nachweisen, daß die Potentialdifferenz für gleiche Abstände eines gleichförmigen Leiters (richtiger: für gleiche Bruchteile des Gesamtwiderstandes  $BC$ ) konstant ist, so genügt es, die Zuleitungsdrähte des Voltmeters mit zwei aufeinanderfolgenden Kontaktknöpfen (0—10) in Berührung zu bringen. Dasselbe erreicht man durch Berührung zweier benachbarter Preßklemmen oben.

Bei Verwendung des Elektrometers (mit Kondensator) muß man, um die Hände frei zu haben, die Zuleitungsdrähte festschrauben können. Dazu sind die Preßklemmen oben sehr bequem; auch gestatten sie  $\frac{1}{2}$ ,  $1\frac{1}{2}$ ,  $2\frac{1}{2}$  . . .  $\Omega$  einzuschalten<sup>1)</sup>. Verzichtet man auf diese Bequemlichkeit und begnügt sich mit Intervallen von ganzen Ohm, so läßt sich der Rheostat viel einfacher und billiger herstellen, indem man oben Haken oder dickköpfige kurze Holzschrauben einschraubt und die Einzelwiderstände zu 1 Ohm (den letzten zu 10  $\Omega$ ) nimmt, in Locken aufwickelt<sup>2)</sup> und nach der Regulierung in der Mitte faßt und oben einfach aufhängt.

3. Bestimmung des inneren Widerstandes von Elementen. Hier ist die Verwendung des Einzel-Ohms sehr bequem. Zunächst verbindet man das Element (resp. die Batterie) durch kurze dicke Leitungsschnüre mit der Preßklemme  $B$  (Fig. 1), die zwei freie Muttern hat, und mißt die Stromstärke ( $J_1$ ) für den äußeren Widerstand  $W_a = 0$ <sup>3)</sup>. Darauf verbindet man  $A$  und  $B$  (resp.  $A$  und  $K$ ) und stellt den Schleifkontakt so ein, daß die Stromstärke  $J_2 = J_1/2$  wird; dann ist der eingeschaltete äußere Widerstand ( $W_a$ ) gleich dem gesamten inneren Widerstande ( $W_i = n \cdot w_i$ , wo  $w_i$  den inneren Widerstand eines von sechs hintereinandergeschalteten Elementen bedeutet).

Bei Cupronelementen erhielt ich a) für 1 Element:

$$J_1 = \frac{E}{w_i + 0} = 8 \text{ Amp.}, \quad J_2 = \frac{E}{w_i + 0,13 \Omega} = 4 \text{ Amp.}$$

Also  $E/(w_i + 0) = 2 \cdot E/(w_i + 0,13 \Omega)$ , woraus sich ergab:

$$w_i + 0,13 \Omega = 2(w_i + 0) = 2w_i, \text{ mithin } w_i = 0,13 \Omega.$$

b) Als sechs Cupronelemente hintereinandergeschaltet waren, ergab sich  $J_1 = 8$  Amp. und  $J_2$  (bei  $W_i = 6w_i = 0,79 \Omega$ ) = 4 Amp. Also

$$6w_i = 0,79 \Omega, \text{ mithin } w_i = 0,131 \Omega.$$

Bei anderen Elementen erhielt ich keine so übereinstimmenden Werte.

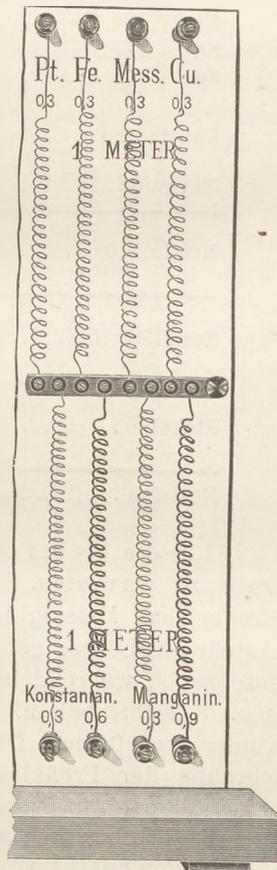


Fig. 4.

<sup>1)</sup> Das letztere könnte man auch erreichen, indem man die Klemmen  $A$  und  $K$  verbindet und den Schleifkontakt auf  $0,5 \Omega$  einstellt, dann ist  $W = (n + 0,5) \Omega$ ; doch ist es nicht ratsam, den Batteriestrom dauernd durch die dünneren Drähte des Einzelohms zu schicken.

<sup>2)</sup> Mühsamer, aber zweckmäßiger ist es, die Widerstandsdrähte zickzackförmig zu biegen um Selbstinduktion zu vermeiden.

<sup>3)</sup> Mit  $w_i$  sei der innere Widerstand eines Elements, mit  $W_i$  der einer Batterie bezeichnet.

Sollte man für diese Messungen der Skala des Einzelohms nicht ganz trauen, so kann man leicht vermittelst der Meßbrücke den eingestellten Widerstand genauer bestimmen.

Widerstandstabelle<sup>1)</sup>.

Bei 18° C.	Drähte 2r = 1 mm		Relativer Widerstand	
	Länge von 1 Ω	Widerstand 1 m	Cu = 1	
Ag (999,8 ‰)	48,22 m	0,0209 Ω	0,920	
Al	24,50 m	0,0408 Ω	1,75	
Cu	44,06 m	0,0227 Ω	1	
Fe (Stabeisen)	6,52 m	0,153 Ω	6,74	
Hg (0°)	0,845 m	1,183 Ω	52,11	
Pb	3,80 m	0,263 Ω	11,54	
Pt (0°)	7,17 m	0 140 Ω	6,17	
Su	6,44 m	0,155 Ω	6,83	
Zn	12,97 m	0,0771 Ω	3,40	
Konstantan	{ 40% Ni	1,60 m	0,625 Ω	27,09
	{ 46% Ni	1,56 m	0,641 Ω	28,41
Manganin	1,86 m	0,5376 Ω	23,24	
Messing (0°)	{ rot	12,37 m	0,0808 Ω	3,52
	{ gelb	10,45 m	0,0963 Ω	4,25
Neusilber (0°)	{ von 3,79 m	von 0,264 Ω	von 11,63	
	{ bis 2,62 m	bis 0,382 Ω	bis 16,78	
Nickelin	{ von 2,36 m	von 0,423 Ω	von 18,63	
	{ bis 1,88 m	bis 0,532 Ω	bis 23,43	
Resistan	1,49 m	0,671 Ω	25,15	

Um die bis auf die beiden Widerstandsrollen (s. o.) leere Rückseite des Standbretts zu verwerten, habe ich an der rechten Seite in der Mitte einen verzinneten Streifen aus Messingblech (115 × 12 × 1 mm) angebracht, in welchen 9 gleichweit abstehende Löcher gebohrt sind (Fig. 4). Am Ende rechts ist eine Preßklemme eingeschraubt, während in die 8 übrigen Löcher Holzschrauben mit Kontaktscheibchen (s. o.) 8 Drähte halten. Von diesen führen 4 Drähte (aus Platin, Eisen, Messing und Kupfer) von 0,3 mm Dicke und 1 m Länge nach oben, wo sie vermittelst der Holzschraube der Preßklemmen (nebst Kontaktscheibe) befestigt sind. Die anderen vier Drähte (d. h., vom linken Ende des Blechstreifens gerechnet, der II., IV., VI., VIII. Draht) bestehen aus Konstantandraht von 0,3 und 0,6 mm Durchmesser sowie aus Manganindraht von 0,3 und 0,9 mm Durchmesser. Alle diese Drähte sind auch je 1 m lang.

Mit Hilfe dieses Ergänzungs-Rheostaten lassen sich leicht die relativen Widerstände der sechs Metalle (vom Durchm. = 0,3 mm) bestimmen, indem man durch dicke Leitungsschnüre die Preßklemme des Blechstreifens sowie die End-

<sup>1)</sup> Die Werte der I. Kolonne sind der 3. Aufl. der Landolt-Börnsteinschen phys.-chem. Tabellen (1905) entnommen und auf Drähte von 1 mm Durchmesser (0,7854 qmm) umgerechnet. II. = 1/I.; III. = II./Cu = II./0,0227.

klemme des betreffenden Drahtes mit den X-Klemmen der Meßbrücke verbindet. Ebenso kann an den beiden Konstantendrähten (Dickenverhältnis 1:2) und den Manganindrähten ( $D. = 1:3$ ) der Einfluß des Querschnitts eines Leiters veranschaulicht werden. Verbindet man die Endklemmen eines oberen und eines unteren Drahtes, so sind die beiden Drähte hintereinandergeschaltet. Da alles Doppelpreßklemmen sind, so kann man leicht zwei beliebige Drähte parallel schalten.

Den mittleren Teil der Rückseite nimmt eine Widerstandstabelle ein, die in großen, weithin sichtbaren Ziffern und Lettern<sup>1)</sup> auf Karton aufgetragen ist (siehe die vorstehende Tabelle).

Die Lehrbücher geben meist nur die relativen Widerstände ( $Ag = 1$ ) oder die Widerstände von 1 m Draht bei 1 Quadratmillimeter Querschnitt an. Da die Drähte nach ihrem Durchmesser gemessen werden, habe ich 1 mm Durchmesser zugrunde gelegt, was sich beim Gebrauch weit bequemer erwies.

Ehe die Schüler mit der Meßbrücke die Widerstände bestimmen, können sie an der Hand dieser Tabelle leicht annähernd den zu erwartenden Widerstand berechnen, z. B. für 1 m Manganindraht von 0,3 mm Durchmesser muß der Widerstand  $0,3^2 = 0,09$  mal kleiner oder  $100/9$  mal größer sein, als der Wert in der Tabelle, also  $0,5376 \cdot 100/9 = 5,97 \Omega$  betragen.

Der beschriebene regulierbare Schul-Rheostat wird von der Firma MAX KOHL in Chemnitz in zwei Typen geliefert. I, entsprechend Fig. 1, für M 140 und ohne Tabelle und Ergänzungsrheostat auf der Rückseite für M 110, und II vereinfacht, d. h. ohne die oberen Preßklemmen und Platten, M 100. Alle Metallteile können daselbst bezogen werden (die Doppelpreßklemmen zu M 1,30 das Stück), weshalb die Selbstherstellung des Ergänzungsrheostaten (auf der Rückseite) sehr einfach ist.

## Apparat zur Huygensschen Ableitung der Formel fürs physische Pendel.

Von

Prof. Dr. **Emil Schulze** in Berlin.

Die Formel fürs physische Pendel gehört zu den Formeln, an deren Ableitung der Physiklehrer nur ungern herantritt. Naturgemäß müßte die Behandlung des physischen Pendels sich unmittelbar an die des Fadenpendels anschließen; statt dessen ruht das Pendelproblem, bis es nach der Durchnahme des allgemeineren Problems, der Drehung eines Körpers um eine feste Achse, wieder aufgenommen wird. In der Regel fehlt bei Inangriffnahme des allgemeineren Problems von vornherein die experimentelle Grundlage, und die Schüler müssen durch theoretische Untersuchungen hindurch bis zur Aufstellung der Formel fürs physische Pendel geführt werden. Selbst, wo ein Trägheitsmomenten-Apparat vorhanden ist, gibt es genug Schwierigkeiten zu überwinden. So mancher Physiklehrer, der am Gymnasium unterrichtet, wird deshalb wohl bei der knappen zur Verfügung stehenden Zeit sich mit der Erläuterung begnügen, daß die dem Drehpunkte näheren Teilchen eines physischen Pendels durch die entfernteren in ihrer Schwingungsbewegung verzögert, die entfernteren durch die näheren beschleunigt werden, daß es also Teilchen geben muß, die weder verzögert noch beschleunigt werden; er wird dann noch eine experimentelle Bestimmung des Schwingungspunktes bieten, aber auf dessen theoretische Bestimmung verzichten.

<sup>1)</sup> Der besseren Unterscheidung wegen ist die mittlere Kolonne mit roten Ziffern versehen (unverwischbare Tusche von Schleicher & Schüll in Düren).

Und doch gibt es einen Weg, der gleich im Anschluß an das Problem des Fadenpendels mühelos zur Aufstellung der Formel fürs physische Pendel führt, es ist der Weg, den einst HUYGENS zur Lösung des Pendelproblems beschritten hat. Obgleich MACH in seinem Buche „Die Mechanik in ihrer Entwicklung“ den HUYGENSschen Gedankengang eingehend erörtert und warme, anerkennende Worte für die HUYGENSSche Lösung findet, obgleich auch in dem weit verbreiteten Lehrbuche von MÜLLER-PFAUNDLER die Formel fürs physische Pendel in HUYGENSSchem Sinne abgeleitet ist (in der letzten, 10. Auflage leider nicht mehr), so ist doch die HUYGENSSche Methode im Schulunterricht bisher noch nicht herangezogen worden, wenigstens ist sie in keinem Schulbuche zu finden.

HUYGENS stellt sich ein physisches Pendel vor, dessen Teilchen in dem Augenblicke, wo sie durch die Gleichgewichtslage hindurchgehen, sich voneinander lösen und frei hin- und herschwingen können. Dann wird es sich geltend machen, daß die dem Drehpunkte näheren Teilchen durch die entfernteren verzögert worden sind, sie werden, frei geworden, nicht bis zu ihrer ursprünglichen Höhe steigen, die entfernteren dagegen werden über ihre ursprüngliche Höhe hinaus schwingen; das Teilchen allein, das den Schwingungspunkt enthält, wird genau die ursprüngliche Höhe erreichen. Fig. 1 erläutert das Gesagte: Die schwarzen Kreise links stellen 7 zu einem physischen Pendel verbundene Massen in ihrer ursprünglichen Lage dar; bleiben sie verbunden, so steigen sie bis zu den schwarzen Kreisen rechts auf, werden sie im tiefsten Punkte frei, so steigen sie bis zu den weißen Kreisen auf.

Wenn man sich entschließt, im Unterricht die HUYGENSSche Methode zur Lösung des Pendelproblems heranzuziehen, so wird man wohl den durchaus gerechtfertigten Wunsch haben, sich nicht in erster Linie auf eine Zeichnung wie Fig. 1, sondern auf ein Experiment zu stützen, das HUYGENSSche Gedankenexperiment zu ersetzen durch ein Experiment, das sich wirklich ausführen läßt. Der Apparat, durch den ein solcher Versuch angestellt werden kann, soll im folgenden beschrieben werden.

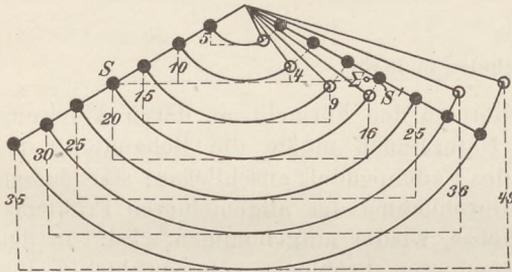


Fig. 1.

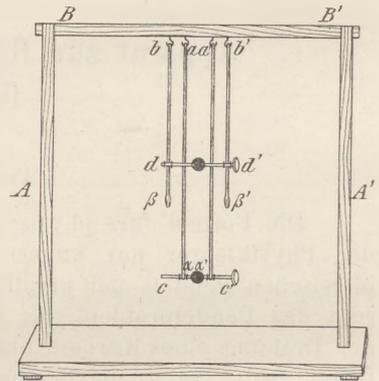


Fig. 2.

Zunächst werde der denkbar einfachste Fall erörtert, wo nur zwei gleiche Massen zu einem physischen Pendel vereinigt sind, die beim Durchgang durch die Gleichgewichtslage frei werden.

Auf den eisernen Säulen  $AA'$  (Fig. 2) ruht die eiserne Stange  $BB'$ , an der unten 4 Haken  $a, a', b, b'$  angebracht sind. In die Haken  $a$  und  $a'$  sind zwei leichte, dünne, 60 cm lange, unten durchlochte Hölzchen  $aa'$  eingehakt. Durch die Löcher ist ein eiserner Stab, der in der Mitte eine Bleikugel trägt, gesteckt und an die Hölzchen durch kleine Schrauben festgeschraubt. Die beschriebene Aufhängevorrichtung ist einer an zwei Fäden aufgehängten Pendelkugel zu vergleichen, nur sind statt der Fäden starre Hölzchen gewählt. Ebenso hängen an den Haken  $b$  und  $b'$  zwei 40 cm lange Stahldrähte, die sowohl oben und unten als auch in 20 cm und 30 cm Abstand vom Drehpunkte breit geschlagen und durchlocht sind. Je nach-



dem der eiserne Stab  $da'$ , der in der Mitte ebenfalls eine Bleikugel von derselben Größe wie die untere trägt, durch die Löcher in 20, 30 oder 40 cm Abstand vom Drehpunkte gesteckt ist, stellt diese Aufhängevorrichtung ein Pendel von 20, 30 oder 40 cm Länge dar.

Bringt man die untere Kugel aus der Gleichgewichtslage, so hebt man durch diese Drehbewegung auch die obere Kugel. Läßt man hierauf los, so drückt bei der Abwärtsbewegung die Querstange  $da'$  der oberen Kugel auf die Hölzchen der unteren, die obere Kugel wirkt also bei der Abwärtsbewegung beschleunigend auf die untere, während sie selbst durch die untere gehemmt wird. Das Ganze stellt somit bei der Abwärtsbewegung ein aus zwei gleichen Massen bestehendes physisches Pendel dar. Bei der Aufwärtsbewegung dagegen lösen sich beide Massen voneinander, indem die untere Masse der oberen vorausfliegt (Fig. 3).

Die beschriebene Pendelvorrichtung eignet sich vorzüglich zur Erläuterung und Bestätigung des Energiegesetzes. Wenn schon das Fadenpendel sowie das Galileische Hemmungspendel hierzu im Unterricht herangezogen werden, so lassen sich mit dieser Pendelvorrichtung die gewonnenen Vorstellungen noch vertiefen. An einem Beispiele möge das erörtert werden.

Das kürzere Pendel sei 30 cm lang. Da das längere Pendel eine Länge von 60 cm hat, so kommt die untere Kugel im tiefsten Punkte mit doppelt so großer Geschwindigkeit wie die obere an, denn sie legt in jedem Zeiteilchen das doppelte Wegteilchen zurück. Hat man die Kugeln etwa auf die Höhen  $h_1 =$

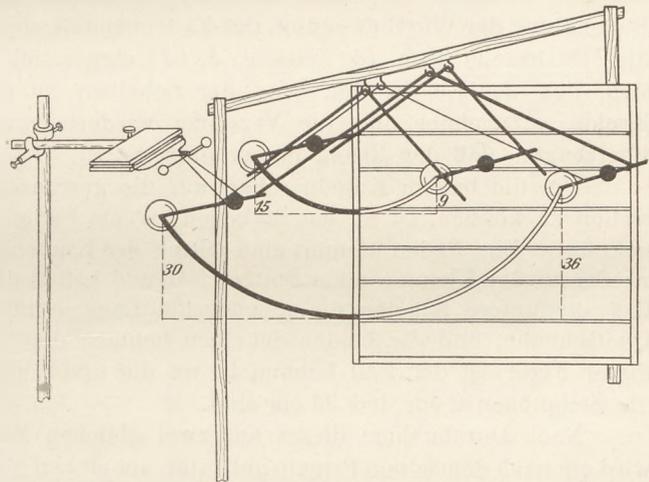


Fig. 3.

15 cm,  $h_2 = 30$  cm gebracht, so ergibt der Versuch für die frei gewordenen Höhen die Steighöhen  $h'_1 = 9$  cm,  $h'_2 = 36$  cm (Fig. 3). Der Versuch läßt zweierlei erkennen:

1.  $h_1 + h_2 = h'_1 + h'_2$
2.  $h'_1 : h'_2 = v_1^2 : v_2^2$

So viele Versuche auch angestellt werden, immer ergibt sich die Richtigkeit dieser beiden Gleichungen. In folgender Tabelle seien die Resultate einiger Versuche zusammengestellt:

$h_1$	$h_2$	$h_1 + h_2$	$v_1 : v_2$	$h'_1$	$h'_2$	$h'_1 + h'_2$	$h'_1 : h'_2$
cm	cm	cm		cm	cm	cm	
10	20	30	1 : 2	6	24	30	1 : 4
15	30	45	1 : 2	9	36	45	1 : 4
20	40	60	1 : 2	12	48	60	1 : 4
10	30	40	1 : 3	4	36	40	1 : 9
15	45	60	1 : 3	6	54	60	1 : 9
26	39	65	2 : 3	20	45	65	4 : 9

Die erste Gleichung bedeutet, daß die neue Energie der Lage  $mg h'_1 + mg h'_2$  gleich der ursprünglichen Energie der Lage  $mg h_1 + mg h_2$  geblieben ist. Wenn das schon eine ganz hübsche Bestätigung des Energiegesetzes ist, so ist die Bedeutung der zweiten Gleichung noch interessanter; nach ihr sind die Steighöhen der frei ge-

wordenen Kugeln den Quadraten ihrer Geschwindigkeiten im tiefsten Punkte proportional. Daß ein Pendelkörper um so höher steigen wird, je größer seine Geschwindigkeit im tiefsten Punkte ist, ist selbstverständlich, aber daß seine Steighöhe (und infolgedessen seine Bewegungsenergie im tiefsten Punkte) proportional dem Quadrate dieser Geschwindigkeit ist, das in so einfacher Weise durch den Versuch festzustellen, ist bisher wohl noch nicht gelungen.

Um die Versuche schnell hintereinander anstellen zu können, müssen die Werte sowohl der ursprünglichen Höhen als auch der Steighöhen sich mühelos feststellen lassen. Um das zu erreichen, tragen die gleichlangen Querstäbe  $cc'$  und  $dd'$  (Fig. 2) an den einen Enden weiße Pappscheiben, die die Bewegung der Kugeln mitmachen. Stellt man eine schwarze, linierte Tafel parallel zur Schwingungsebene so auf, daß die beiden weißen Pappscheiben dicht an ihr vorbeiziehen, so können die Schüler den Weg der Scheiben deutlich verfolgen (Fig. 3). Die Anschaffung einer solchen schwarzen Tafel erweist sich nicht nur zur Anstellung dieser Versuche als nützlich, sondern ihr Besitz ist auch für andere Zwecke angenehm, z. B. bei der Behandlung der Wurfbewegung, des Fadenpendels, des Galileischen Hemmungspendels; die Höflersche Tafel (d. Zeitschr. 9, 63) eignet sich hierzu recht gut. Es empfiehlt sich, daß der Lehrer den Weg der Scheiben an der schwarzen Tafel vorher mit Kreide aufzeichnet und die Versuche wiederholt anstellt, damit die Schüler sich überzeugen, daß der Erfolg immer derselbe ist.

Um die beiden Kugeln scharf auf die gewünschten ursprünglichen Höhen einstellen zu können, ist an das Stäbchen  $cc'$  ein Faden, in der Mitte mit einem Knoten, geknüpft. Den Faden klemmt man mittels des Knotens in einem Quetschhahn, letzteren wieder in der Klemme eines Stativs fest und bringt dann die Klemme in solche Höhe, daß die untere Scheibe die gewünschte Lage erhält (Fig. 3). Ein Druck auf den Quetschhahn, und die beiden Scheiben nehmen den in Fig. 3 dargestellten Weg. In dieser Figur ist der Fall behandelt, wo die ursprünglichen Höhen 15 cm und 30 cm, die Steighöhen 9 cm und 36 cm sind.

Nach Durchnahme dieses aus zwei gleichen Massen gebildeten Pendelapparats wird ein nach demselben Prinzip gebauter, aus sieben gleichen Pendelkugeln bestehender Apparat vorgeführt. Die Querstange  $BB'$  (Fig. 2) wird ersetzt durch die Querstange  $CC'$  (Fig. 4). An den Haken  $a$  und  $a'$  hängen Holzleisten, an den anderen Haken Stahldrähte. Die Pendelkugeln sind 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 dm vom Drehpunkte entfernt. Die Querstange der obersten Kugel liegt auf den Drähten aller anderen Kugeln auf, beim Abwärtsschwingen beschleunigt also die erste Kugel durch ihre Querstange die 6 andern Kugeln, während sie selbst durch letztere in ihrer Bewegung gehemmt wird. Ebenso wird die zweite Kugel durch die erste beschleunigt, durch die 5 andern Kugeln gehemmt u. s. f. Bei der Abwärtsbewegung bildet also die Pendelvorrichtung ein aus 7 gleichen Massen gebildetes physisches Pendel; im tiefsten Punkte dagegen lösen sich die 7 Pendel voneinander, voraus fliegt das siebente Pendel, ihm folgt das sechste, ihm das fünfte u. s. f. Der Querschnitt der Holzleisten ist ein Rechteck, dessen schmale Seite nach vorn liegt, wodurch erreicht wird, daß die Holzleisten, obgleich sie, aus der Gleichgewichtslage gebracht, die Last der Bleikugeln zu tragen haben, sich nicht merklich biegen.

Die die Kugeln tragenden Querstangen haben an dem einen Ende einen Kork; in diesen läßt sich ein feiner zugespitzter Stahldraht, der am Ende eine weiße Pappscheibe trägt, stecken. Die Pappscheiben befinden sich in einer Ebene (Fig. 4). Stellt man wieder die schwarze Tafel parallel zur Schwingungsebene so auf, daß die weißen Scheiben beim Schwingen dicht an ihr vorbeiziehen, so läßt sich der Weg der freigewordenen Pendelkörper verfolgen. Allerdings vermag das Auge bei der schnellen Bewegung Einzelheiten nur schwer festzuhalten, und doch ist es unbedingt nötig, die Steighöhen der einzelnen Kugeln durch die Beobachtung zu bestimmen,

um sie mit den ursprünglichen Höhen vergleichen zu können. Zur Erreichung dieses Zieles müssen 7 Versuche angestellt werden. Bei allen 7 Versuchen wird die Pendelvorrichtung gleichhoch gehoben und mittels eines Fadens in einem Quetschhahn festgeklemmt, wie es oben beschrieben ist; beispielsweise bringe man in den 7 Versuchen die Kugeln auf die Höhen von 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 cm (Fig. 1). Vor Anstellung des ersten Versuchs entferne man alle Pappscheiben bis auf die erste. Drückt man auf den Quetschhahn, so ist jetzt der Weg der ersten Scheibe an der Tafel deutlich zu verfolgen, ihre Steighöhe wird gleich 1 cm bestimmt. Der zweite Versuch lehrt die Steighöhe der zweiten Scheibe gleich 4 cm kennen u. s. f. Man ermittelt auf diese Weise die Steighöhen gleich 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49 cm (Fig. 1). Eine Kreidezeichnung an der schwarzen Tafel, schon vor Anstellung der 7 Versuche entworfen, erleichtert die Beobachtung wesentlich, so daß die 7 Versuche schnell hintereinander angestellt werden können. Damit die Massen beim Zurückpendeln nicht zu heftig zusammenprallen und ein Verbiegen der Drähte bewirken, empfiehlt es sich, die untersten zwei oder drei Pendel vor dem Zurückpendeln mit der Hand abzufangen.

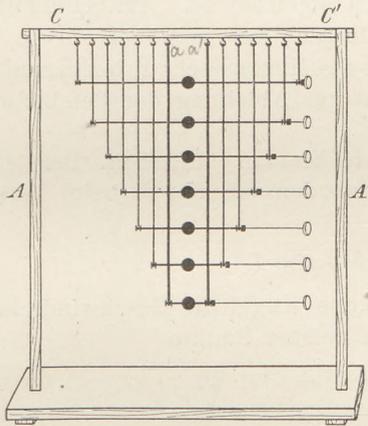


Fig. 4.

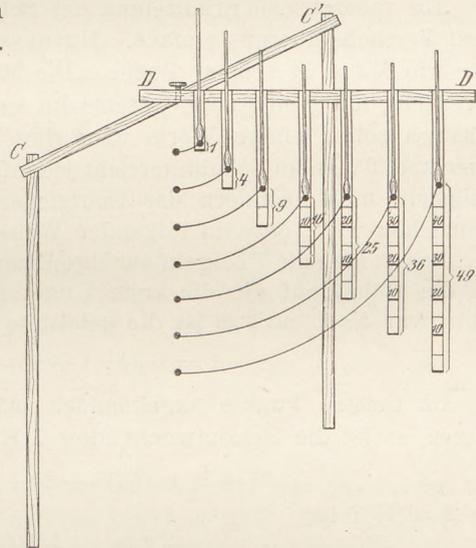


Fig. 5.

Noch bequemer lassen sich die Steighöhen bestimmen mit Hilfe von 7 in der Holzleiste  $DD'$  (Fig. 5) befestigten Pinseln; die Holzleiste läßt sich an die Querstange  $CC'$  wagerecht so anschrauben, daß sie sich mit den Pinseln in der Schwingungsebene befindet. Die Pinsel haben eine solche Stellung erhalten, daß die 7 Kugeln, freigeblieben, in die Pinselhaare zur Hälfte eintauchen. Nachdem die Schüler sich hiervon überzeugt haben (ein weißer Schirm, hinter die ins Auge zu fassenden Pinselhaare gestellt, erleichtert die Beobachtung), läßt man 7 in Zentimeter geteilte Bänder von 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 cm Länge, die bis dahin zusammengerollt an der Holzleiste hinter den Pinseln angebracht waren, herunter. Beispielsweise reichen die Pinselhaare des siebenten Pinsels an dem siebenten Bande so tief herab, daß noch 49 cm frei bleiben, die Steighöhe der siebenten Kugel ist also 49 cm. In dieser Weise lassen sich die Steighöhen an den Bändern bequem ablesen.

Der Apparat aus 7 Kugeln wird zunächst nur zur Bestätigung der beiden schon mittels des Apparats aus 2 Kugeln gewonnenen Resultate benutzt. Einmal ergibt der Versuch die Gleichheit der Summe der ursprünglichen Höhen ( $5 + 10 + 15 + 20 + 25 + 30 + 35$ ) cm und der Summe der Steighöhen ( $1 + 4 + 9 + 16 + 25 + 36 + 49$ ) cm, die Energie der Kugeln ist also unverändert geblieben. Weil ferner die Geschwindigkeiten der Kugeln im tiefsten Punkte sich wie ihre Abstände vom Drehpunkte, also wie  $1:2:3:4:5:6:7$  verhalten, ihre Steighöhen aber wie  $1:4:9:16:25:36:49$ ,

so wird wiederum bestätigt, daß die Steighöhen proportional den Quadraten der Geschwindigkeiten im tiefsten Punkte sind.

Im unmittelbaren Anschluß an diese Versuche wird man jetzt zur Ableitung der Formel fürs physische Pendel schreiten. Vergleicht man die ursprünglichen Höhen mit den Steighöhen, so sind sie für die erste Kugel 5 cm und 1 cm, für die zweite 10 cm und 4 cm, für die dritte 15 cm und 9 cm, für die vierte 20 cm und 16 cm, für die fünfte 25 cm und 25 cm, für die sechste 30 cm und 36 cm, für die siebente 35 cm und 49 cm. Nur für die fünfte Kugel ist die Steighöhe gleich der ursprünglichen Höhe, sie enthält also den Schwingungspunkt, für die ersten 4 Kugeln sind die Steighöhen kleiner, für die sechste und siebente Kugel größer als die ursprünglichen Höhen. Schlingt man ein Band um alle 7 Pendel, so daß sie nur als Ganzes, als physisches Pendel, hin und her schwingen können, und läßt man mit diesem physischen Pendel zugleich ein Fadenpendel von 5 dm Länge schwingen, so ergibt der Versuch die Bestätigung, daß die fünfte Kugel den Schwingungspunkt enthält.

Die theoretische Ermittlung des Schwingungspunktes gestaltet sich auf Grund dieser Versuche überaus einfach. HUYGENS hat zu dem Zwecke ein Prinzip aufgestellt, das, wie MACH in seinem Buche „Die Mechanik in ihrer Entwicklung“ rühmend hervorhebt, mit dem Energiegesetze im wesentlichen identisch ist. Am Schluß dieses Aufsatzes sollen einige Worte über dies Prinzip folgen, für jetzt sei nur so viel bemerkt, daß man im Schulunterricht jedenfalls nicht das HUYGENSSCHE Prinzip, zunächst wenigstens nicht, sondern das Energiegesetz selbst zur Ableitung der Pendelformel heranziehen wird, etwa in folgender Weise:

Bringt man die 7 Kugeln aus ihrer Ruhelage, so leistet man eine Arbeit. Bezeichnet man die Höhe, auf die die erste Kugel gebracht worden ist, mit  $h$  (beim Versuch vorhin war  $h = 5$  cm), so ist die geleistete Arbeit

$$A = m g h \cdot (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7)$$

Im tiefsten Punkte angekommen möge die erste Kugel die Geschwindigkeit  $v$  besitzen, so ist die Gesamtwucht aller 7 Kugeln im tiefsten Punkte

$$W = \frac{1}{2} m v^2 (1^2 + 2^2 + 3^2 + 4^2 + 5^2 + 6^2 + 7^2)$$

Aus  $A = W$  folgt

$$\frac{2 g h}{v^2} = \frac{1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots + 7^2}{1 + 2 + 3 + \dots + 7}$$

Die  $x$ te Kugel sei diejenige, die beim Freiwerden bis zur ursprünglichen Höhe  $h \cdot x$  steigt, so ist für sie nach dem Energiegesetze

$$\frac{1}{2} m (x v)^2 = m g \cdot h x, \text{ also } x = \frac{2 g h}{v^2}$$

und daher

$$x = \frac{1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots + 7^2}{1 + 2 + 3 + \dots + 7} = 5$$

Also auch theoretisch hat sich das Resultat ergeben, daß die fünfte Kugel den Schwingungspunkt enthält.

Die Berechnung der Steighöhen  $h_1'$ ,  $h_2'$ ,  $h_3'$ , ... der einzelnen Kugeln ist jetzt leicht durchzuführen. Für die erste Kugel ist

$$m g h_1' = \frac{1}{2} m v^2, \text{ also } h_1' = \frac{v^2}{2g} = \frac{h}{x} = \frac{5 \text{ cm}}{5} = 1 \text{ cm}$$

Für die zweite Kugel ist

$$h_2' = 4 \frac{v^2}{2g} = 4 \text{ cm, u. s. f.}$$

Das gesteckte Ziel, für die reduzierte Pendellänge eine Formel zu gewinnen, ist im wesentlichen bereits erreicht. Die erhaltene Formel gilt zwar nur für einen

besonders einfachen Fall, ist aber, wie leicht zu überschauen, der Verallgemeinerung ohne weiteres fähig. Zunächst ist klar, daß die Behandlung dieselbe bleibt, wenn statt der 7 gleichen Massen deren  $n$  vorhanden sind. Dann ist die reduzierte Pendellänge

$$x = \frac{1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots + n^2}{1 + 2 + 3 + \dots + n} = \frac{2n + 1}{3}, \quad \text{also} \quad \frac{x}{n} = \frac{2}{3} + \frac{1}{3n}$$

$\sum m_i^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}$   
 $\sum m_i = \frac{n(n+1)}{2}$   
 $n=4, x=3$

Je größer  $n$  ist, d. h. je mehr Massen vorhanden sind, um so mehr nähert sich der Bruch  $x/n$  dem Werte  $2/3$ ; für ein stabförmiges Pendel, das man sich aus unendlich vielen gleichen Massenteilchen bestehend denken kann, ist daher die reduzierte Pendellänge gleich  $2/3$  der Stablänge.

An dem interessanten, schon von HUYGENS bewiesenen Satze, daß durch Vertauschung von Aufhängepunkt und Schwingungspunkt die Schwingungsdauer sich nicht ändert, wird man wohl selbst bei knapper Zeit nicht vorübergehen wollen, zumal der Satz sich für ein stabförmiges Pendel besonders leicht beweisen läßt. Der diesem Zwecke dienende Apparat (Fig. 6 a) besteht aus zwei Holzleisten, die oben und unten durch Stifte verbunden sind, und durch die 8 Stricknadeln, je 1 dm voneinander entfernt, hindurchgesteckt werden können. Mittels der ersten Nadel wird der Pendel-

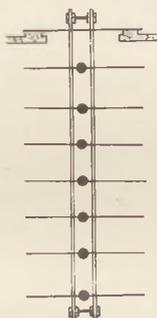


Fig. 6 a.

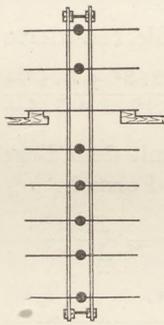


Fig. 6 b.

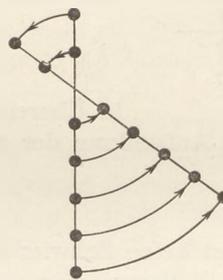


Fig. 6 c.

apparat aufgehängt, auf die andere wird je eine durchlochte Kugel so geschoben, daß sie zwischen den Leisten in die Mitte der Nadel zu liegen kommt. Der Vergleich mit einem Fadenpendel von 5 dm Länge bestätigt die schon bekannte Tatsache, daß der Schwingungspunkt 5 dm Abstand vom Drehpunkt hat. Schiebt man auf die Nadel, die die fünfte Kugel trägt, noch mehr Kugeln, so ändert sich, wie der Versuch lehrt, der Schwingungspunkt nicht, ebensowenig, wenn alle Kugeln von dieser Nadel fortgenommen werden. Vertauscht man jetzt Aufhängepunkt und Schwingungspunkt, so bleibt die Schwingungsdauer dieselbe, sie ändert sich auch nicht, wie der Vergleich mit dem Fadenpendel lehrt, wenn man auf die Nadel, die jetzt den Schwingungspunkt enthält, eine Kugel aufschiebt (Fig. 6 b).

Die theoretische Begründung ist folgende: Bringt man das Pendel aus der Ruhelage in eine andere Lage (Fig. 6 c), so leistet man bezüglich der 5 unteren Kugeln eine positive, bezüglich der beiden oberen dagegen eine negative Arbeit, denn die 5 unteren Kugeln sind gehoben worden, die beiden oberen haben sich gesenkt. Die Gesamtarbeit ist diesmal

$$A = mgh \left( (1 + 2 + 3 + 4 + 5) - (1 + 2) \right)$$

während die Wucht der 7 Kugeln beim Durchgang durch die Gleichgewichtslage

$$W = \frac{1}{2} m v^2 \left( (1^2 + 2^2 + 3^2 + 4^2 + 5^2) + (1^2 + 2^2) \right)$$

ist. Die weitere Behandlung ist wie vorhin. Man erhält für die reduzierte Pendellänge

$$x' = \frac{(1^2 + 2^2 + \dots + 5^2) + (1^2 + 2^2)}{(1 + 2 + \dots + 5) - (1 + 2)} = 5$$

sie ist also durch Vertauschung von Aufhängepunkt und Schwingungspunkt dieselbe geblieben.

Sind  $n$  Massen vorhanden, so ist

$$x' = \frac{(1^2 + 2^2 + \dots + x^2) + (1^2 + 2^2 + \dots + (n-x)^2)}{(1 + 2 + \dots + x) + (1 + 2 + \dots + (n-x))}$$

Unter Berücksichtigung, daß  $x = \frac{2n+1}{3}$  ist, ergibt eine leichte Rechnung  $x' = x$ .

Damit ist der HUYGENSSCHE Satz für ein stabförmiges Pendel bewiesen.

Dasselbe Holzgestell läßt sich benutzen, um auf die allgemeine Pendelformel vorzubereiten. Man bringe auf die dritte Nadel 2, auf die vierte 5, auf die sechste 3 und auf die siebente 1 Kugel und lasse schwingen (Fig. 7). Die Arbeit beim Heben des Pendels ist diesmal

$$A = mgh \cdot (2 \cdot 3 + 5 \cdot 4 + 3 \cdot 6 + 1 \cdot 7)$$

die Wucht im tiefsten Punkte ist

$$W = \frac{1}{2} m v^2 (2 \cdot 3^2 + 5 \cdot 4^2 + 3 \cdot 6^2 + 1 \cdot 7^2)$$

usf. Man findet für die reduzierte Pendellänge den Wert

$$x = \frac{2 \cdot 3^2 + 5 \cdot 4^2 + 3 \cdot 6^2 + 1 \cdot 7^2}{2 \cdot 3 + 5 \cdot 4 + 3 \cdot 6 + 1 \cdot 7} = 5$$

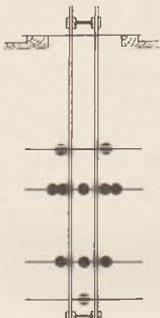


Fig. 7.

in Übereinstimmung mit dem Ergebnis des Versuchs.

Die Aufstellung der allgemeinen Formel

$$x = \frac{\sum m r^2}{\sum m r}$$

bietet jetzt keine Schwierigkeiten mehr.

Durch Vertauschung von Schwingungspunkt und Aufhängepunkt ändert sich, wie der Versuch zeigt, auch bei diesem Pendel die Schwingungsdauer nicht. Die theoretischen Erwägungen sind dieselben wie vorhin: Bringt man das Pendel aus der Ruhelage in eine neue Lage, so leistet man bezüglich der unteren Massen eine positive, bezüglich der oberen eine negative Arbeit usw. Es ergibt sich

$$x' = \frac{(2 \cdot 2^2 + 5 \cdot 1^2) + (3 \cdot 1^2 + 1 \cdot 2^2)}{(2 \cdot 2 + 5 \cdot 1) + (3 \cdot 1 + 1 \cdot 2)} = 5$$

allgemein

$$x' = \frac{\sum m (x - r)^2}{\sum m (x - r)} = x$$

Das etwa dürfte der Inhalt dessen sein, was über die Theorie des physischen Pendels nach HUYGENSSCHER Methode den Schülern zu bieten ist.

Bei den Erörterungen, die an den Hauptapparat Fig. 4 geknüpft worden sind, ist bisher auf die Masse der Stahldrähte sowie der Holzleisten keine Rücksicht genommen worden. Am Schluß dieser Untersuchungen könnte man mit einigen Worten darauf hinweisen, daß die beiden letzten Kugeln zum Ausgleich etwas schwerer gewählt sind als die 5 ersten; die Steighöhen bleiben dieselben, wie oben angegeben, wofür nur der Ausgleich so vorgenommen ist, daß der Schwingungspunkt in den Mittelpunkt der fünften Kugel fällt.

Die Vorzüge der HUYGENSSCHEN Methode seien zum Schluß kurz aufgezählt:

1. Das Experiment begleitet auf Schritt und Tritt die theoretischen Untersuchungen, ja noch mehr, ist ihr Wegweiser.

2. Die Schüler, auch die schwächeren, bringen diesen Untersuchungen lebhaftes Interesse und volles Verständnis entgegen. Selbst an einer Realschule dürfte es nicht zu gewagt sein, die Formel fürs physische Pendel in HUYGENSSCHER Weise abzuleiten,

da einzige Voraussetzung ist, daß den Schülern die Bedeutung der Ausdrücke  $mgh$  und  $\frac{1}{2}mv^2$  bekannt ist.

3. Durch die fortwährende Heranziehung des Energiegesetzes erhalten die Schüler ein eindringendes Verständnis für dieses so überaus wichtige Gesetz.

4. Die Behandlung des physischen Pendels im HUYGENSSchen Sinne läßt sich unmittelbar an die des Fadenpendels anschließen, so daß beide nicht mehr wie bisher durch einen langen Zeitraum getrennt sind.

5. Der hier empfohlene Weg hat historisches Interesse, weil HUYGENS diesen Weg einstmals beschritten hat. Es ist gewiß von hohem pädagogischen Werte, die Schüler ab und zu einen Blick in die geistige Werkstatt unserer Geistesheroen werfen zu lassen, und dazu bietet die HUYGENSSche Behandlung des physischen Pendels ein hervorragend schönes Beispiel.

Wenn ich für diese HUYGENSSche Behandlung werbend eingetreten bin, so liegt es mir natürlich fern, die Ableitung der Pendelformel mit Hilfe des allgemeineren Problems, der Drehung eines Körpers um eine feste Achse, nunmehr als überflüssig hinstellen zu wollen. Dieses allgemeinere Problem ist an und für sich so wichtig, daß man es bei nicht gar zu knapper Zeit unbedingt in Angriff nehmen muß, gleichgültig, ob man es nachher noch auf den besonderen Fall, das physische Pendel, anwenden will oder nicht. Nur das eine kann nicht scharf genug betont werden: Das Experiment muß bei Inangriffnahme dieses Problems mehr zu seinem Rechte kommen als bisher (man vgl. die Ausführungen von P. SPIES in ds. Zeitschr. 20, 137).

Zum Schluß noch einige Worte über das HUYGENSSche Prinzip. Man kann darüber nachlesen entweder in dem Originalwerke „*Horologium Oscillatorium*“ von HUYGENS oder in MACHS „*Mechanik*“ oder im Lehrbuch von MÜLLER-PFAUNDLER (in der letzten Auflage nicht mehr). Im letzteren hat das Prinzip folgende Fassung erhalten: „Denkt man sich sämtliche freien Massen in ihrer größten Höhe festgehalten, so hat der Schwerpunkt der so gelagerten Massen eine Höhe, welche der Schwerpunkt der verbundenen Massen erlangt haben würde.“ In Fig. 1 bedeuten  $S$  den Schwerpunkt der Massen in ihrer ursprünglichen Lage,  $S'$  den Schwerpunkt der Massen, wenn sie verbunden bleiben,  $\Sigma$  den Schwerpunkt der freigewordenen und in ihrer größten Höhe festgehaltenen Massen; letzterer liegt nach dem HUYGENSSchen Prinzip auf der Geraden  $SS'$ . Die Richtigkeit des Prinzips ergibt sich mühelos aus dem Energiegesetze, das zu HUYGENS Zeiten unbekannt war. Es mag genügen, dies an Fig. 1 zu erläutern. Der Schwerpunkt  $S$  bzw.  $S'$  hat die Höhe

$$H = \frac{5 + 10 + 15 + 20 + 25 + 30 + 35}{7} \text{ cm} = 20 \text{ cm,}$$

der Schwerpunkt  $\Sigma$  hat die Höhe

$$H' = \frac{1 + 4 + 9 + 16 + 25 + 36 + 49}{7} \text{ cm} = 20 \text{ cm,}$$

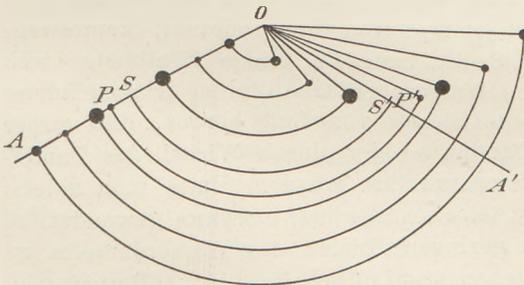


Fig. 8.

es ist also  $H = H'$ .

Auf einen Irrtum in MACHS „*Mechanik*“ sei noch aufmerksam gemacht. MACH nimmt an, daß der Schwerpunkt  $\Sigma$  mit dem Punkte  $S'$  (Fig. 1) zusammenfällt. Er sagt: „Fixieren wir die ausschwingenden freien Massen in ihrer größten Höhe, so bleiben die kürzeren Pendel unter der Linie  $OA'$  (Fig. 8), die längeren überschreiten

sie, der Schwerpunkt des Systems bleibt aber auf  $OA'$  in seiner früheren Lage.“ Eine Folge dieser falschen Vorstellung ist, daß in dem Lehrbuche von MÜLLER-

PFAUNDLER, wo die Figur von MACH übernommen und weiter ausgeführt ist, das Teilchen  $P$ , das den Schwingungspunkt enthält, freigeworden, über  $OA'$  hinaus bis  $P'$  schwingt.

Sowohl die Firma Ferdinand Ernecke, Berlin-Tempelhof, Ringbahnstraße 4, als auch der Mechaniker Herbst, Berlin, Krautstraße 26 A, haben es übernommen, den

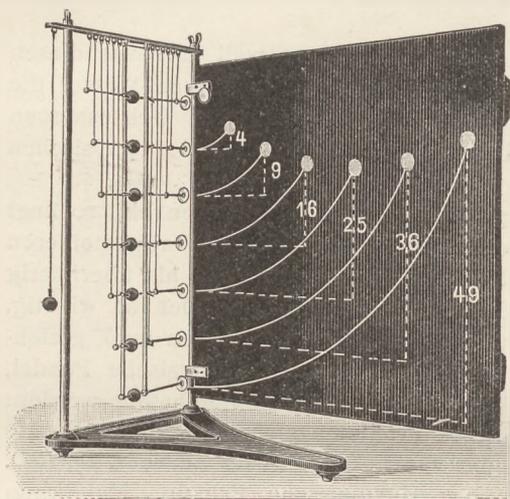


Fig. 9.

Apparat mit den Nebenteilen (exkl. Holzleiste mit Pinseln) für 100 M zu liefern; die Holzleiste mit Pinseln, deren Anschaffung nicht unbedingt nötig ist, kostet noch 15 M. Die Figur 9 stellt den Apparat in der Form dar, wie er von der Firma Ernecke hergestellt wird; die Nebenteile sind am Hauptapparat so angebracht (die Tafel ist um die eine Säule drehbar eingerichtet), daß das Ganze bequem transportiert werden kann und im Schranke wenig Platz einnimmt.

Ich schließe mit dem Wunsche, daß dieser Aufsatz einen und den andern Physiklehrer anregen möge, einen Versuch mit der Behandlung des physischen Pendels in HUYGENSSCHEM Sinne zu machen.

## Versuche mit heißem Wasserdampf.

Von

H. Rebenstorff in Dresden.

Die schon mit Gasen bekannt gewordenen Schüler der Unterstufe vermögen die Beobachtungen beim Sieden des Wassers (Kochkolben mit Wasser, spitzes Winkelrohr im Stopfen) richtig zu deuten. Die Blasen und die Strahlen des Dampfes erweisen den gasförmigen Zustand des Wassers. Die folgenden Versuche zeigen das gleiche noch etwas deutlicher; für empfänglichere Schüler decken sie neue Seiten der Erscheinungen auf.

1. Die zylindrische Glasglocke  $g$  (Fig. 1), die dem Einströmungsröhre angeschmolzen ist, wird durch einen Schlauch mit dem Dampfkolben verbunden. Bleibt die Mündung weit offen, so wird die Glocke, auch wenn der Dampf von oben eintritt, keineswegs luftfrei.

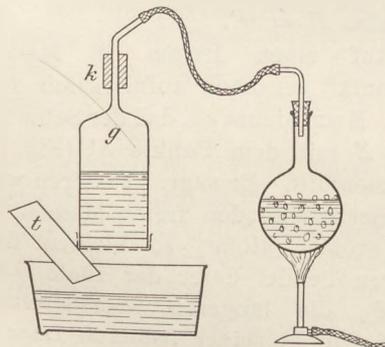


Fig. 1.

Senkt man sie einige Zentimeter weit unter eine Wasseroberfläche ein, so dringen immer noch große Blasen von Luft heraus, die vorher hineindiffundierte oder durch Wirbel des Dampfstromes emporgeführt wurde. Hatte man zuletzt die weite Glockenmündung aufwärts gewendet, so kam die geringere Dichte des Wasserdampfes zu den Ursachen des Luftgehaltes hinzu. Bewegt man die das Wasser berührende Glocke schwach pendelnd hin und her, so wird die Wasseroberfläche erneuert, die Kondensation verstärkt und der Luft-



druck wirksam. Besonders die Bewegung des Umschwenkens läßt das Wasser schnell in die Glocke hineinsteigen; diese hält man mittels des großen Korkes *k* bequem in der Hand.

Zu der Glocke gehört ein schwach federnder Ring aus Messingblech, der mit feinem Mullgewebe überbunden ist. Man kann ihn über die Glockenmündung schieben und damit die Glocke in einen Stechheber verwandeln („Sieb zum Wasserschöpfen“ bei DANIEL SCHWENTER, *Mathematische Erquickstunden, Nürnberg 1636*). Leitet man Dampf in den jetzt mehr abgeschlossenen Glockenraum, so wird die Luft vollständiger verdrängt. Sobald eine schwache Vorstülpung der Mullfläche den inneren Überdruck kennzeichnet, und die Schüler an den sparsamer ab rinnenden Tropfen die schwächer gewordene Kondensation feststellen, ist fast reiner Dampf in der Glocke. Berührt man mit der Mullfläche, aus deren einzelnen Maschen Dampf hervorzischt, die Oberfläche von kaltem Wasser, so wird dies plötzlich etwa handhoch in die Glocke getrieben. Umschwenken läßt die Glocke schnell vollwerden. In der Ruhelage, wobei man die Glocke frei in der Luft halten kann, wird das Wasser wieder verdrängt. Nur das letzte Wasser rötet ein Blatt *t* des Farberthermoskopes (s. Fig.).

Um noch die lebhaftere Kondensation durch einen Strahl kalten Wassers wie bei der Maschine von NEWCOMEN zu zeigen, streift man von der ganz mit Dampf gefüllten Glocke den Ring mit dem Mullgewebe unter Wasser ab und spritzt aus einer Pipette mit aufwärtsgebogenem, weitgeöffnetem Abflußrohr durch Hineinblasen einen kräftigen kalten Wasserstrahl aufwärts. Das besonders zu Anfang schnell nachdringende Wasser vertritt den Kolben der atmosphärischen Maschine.

2. Auch das Sieden kälteren Wassers bei geringem Drucke kann man noch etwas anschaulicher vorführen, als es gewöhnlich geschieht. Mit einer guten, von recht kaltem Leitungswasser betriebenen Strahlpumpe ist der Druck in einem luftdicht angeschlossenen Rundkolben bald so weit herabgesetzt, daß den aus dem Wasser auferlenden Luftblasen größere folgen, die wirklich Dampf zu sein scheinen. Die warme Hand macht sie etwas reichlicher. Die Schüler freuen sich, daß man solches Wasser nun sehr lebhaft über einem brennenden Zündhölzchen sieden lassen kann. Dies wird auch von den hintersten Plätzen her gesehen. Einer Frage besonders naiver Anfänger, ob nicht doch während des Kochens das Wasser auch hierbei heiß sei, begegnet ein an den Kolben während des energischen Siedens angedrücktes Blatt des Farberthermoskopes oder ein hineingebrachter Abschnitt davon.

3. Dem vorteilhafteren Gebrauch des bekannten kleinen Messingkolbens mit Dampfzylinder und darin verschiebbarem Stempel (atmosphärische Dampfmaschine einiger Preislisten) nützen wohl folgende zwei Hinweise. Um die Kraftleistung des Dampfes zu zeigen, kann man dem Stempel schon mehr anzuheben zumuten als nur das eigene Gewicht. Aus Fig. 2 geht eine hierfür geeignete Anordnung wohl ohne weiteres hervor. Nimmt man die Flamme unter dem Kolben hinweg, so könnte auch bei nicht belastetem Stempel schon das eigene Gewicht ihn abwärts bewegen. Bei einem Exemplar des kleinen Apparates war es tatsächlich so; denn in wagerechter Lage wurde der sehr bewegliche, aber undicht sitzende Stempel niemals rückwärts getrieben. Hier half ein Löffel kalten Wassers, der nach Begießen des metallenen Dampfraumes die Kondensation so beschleunigte, daß auch der undichte Stempel eiligst hineingetrieben wurde. Nach seiner besseren Abdichtung

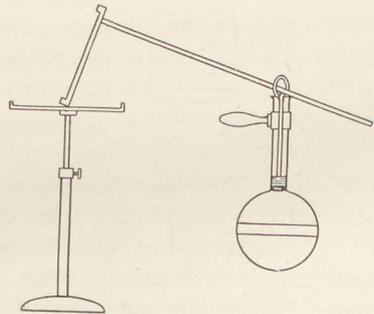


Fig. 2.

wird der Stempel infolge Langsamkeit der Abkühlung in freier Luft nur zögernd bewegt. Schwer vergeblich wird die Sache für die Schüler, wenn sie darauf die eilige Flucht des Stempels sehen, die ein Löffel kalten Wassers, über den heißen Rücken des Messingkolbens gegossen, auslöst.

4. Auch der folgende Versuch läßt Vorstellungen festwurzeln, die im täglichen Leben wichtig sind. Der mittels Bunsenstatives über einer Heizflamme aufgestellte Rundkolben schiebt seinen Dampf zunächst durch das im fest eingesetzten Gummistopfen befindliche U-Rohr in einen zweiten Rundkolben. Nach Verdrängung der Luft entfernt man die Heizflamme und schiebt den bisher nur lose auf die Kolbenmündung drückenden zweiten Gummistopfen völlig fest in den Kolben hinein. Am besten legt man hierzu ein Tuch schon an den Kolbenhals, wenn die Flamme noch wirkt, damit nicht infolge der Abkühlung beim plötzlichen Zugreifen Luft eindringt. Das hierauf langsam weiter im Gange bleibende Sieden wird nun durch verschiedenartiges Abkühlen des Kondensatorkolbens ungleich beschleunigt. Die Schüler sehen, wie Zugluft wirkt, wenn ein Blasebalg auf den zunächst trockenen, hinterher befeuchteten Kolben gerichtet wird; daß die Verdunstung auch in ruhender Luft stark abkühlt (Auflegen eines nassen Mulläppchens), wengleich nicht so kräftig wie das rieselnde, zunächst kalte Wasser u. a. m. Man kann sich langwierige Erörterungen hierüber ersparen und lieber die Interessenten zu schriftlicher oder mündlicher kurzer Auskunft in der nächsten Stunde auffordern. Lohnend ist nun weiter, den Versuch nach Vertauschen des zweiten Kolbens mit dem Messingkesselnchen der Versuche unter 3. zu wiederholen. Die Firma Max Kohl in Chemnitz ersuchte ich, den Zylinder des Apparates mit kegelförmig erweiterter Mündung, sowie mit leicht abschraubbarem Handgriff zu liefern. Der Gummistopfen kann alsdann ohne Anschneiden durch den Metallrand sehr fest hineingedreht und der Kolben bis über den Stopfen in kaltes Wasser gesenkt werden. Auch wenn nur der kugelige Teil des Metallkondensators in dieser Weise abgekühlt wird (Fig. 3), erfolgt ein ungemein energisches Sieden, dessen Geräusch in der Klasse überall gehört wird. Die Wärme wird so schnell dem Kühlwasser zugeführt, daß bei Benutzung eines kleineren Becherglases thermoskopisches Papier bald gerötet wird, je nach den

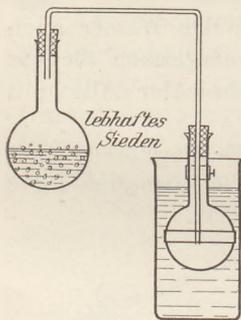


Fig. 3.

Dimensionen entweder zuerst rings um die Kugelmitte herum oder sonst nahe der Wasseroberfläche. Bringt man mehrmals wieder kaltes Wasser herzu, so wird eine Art Niederdruckheizung demonstriert. Der Siedekolben gibt dabei bald so viel Wärme her, daß ein Papier mit dem roten Hesseschen Farbanstrich nicht mehr geändert wird. Dieser Zustand bleibt, wenn man durch einen über den Kondensator strömenden Wasserstrahl dauernd abkühlt und mit nicht zu großer Flamme weiter heizt. Ein paar Tropfen Wasser auf den Mündungsrand der Kolben verbessern das luftdichte Schließen der Gummistopfen. Der bekannte Versuch des Umkehrens eines abgeschlossenen Kolbens mit siedendem Wasser, dessen Hals man dabei in Wasser einsenkt (vgl. ds. Zeitschr. 18, 223), kann

nur einen Teil der Erscheinungen vorführen, diesen freilich einfacher. Durch die beschriebene Anordnung wird das Sieden und das Verdichten getrennt wahrnehmbar.

5. Gummiballons können auch mit Dampf aufgebläht werden. An einer mit dem Gummigebläse verbundenen Glasrohrspitze treibt man einen der mit engem Halsansatz versehenen Ballons (ds. Zeitschr. 19, 98; 20, 224) voll 2–3 l Luft und läßt an der unveränderten Krümmung nach unten ( $\alpha$ , Fig. 4) des wagerecht befestigten Ballonhalses die fast gleich gebliebene Schwere wiederholungsweise konstatieren. In wenigen Augenblicken kann man auch noch nach Herauslassen der Luft und Anstreifen des Gebläse-Saugschlauches an einen Gashahn den Ballon voll Leucht-

gas drücken und den Auftrieb durch die aufwärtsführende Krümmung des Ballonbalses oder durch das Emporsteigen nach Abstöpseln sichtbar machen. Nunmehr läßt man aus dem spitzen Glasrohre kurze Zeit den Dampf, alle Luft verdrängend, hervorströmen. Nimmt man die Heizflamme fort, so kann man an der Zeitdauer des Weiterströmens erkennen, ob mehr oder weniger Druck im Kolben vorhanden war. Bei passender Weite der Rohrspitze kann man nach etwa 5 Sekunden den Ballon anstreifen. Nach Unterstellen der Flamme bläht der Dampf den Ballon auf. Man läßt ihn eine zuvor erprobte Größe von 2—3 l in wenigen Sekunden erreichen, bis der Halsteil sich aufwärts biegt, die geringere Schwere des Wasserdampfes verkündend. Durch Auswahl aus den Ballons eines Bezuges suche ich die für diesen wirksamen Versuch geeignetsten aus, wobei es wohl auf einige Exemplare, die beim Erproben zerplatzen, nicht ankommt. Bemerkte sei, daß der Kautschuk in der Hitze nachgiebiger und auch wohl etwas zäher ist als beim Aufblähen mit kalter Luft. Das Zersprengen, auch durch Dampf, ist völlig harmlos. In  $\frac{1}{2}$  m Abstand ist der hübsche Knall fast das einzig Bemerkbare; der Dampf geht sofort in die Höhe. Bei dem nach längerem Lagern stets notwendigen Erproben durch halbes, dann ganzes Aufblähen kann man mit der Hand an der größeren oder geringeren Weichheit der Gummihaut fühlen, ob noch viel oder keine Luft mehr hineingeblasen werden kann. Besonders wenn an dem weniger leichten oder im Halsteil weniger biegsamen Ballon das direkte Emporstreben nicht bemerkbar war, macht man nun am besten auf einer nicht zu langsam schwingenden Wage für kleine Belastungen einige lehrreiche Bestimmungen.

Ein bis etwa  $2\frac{1}{2}$  l aufgetriebener Ballon braucht etwa eine halbe Minute zum Herabgehen bis auf Hühnereigröße. Nimmt man die Flamme unter dem Heizkolben fort, so strömt, wie schon vorher erkannt war, noch etwas Dampf in den Ballon. Sowie dies aufhört, beginnt das Abschwellen und damit ein erhebliches Sinken des Druckes im Ballon, das ein Platzen jetzt äußerst unwahrscheinlich macht. Die elastische Nachwirkung im Kautschuk ist sehr groß. Man streift den vorzüglich angreifbaren Ballonbals vom Glasrohr und schiebt ein Glasstöpselchen hinein, mit dem zusammen der Ballon vorher ins Gleichgewicht gebracht war. Jetzt hängt oder legt man ihn auf die hierzu durch einen besonderen Drahhaken oder eine große Pappescheibe mit Randbiegung geeignet gemachte Wagschale. Die nach dem Trieren und Abheben des Ballons aufwärtsgegangene Seite der Wage bleibt trotz der Belastung oben. Mit einer leichten Kette von bekanntem Gewicht kann man durch geeignetes Herabsenken auf die Schale oder den Ballon schnell wagerecht einstellen. In wenigen Augenblicken aber ist auch ohne diese oder jene Belastung Gleichgewicht vorhanden, und dies wird nach der anderen Seite hin überschritten, bis zuletzt 1,5—2 g Übergewicht erkennbar sind. Dies also ist die Gewichtsmenge des Wassers, das vor  $\frac{3}{4}$  Minuten den Ballon als Dampf erfüllte. Ein Teil davon kommt freilich auf das Kondenswasser, das in den wenigen Sekunden des Dampfeintritts entstand. Bläht man den Ballon später nochmals auf und läßt den Dampf sofort wieder heraus, so enthält er nur etwa 0,5 g Wasser. Vom obigen Gewichte müßte man eigentlich etwas weniger als diese Wassermenge abziehen, um den Schülern ein genaueres Urteil über die Volumänderung beim Sieden und Kondensieren zu verschaffen. Die Größe des Ballons konnte ja aber auch nur am besten durch vergleichendes Hochhalten des auf 3 l eingestellten „Umfangmaßes“ (a. a. O.) abgeschätzt werden. Das Wasser im Ballon kann man sehr leicht fast vollständig in ein

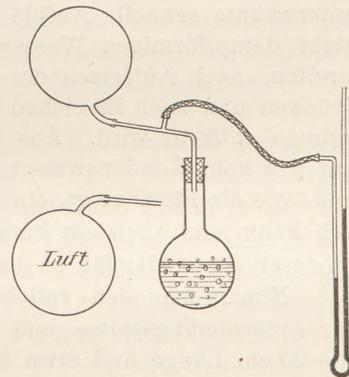


Fig. 4.

winziges Meßrohr fließen lassen, wobei man zuletzt den Ballon mehrmals leicht zusammendrückt. Auch in eine Meßpipette (2—5 ccm) ist es überführbar. Man saugt diese voll Wasser bis zur untersten Marke, steckt die Spitze in den Ballonhals und läßt durch starkes Schräghalten der Pipette und Aufwärtshalten des Ballons alles Wasser überfließen, bis Luftblasen nachdringen. Nach dem oberen Abschluß der Pipette kann man die Wassermenge an der Skale ablesen.

Bezüglich der in der Figur gezeichneten Anordnung sei bemerkt, daß der T-Ansatz des Dampfströmungsrohres an ein Flüssigkeitsmanometer für die Kenntnis des Druckes und seiner interessanten Änderung angeschlossen ist. Für das vorhin miterwähnte schnelle Aufblähen und Herauslassen des Dampfes zur Auffindung der nicht dampfförmigen Wassermenge kann man den Schlauch vom Manometer abstreifen, nach Aufsetzen des leeren Ballons und dem Anheizen diesen Schlauch zu drücken und nach Erreichen der Ballongröße öffnen, wobei am besten auch die Heizflamme entfernt wird. Aus dem Glasrohre dringt beim Auftreiben des Ballons so gut wie kein Kondenswasser mit hinein, wenn das Rohr etwa 7 mm Innenweite hat und, wie die Figur zeigt, eine schwach aufwärtsgerichtete Umbiegung besitzt. Natürlich kann man auch ein kurzes T-Rohr zwischen Kolben und der dann in einer besonderen Stativklemme zu befestigenden Ausströmungsspitze einschalten.

Nimmt man den voll Dampf geblähten Ballon nach Zuhalten des Halses von der Ausströmungsspitze und schiebt ein beiderseits schwach zugespitztes Rohr von 10—20 cm Länge und etwa 5 mm Weite in den Halsteil ein, während man das freie Rohrende mit dem Finger zuhält, so kann man, das Rohr mittels eines aufgestreiften Korkes haltend, den Dampf nach Fortnehmen des Fingers herauslassen, z. B. gegen eine Fensterscheibe oder eine sehr große, auf einen Rahmen gespannte Thermopapierfläche oder in eine kleine, heißwerdende Wassermenge oder unter eine kleine Glocke voll Wasser in der pneumatischen Wanne usf. Stets ist irgend eine anregende Besonderheit von den Schülern zu beobachten.

Für den schnellen Abschluß des Halses der empfohlenen Ballons ist das folgende Hilfsmittel ebenso bequem wie die feinen Glasstöpselchen und wiegt dabei noch wesentlich weniger. Aus dem für viele Zwecke verwendbaren, 0,1—0,2 mm dicken Aluminiumblech<sup>1)</sup> schneidet man mit beliebiger Schere Streifen von höchstens  $3 \times 40$  mm. Biegt man ein solches in der Mitte spitzwinklig zusammen (Fig. 5) und schiebt den Ballonhals tief in den Winkel hinein, so braucht man nachher nur mit den Fingern oder einer Flachzange schnell einmal zuzudrücken, um das ziemlich dünnwandige Gummiröhrchen bereits recht gut, z. B. für Luftballonzwecke, verschlossen zu haben. Erproben kann man solchen Verschuß mit der leise an die Schlauchöffnung gelegten Zunge, die die feinsten Luftbläschen fühlt, oder durch Einsenken in eine Wasser-

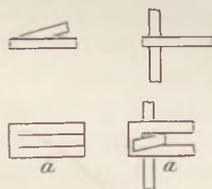


Fig. 5.

oberfläche. Besser ist es, die überragenden Enden zusammen etwas scharf zurück, und das Ganze nochmals zusammenzudrücken. Für den Druck mit der Zange ist die kleine Verschlussvorrichtung *a* besonders geeignet, ein Plättchen von  $\sim 8 \times 20$  mm, das mit 2 Einschnitten versehen wird. Nach Herausbiegen des mittleren Streifchens schiebt man den Ballonhals dazwischen, biegt dieses Streifchen zurück und auf der anderen Seite des Plättchens weiter um. Durch geringes Zurechtdrücken sorgt man

für das Offenbleiben des Gummiröhrchens. Auch die anderen Streifen können um den Schlauch zurückgebogen werden. Ein einziger Druck mit der Zange schließt den damit versehenen Ballon vollkommen ab. Für die Füllung mit Wasserdampf ist dieser Verschuß vielleicht manchem bequemer. Man kann den Ballon dann

<sup>1)</sup> S. auch Rebenstorff, „Wage und Gewichte für Schüler, ein Beispiel der Anwendbarkeit von dünnem Aluminiumblech“, *Periodische Blätter XII 74 (1907)*.

sofort mit der Zange von der Rohrspitze ziehen, wobei allenfalls die Finger der anderen Hand den Ballonhals leise vorschieben. Für Luftballonzwecke streift man bequem die Schlinge eines Fadens über den Verschuß. Dieser wiegt nur etwa  $\frac{1}{20}$  g. Er kann freilich nicht, wie ein Glasstöpselchen, immer wieder benutzt werden.

Interessant ist auch die allmähliche Kondensation des Dampfes im Ballon, den man für diese Beobachtung am besten am Dampfrohr läßt. Der innen trockene oder schon vorher benetzte Ballon wird zunächst durch eine Hauchsicht opak. Die Tröpfchen vergrößern sich, und von unten her aufsteigend sieht man eine Zone völliger Benetzung, die durchsichtiger ist, heranwachsen, wenn man aus gleicher Augenhöhe beobachtet. Dabei entstehen dann zierliche Rinnsale von oben her. Das unten sichtbare Wasser kann man leicht fast ganz in den Kochkolben zurückfließen lassen, wenn man den Ballon entsprechend anhebt. Bei leichtem Anfassen ist das Gefühl der Hitze nicht bedeutend.

Je häufiger die Nachfrage nach den die Anschauung so erheblich fördernden Ballons ist, desto vollkommeneres Material wird mit der Zeit überall erhältlich sein. Für die beschriebenen Zwecke sind besonders geeignet recht dünnwandige und gut kugelig aufzublähende Blasen mit etwa 5 cm langem, 3–4 mm weitem Hals, dessen Wandung kaum  $\frac{1}{2}$  mm dick ist (1,5 g schwer). Fabriken betrachten als Größenmaß von Ballons die Angabe des Durchmessers des „ohne Druck“ aufgeblähten Ballons. 6–7 cm ist hierfür wohl die geeignete Abmessung. Die Firma Gustav Müller in Ilmenau wird solche Ballons den Glasapparaten meiner Angabe auf Bestellung beifügen. Die Neuheiten dieses Bezuges sind ferner durch Leybolds Nachf. in Cöln, sowie Ferdinand Ernecke in Berlin-Tempelhof erhältlich. S. auch Sonderprospekte von Max Kohl in Chemnitz.

## Apparat<sup>1)</sup> zur Demonstration der Totalreflexion durchsichtiger und undurchsichtiger Körper.

Von

Prof. Dr. RuosB in Stuttgart.

(Tierärztliche Hochschule.)

Wohl selten wird im Unterricht und in den Vorlesungen der Experimentalphysik über die Brechungsexponenten undurchsichtiger Körper gesprochen, obgleich diese Brechungsexponenten in der angewandten analytischen Chemie bei Bestimmung der Öle und Fette eine große Rolle spielen, und obgleich dieselben durch die elektromagnetische Lichttheorie in enger Beziehung zu gewissen elektrischen Größen stehen.

So hat Naturbutter einen Brechungsexponenten von 1,4590 bis 1,4620 (gelbes Licht, 25° C.), während Margarine 1,4650–1,4700 und Kunstbutter 1,4620–1,4690 besitzen, so daß Naturbutter am Brechungsexponenten erkannt wird (Butterrefraktometer von Zeiß, Jena).

Das Quadrat der Brechungsexponenten der dielektrischen Körper, z. B. Schwefel, Siegellack, ist nach MAXWELL (für sehr große Ätherwellen) gleich den Dielektrizitätskonstanten derselben. Die Brechungsexponenten der Metalle, wie sie von DRUDE, KUNDT (vgl. ds. Zeitschr. 1888 und 1889), QUINCKE, PFLÜGER bestimmt wurden, nehmen zu mit abnehmender elektrischer Leitungsfähigkeit der Metalle (Silber  $n = 0,25$ ; Kupfer 1,1; Blei 2,1).

<sup>1)</sup> DRGM. 307 664. Preis M 13,— bei Meiser-Mertig, physikalisch-technische Werkstätten, Dresden-N., Kurfürstenstr. 27.

Der Grund, daß die Brechungsexponenten undurchsichtiger Körper im Unter-richt kaum eine Aufnahme finden, dürfte wohl daran liegen, daß es bis jetzt an einem geeigneten Demonstrationsapparat fehlte. Der vorliegende Apparat (Fig. 1 u. 2) besteht aus einem Prisma, dessen längerer Teil aus gewöhnlichem Glas, dessen kürzerer Teil aus Flintglas besteht. Auf der unteren, horizontal zu stellenden Prismenfläche sind 3 Blättchen Papier luftdicht aufgekittet. Das erste ist trocken, das zweite ist mit Wasser, das dritte mit einer Butterart durchtränkt; sodann folgen 2 Flecken von Siegellack, der eine, Nr. 4, auf dem gewöhnlichen Glas, der andere, Nr. 5, auf dem Flintglas.

Das Prisma ist auf ein Brettchen montiert und kann um eine horizontale Achse im Sinne des Pfeiles gedreht werden. Sieht man senkrecht zum Brettchen durch die vordere schiefe Prismenfläche hindurch, so verschwindet zuerst Nr. 1 (bei einer

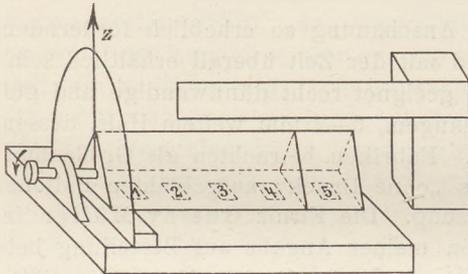


Fig. 1.

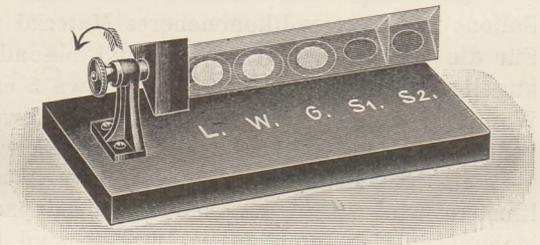


Fig. 2.

Drehung von  $31^\circ$ ), dann Nr. 2 (bei  $62^\circ$ ) und nunmehr Nr. 3 (bei  $82^\circ$ ); nahezu gleichzeitig verschwindet auch der Siegellackfleck Nr. 5 auf dem Flintglas, während der Siegellackfleck Nr. 4 auf dem gewöhnlichen Glas überhaupt nicht bei der Drehung verschwindet.

Dieses aufeinanderfolgende Verschwinden der einzelnen Präparate ist scharf und überraschend, denn es tritt an Stelle des roten Fleckes des Lackes oder der Papiere plötzlich das glänzende, totalreflektierende Glas.

Aus diesem Versuch folgt sofort, daß der Brechungsexponent des Siegellacks (1,53) zwischen den Brechungsexponenten der beiden Glassorten 1,51 und 1,69 liegt.

Obgleich der Apparat nicht als Präzisionsinstrument konstruiert ist, so kann man mit ihm doch durch einen leicht anzubringenden Teilkreis die Brechungsexponenten bis auf die erste Dezimale genau sehr einfach und schnell ermitteln; auch ermöglicht der Apparat im Gegensatz zu anderen Totalrefraktometern, Brechungsexponenten bis herab zu  $0,46^1$ ) zu bestimmen.

Für messende Versuche bringt man den aus der Figur ersichtlichen Teilkreis aus Papier an, den man an einem Leistchen befestigt; am Prisma befestigt man einen Zeiger z. Ist die Prismenfläche mit den Präparaten parallel dem Brettchen gestellt (Anfangsstellung), was durch Unterlegen eines passenden Holzleistchens genau ermöglicht werden kann, so muß der Zeiger auf den obersten Teilstrich des Kreises gestellt werden. Ein dünnes Lineal, das an einem Holzblock winkelrecht befestigt ist, dient als senkrechtes Visier. Man stellt das Lineal parallel einer Kante des Prismas und so, daß seine Ebene etwa durch die Mitte der Präparate geht. Nun sieht man aus ca. 30 cm Entfernung (senkrecht über jedem der Präparate) dem Lineal entlang herab und dreht das Prisma, bis das Präparat verschwindet. Aus dem Drehwinkel für das erste Präparat läßt sich der Brechungsexponent des Glases

<sup>1)</sup> Beim Refraktometer von Pulfrich nur bis 1,1.

selbst bestimmen, aus dem Drehwinkel für das folgende Präparat der Brechungs-  
exponent dieses Präparats.

Die Formeln, nach denen die Brechungsexponenten ermittelt werden, folgen  
aus Fig. 3.

Der Inzidenzwinkel, unter dem der vertikale Lichtstrahl  $l$  auffällt, sei  $\alpha$ , der  
zugehörige Refraktionswinkel  $\beta$ ,  $\varepsilon$  der Winkel der Totalreflexion beim Übergang  
von Glas mit Brechungsexponenten  $n$  zum Präparat mit Exponenten  $k$ ,  
dann ist geometrisch  $\varepsilon = \varphi - \beta$ , wo  $\varphi$  der brechende Winkel des  
Prismas. Nun ist nach dem Brechungsgesetz:

$$(1) \quad \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n}{1}$$

$$(2) \quad \frac{\sin \varepsilon}{1} = \frac{\sin(\varphi - \beta)}{1} = \frac{k}{n}$$

Eliminiert man  $\beta$  aus (1) und (2), so erhält man

$$(1) \quad k = \sin \varphi \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} - \cos \varphi \sin \alpha.$$

Wie geometrisch aus der Figur ersichtlich, erhält man den  
Winkel  $\alpha$  aus dem Drehwinkel  $\vartheta$  des Prismas nach der Gleichung:

$$\alpha = \varphi - \vartheta.$$

Da  $\varphi = 60^\circ$ , so wird  $\alpha$  negativ für Drehwinkel größer als  $60^\circ$   
(Fig. 3), ohne daß jedoch Gleichung I, in der das 2. Glied nunmehr negativ wird,  
ihre Gültigkeit verliert.

Berücksichtigt man, daß der größte Winkel  $\beta = 42^\circ$  (Grenzwinkel für Glas)  
ist, für welchen Fall  $\varepsilon = 60 - 42 = 18^\circ$ , so erkennt man aus Gleichung (2), daß  
der kleinste Brechungsexponent, der sich bestimmen läßt,

$$k = n \sin(60 - 42) = \frac{3}{2} \cdot 0.3090 = 0,46 \text{ ist.}$$

Für die Beobachtung des Präparats (1) ist  $k = 1$ , also nach I

$$1 = \sin \varphi \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} - \cos \varphi \sin \alpha,$$

woraus

$$(II) \quad n^2 = \frac{(1 + \cos \varphi \sin \alpha)^2}{\sin^2 \varphi} + \sin^2 \alpha;$$

nach einigen Umformungen kommt man auch auf die zum Rechnen bequemere  
Formel:

$$(III) \quad n^2 - 1 = \left( \frac{\sin \alpha + \cos \varphi}{\sin \varphi} \right)^2.$$

Für das erste Präparat war  $\vartheta = 31^\circ$ ,  $\varphi = 60^\circ$ , also  $\alpha = 60 - 31 = 29^\circ$ ;  
hiermit gibt (II) oder (III)

$$n = 1,5.$$

Für das zweite Präparat war  $\vartheta = 62^\circ$ ,  $\varphi = 60^\circ$ , also  $\alpha = -2^\circ$ , und hiermit  
gibt (I)

$$k = 1,3.$$

Eine andere Anordnung der Untersuchung ist diejenige, bei der man das  
Prisma durchweg in fester Lage läßt, so daß die Fläche mit den Präparaten horizontal,  
während der Zeiger für sich drehbar ist und die Visierebene mit der Ebene durch  
Zeiger und Drehachse zusammenfällt. Zählt man jetzt den Drehwinkel  $\delta$  des Zeigers  
von der horizontalen Lage aus, so ist

$$\alpha = \delta - 30.$$

Zum Schlusse bemerke ich noch, daß die Substanzen, deren Brechungs-  
exponenten zu bestimmen sind, nur in ganz kleiner Menge vorhanden zu sein

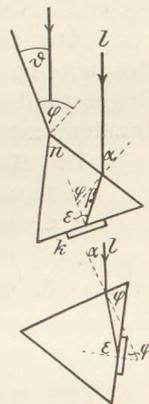


Fig. 3.

brauchen, was eben ein Vorteil der Methode der Totalreflexion ist, und daß die Exponenten physiologischer Präparate, wie z. B. der einzelnen Schichten der Augenlinsen des Menschen und der Tiere, dadurch bestimmt werden können, daß sie einfach auf die Prismenfläche mittels eines Deckgläschens aufgedrückt werden. Die menschliche Augenlinse, so untersucht, zeigt, daß die einzelnen Schichten nicht denselben Brechungsexponenten besitzen (periskopische Augen), und daß dies Vorteile bietet für das Sehen seitlich aufgestellter Gegenstände.

Aus folgenden 3 Gründen wäre es zu wünschen, daß die Fraunhofersche Bestimmung der Brechungsexponenten mit Minimalablenkung, die einen beliebigen Gegenstand der Schulphysik bildet, gegenüber der mit Totalreflexion oder streifender Inzidenz zurückgestellt wird.

Die Minimalablenkung erfordert:

1. eine umständliche mathematische Entwicklung;
2. in der Praxis einen Kollimator und eine Beleuchtungsvorrichtung im Okular;
3. ergibt die mathematische Fehlerberechnung, daß sie der Bestimmung mit streifender Inzidenz nachsteht.

## Versuche für Schülerübungen<sup>1)</sup>.

### 1. Das Kräfteparallelogramm.

Von

Gg. Heinrich in Neustadt a. d. Haardt.

Die gebräuchlichen Apparate für das Kräfteparallelogramm befriedigen nicht; man sehe z. B. die Einwendungen, die GRIMSEHL (*d. Z.* 17, 261; 1904) macht. GRIMSEHL will den Satz vom Kräfteparallelogramm aus dem Projektionssatz ableiten; gegen seine Ableitung sind aber von KEFERSTEIN (*d. Z.* 18, 331; 1905) Bedenken ausgesprochen worden, und auf jeden Fall sind diese mathematischen Schlüsse nicht für die Unterstufe brauchbar. Auf besondere Schwierigkeiten stößt man, wenn man die Schüler der Unterstufe das Gesetz vom Parallelogramm der Kräfte bei den Schülerübungen finden lassen will. Ich glaube nun, daß die im folgenden beschriebene Anordnung sich hier als geeignet erweist.

Der wesentliche Bestandteil ist ein sehr gut federndes, drehrundes Stahlstäbchen. Dieses Stäbchen wird am oberen Ende in lotrechter Richtung festgeklemmt und am unteren Ende durch Kräfte in wagerechter Richtung beansprucht, d. h. es wird am unteren Ende eine Schnur befestigt, diese über eine Rolle laufen lassen und durch Gewichte gespannt. Unter der Einwirkung der wagerechten Kraft biegt sich dann das Stäbchen, die untere Spitze entfernt sich von ihrer Anfangsstellung, und es gibt die Richtung, in der sich die Spitze entfernt, die Richtung der wirkenden Kraft an. Die Strecke, um die die Spitze von der Null-Lage des Stäbchens entfernt ist, der Biegunspfeil  $p$ , ist der wirkenden Kraft proportional (Fig. 1). Der Biegunspfeil gibt also durch Größe und Richtung die Größe und Richtung der auf das

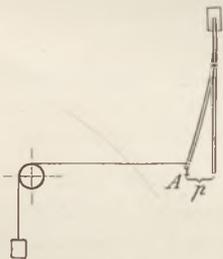


Fig. 1.

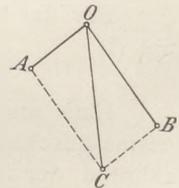


Fig. 2.

Stäbchen wirkenden Kraft an. Es entspreche im Grundriß (Fig. 2) der Punkt  $O$  der Null-Lage des Stäbchens,  $A$  dem Punkt, über den sich die Spitze unter Einwirkung der Kraft

<sup>1)</sup> Unter dieser Überschrift sollen künftighin Beiträge verschiedener Verfasser, die sich auf Schülerübungen beziehen, ihren Platz finden.



einstellt. Läßt man auf das untere Stabende eine zweite Kraft von anderer Größe und Richtung wirken, so stellt sich das Stäbchen in anderer Lage ( $B$ ) ein, wobei wieder der neue Biegungspfeil Größe und Richtung der wirkenden Kraft angibt. Wirken nun gleichzeitig die beiden Kräfte auf das Stäbchen, so stellt sich die Spitze auf einen Punkt  $C$  ein, die beiden Kräfte wirken also zusammen wie eine Kraft  $OC$ ; es gibt  $OC$  durch Größe und Richtung die Größe und Richtung der Resultante an. Der Versuch zeigt nun, daß  $C$  die vierte Ecke eines Parallelogramms mit  $O$ ,  $A$ ,  $B$  als andern Ecken ist. Das stimmt natürlich nur dann genau, wenn der Winkel der beiden Kräfte sich nicht ändert, während ihr Angriffspunkt sich von  $O$  nach  $C$  verschiebt. Die Rollen, über welche die Schnüre laufen, müßten also  $\infty$  weit vom Stäbchen entfernt sein. Bei der praktischen Anwendung erzielt man schon genügende Genauigkeit, wenn die Rollen 1 bis 2 m vom Stäbchen entfernt sind, und wenn man die Ausschläge nicht viel größer als 5 cm wählt. Bei Schülerübungen wird man die Rollenabstände nicht gut größer als 60 bis 80 cm nehmen können; in diesem Fall bekommt man noch recht gute Ergebnisse, wenn die Ausschläge nicht mehr als 3 bis 4 cm betragen. Die vorstehende, kurz und allgemein gehaltene Beschreibung des Versuches ist nicht streng; bei der Einführung des Kräfteparallelogramms kommt es aber vor allem auf Anschaulichkeit an, und anschaulich ist der Versuch sicher. Später, vielleicht bei der Wiederholung auf der Oberstufe, kann ja ohne weitere Schwierigkeit der Versuch streng richtig erklärt werden. Für die Unterstufe zeigt der Versuch aber sehr schön, daß 2 Kräfte wirken wie eine Kraft, daß diese Kraft eine mittlere Richtung hat, und daß ihre Größe in bestimmter Weise vom Winkel der beiden Komponenten abhängt.

Ich will nun auf die Ausführung des Versuches in den Übungen näher eingehen und nur noch bemerken, daß ich mir einen größeren Apparat, für Vorweisungszwecke vor ein paar Jahren, selbst gebaut habe. Die Hauptschwierigkeit bei der Herstellung bestand darin, ein gut federndes, drehrundes Stahlstäbchen von mehreren Millimetern Durchmesser zu bekommen<sup>1)</sup>. Für Schülerübungen genügen völlig die käuflichen Stahlstricknadeln von 40 cm Länge. Ich habe solche von 0,24 und 0,275 cm Durchmesser ausprobiert und beide für gut befunden. Ich gebrauche die von 0,275 cm Durchmesser, da hier etwas größere Gewichte, bis 200 g, verwendet werden können. Am liebsten würde ich allerdings lange Stahlstäbe, die an der Decke oder im Boden entsprechend einzuklemmen wären, nehmen und die Buben mit ihren eigenen Kräften daran ziehen lassen; aber leider ist mir das nicht möglich.

Nachdem der Kraftbegriff eingeführt ist, die Schüler ihre eigenen Kräfte an Federwagen usw. versucht haben, wird unser Stahlstäbchen als Kraftmesser verwendet und als solches in den Übungen geeicht. Fig. 3 zeigt die Anordnung. An einem Bunsenständer ist eine Klemme verkehrt in ihre Muffe eingesetzt, so daß ihr Stiel über die Fußplatte des Ständers ragt. Auf diesem Klemmenstiel sitzt eine zweite Muffe und in dieser wird mit Hilfe eines Stückchens Rundeisen das Stahlstäbchen eingeklemmt. Es ist darauf zu achten, daß das Stückchen Rundeisen nach unten nicht über die Muffe vorsteht. Auf die Fußplatte des Bunsenständers legt man etwa ein Buch und auf dieses ein Stück mm-Papier; durch den großen Ring wird dieses Blatt gegen die Unterlage gedrückt und festgehalten. Auf das Stäbchen ist unten ein Stückchen Kork geschoben und unmittelbar darüber ein gewöhnlicher Nähfaden herumgeschlungen. Durch Verschieben des Korkstückchens hat man es in der Hand, die Ausschläge des Stäbchens für die Gewichtseinheit innerhalb enger Grenzen zu ändern; bei meinen Stricknadeln kann ich so bequem einen Biegungspfeil von 0,5 cm für je 20 g erzielen. Der Faden läuft über eine Rolle und wird durch Gewichte gespannt. Als Rollen verwende ich solche von Georges Carette & Co. in Nürnberg.

<sup>1)</sup> Auf Wunsch wird dieser größere Apparat von Ferdinand Ernecke, Berlin-Tempelhof, gebaut.  
U. XXI.

An dem Rollengehäuse sitzt ein Rundstab von 4 cm Länge und 0,8 cm Durchmesser. Dieser Rundstab wird in ein Loch einer hölzernen Schraubzwinge gesteckt und durch eine Messinggrundschraube festgehalten. Die Schraubzwinge mit dem Loch liefert eine billige Befestigung der Rollen und findet auch für andere Versuche Verwendung. Als spannende Gewichte nehme ich jetzt solche von J. G. Wehefritz in Nürnberg, nach Angaben von Prof. Fischer, München, hergestellt; sie haben zwei Haken, was sich für unsere Versuche und auch sonst als recht zweckmäßig erweist. Der Ausschlag des Stäbchens wird dann für Gewichte von 20 bis 200 g bestimmt. Die Versuchsergebnisse werden in einer Tafel und in einer Zeichnung dargestellt, und

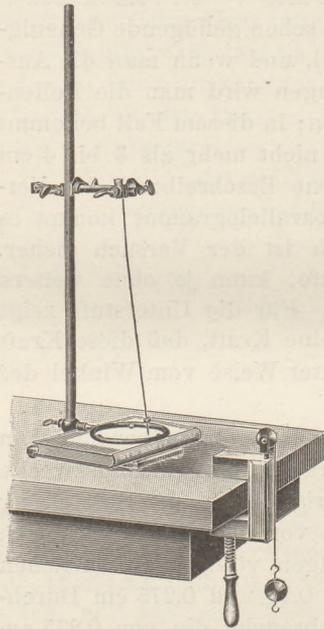


Fig. 3.

zwar werden vier Versuchsreihen gemacht, wobei der Bunsenständer mit dem Stäbchen immer um  $90^\circ$  gedreht wird, so daß also die Ausschläge des Stäbchens nach vier zueinander senkrechten Richtungen ermittelt sind. Der Schüler ist dann damit vertraut, daß durch einen bestimmten Ausschlag Richtung und Größe einer Kraft gegeben ist. Hierauf läßt man an dem Stäbchen zwei Kräfte wirken, indem ein zweiter Faden über eine zweite Rolle geführt wird, und zwar nimmt man zunächst den Winkel der beiden Kräfte zu  $180^\circ$ . Der Schüler sieht deutlich, daß zwei gleiche und entgegengesetzt gerichtete Kräfte sich aufheben, die Resultante 0 ergeben; ferner, daß zwei ungleiche und entgegengesetzt gerichtete Kräfte eine Resultante haben, die in der Richtung der größeren Kraft liegt, und deren Größe gleich der Differenz der beiden Kräfte ist. Jetzt erst wird man dazu übergehen, die beiden Kräfte unter einem beliebigen Winkel wirken zu lassen. Daß die beiden Kräfte eine Resultante haben, deren Richtung zwischen die Richtungen der beiden Komponenten fällt, erkennt der Schüler ohne weiteres. Ist er unterdessen mit der graphischen Darstellung der Kräfte durch Pfeile bekannt gemacht worden, so wird er auch darauf kommen, daß die Diagonale des Parallelogramms aus den beiden Kraftpfeilen die Resultante nach Größe und Richtung ergibt. Wie die Größe der Resultante von dem Winkel abhängt, zeigt sich besonders schön, wenn man die eine Rolle samt ihrer Kraft verschiebt, so daß sich der Winkel der beiden Kräfte ändert. Wird der Winkel = 0 oder wenigstens, wenn die beiden Schraubzwingen dicht nebeneinander stehen, nahe = 0, so wird die Resultante = Summe der beiden Kräfte.

Ich glaube, daß die beschriebene Versuchsanordnung an Anschaulichkeit kaum von einer der bekannten übertroffen wird. Für Schülerübungen „in gleicher Front“ kommen vor allem noch die Kosten in Betracht. Diese sind hier sehr gering. Wenn ich die Bunsenständer und die Gewichtssätze, die ja doch vorhanden sein müssen, nicht mitrechne, so stellen sich die Kosten für 12 Gruppen folgendermaßen:

12 Stricknadeln	= 12 · 9 Pf.	= 108 Pf.
24 Rollen	= 24 · 30 „	= 720 „
24 Schraubzwingen	= 24 · 50 „	= 1200 „

Summe 2028 Pf. = 20,28 M.

Dabei finden die Rollen und die Schraubzwingen noch anderweitig Verwendung.

Auch der Stab-Kraftmesser, wenn ich die beschriebene Anordnung so nennen darf, ist noch weiterer Anwendungen fähig. Läßt man z. B. die untere Spitze des Stäbchens an einer wagerechten Stricknadel entlang gleiten und die wagerechte Kraft so wirken, daß sie mit dieser zweiten Nadel einen Winkel bildet, so läßt sich

ganz gut der Projektionssatz ableiten. Würde man am unteren Ende des Stäbchens ein Gewicht, etwa 200 g, festklemmen und den ganzen Bunsenständer auf eine schiefe Ebene setzen, so ließe sich recht einfach zeigen, daß die Größe der abwärts treibenden Kraft mit dem Neigungswinkel der schiefen Ebene zunimmt.

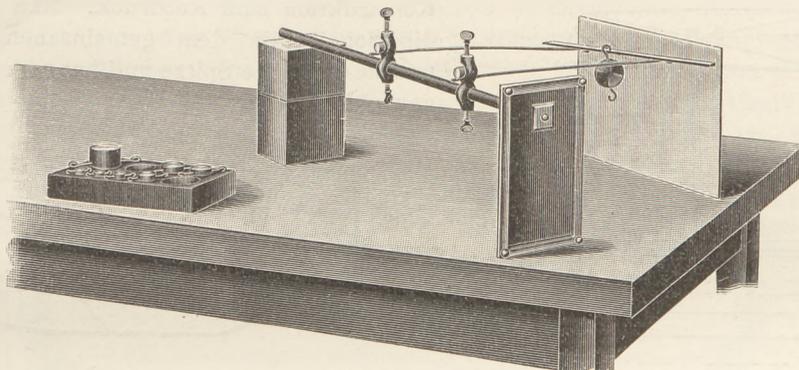


Fig. 4.

Für Schülerübungen kommt vielleicht noch der in Fig. 4 dargestellte Versuch in Betracht, der die Zerlegung einer Kraft in zwei parallele Komponenten erläutert. Der wagerecht gelegte Bunsenständer trägt zwei, ursprünglich ebenfalls wagerecht und einander parallel stehende Stahlstäbchen in 20 cm Entfernung. Diese Stahlstäbchen gehen — mit genügendem Spielraum! — durch zwei Löcher in einem dünnen, 40 cm langen Stäbchen. Die Spitzen der Stäbchen weisen in der Ruhelage auf zwei bestimmte Punkte des dahinter stehenden Blattes mm-Papier. Läßt man an irgend einem Punkte des Holzstäbchens eine Kraft wirken, so zeigen die beiden Stahlstäbchen Ausschläge. Aus diesen Ausschlägen kann man entnehmen, daß die beiden Komponenten der wirkenden Kraft parallel sind usw. Der angedeutete Versuch ist in der Form, daß das Holzstäbchen über zwei gleiche Briefwagen gelegt wird, bekannt; die soeben beschriebene Anordnung bietet den Vorteil, daß sie billiger ist.

Auf eine Anwendung des Stab-Kraftmessers für dynamische Versuche komme ich vielleicht später zurück.

## Kleine Mitteilungen.

### Schwerpunktscheiben.

Von **A. Stroman** in Friedberg (Hessen).

Die Auflegevorrichtung hat zwei gleich hohe Stahlspitzen, von denen die eine auf einer wagerechten Schiene verschoben werden kann (s. Fig.). In jedem Augenblicke, wo die Spitzen nicht mehr gebraucht werden, steckt man zur Verhütung von Verletzungen kleine Korke auf.

Die Scheiben sind aus 2 mm dickem gelblichen Zelluloid gefertigt, auf dem sich die Konstruktionslinien scharf abheben. Die kreisförmige Scheibe hat einen Durchmesser von 18 cm, woraus sich die verhältnismäßige Größe der andern ergibt. Am wichtigsten sind mir das unregelmäßige Viereck und das Trapez.

Das unregelmäßige Viereck ist aus zwei ungleichseitigen, spitzwinkligen Dreiecken zusammengesetzt, deren Flächen sich verhalten wie 3 : 4. Für die beiden Dreiecke sind die Schwerpunkte bestimmt. Wenn man die verschiebbare Spitze der feststehenden bis zum Abstände der beiden Schwerpunkte genähert hat, kann man beide gleichzeitig unterstützen. Die Scheibe ist dann im Gleichgewichte. Der Schwerpunkt des unregel-

mäßigen Vierecks liegt auf der Verbindungsgeraden der Schwerpunkte der beiden Dreiecke. Da deren Flächen, also bei gleichmäßiger Dicke der Scheiben auch deren Massen, sich verhalten wie 3:4, so müssen sich die Abstände der Schwerpunkte der Dreiecke vom gemeinsamen Schwerpunkte verhalten wie 4:3. Dies kommt in der

Konstruktion zum Ausdruck. Man setzt jetzt die Scheibe in dem gemeinsamen Schwerpunkte auf eine Spitze und hat wieder Gleichgewicht.

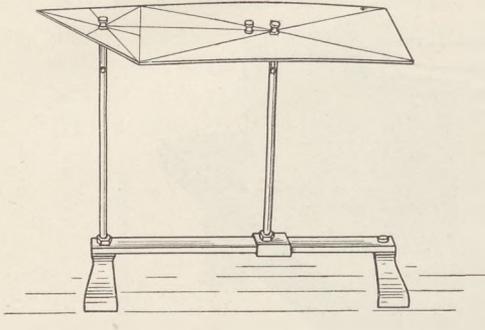


Fig. 1.

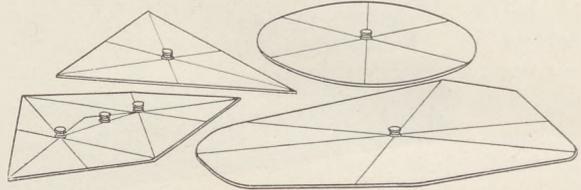


Fig. 2.

Die trapezförmige Scheibe ist aus einem Rhomboid und einem Dreieck zusammengesetzt, deren Flächen sich verhalten wie 5:1. Im übrigen ist die Konstruktion der vorigen entsprechend. Die Hebelarme verhalten sich wie 1:5. Die Konstruktion ist auf der gegenüberliegenden Fläche noch einmal ausgeführt, und zwar so, daß das Dreieck an der anderen nicht parallelen Seite des Trapezes liegt. Man sieht im durchscheinenden Lichte nun außerdem noch, daß der Schwerpunkt des Trapezes dort liegt, wo die beiden Schwerlinien einander schneiden. Auch diese Scheibe wird zuerst beiderseits in den Schwerpunkten der Einzelfiguren und dann im gemeinsamen Schwerpunkte unterstützt.

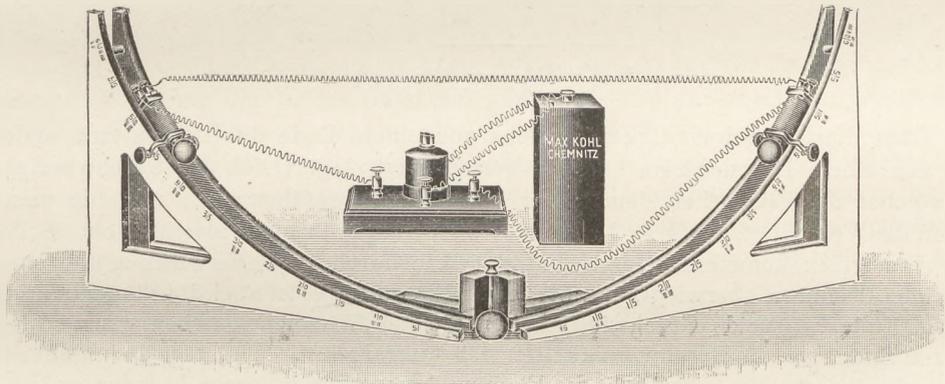
### Die Cykloidenrinne.

Von Seminaroberlehrer **Thierfelder** in Schneeberg.

Unter den Apparaten, die der Demonstration physikalischer Vorgänge dienen, wird man denjenigen den Vorzug einräumen, die infolge ihrer Einfachheit möglichst schnell fertig zum Gebrauche und wenig empfindlich sind und dabei mannigfach verwendet werden können. — In der Cykloidenrinne wird nun dem unterrichtenden Physiker ein Apparat angeboten, der den ausgesprochenen Forderungen nahe kommt. Mit dem Namen ist die Gestalt gekennzeichnet; die Kurve ist so gewählt, daß jeder Hin- bzw. Hergang 1 Sekunde dauert, also den Schwingungen des Sekundenpendels entspricht. Die Rinne ist nicht als Ganzes gearbeitet; sie besteht aus zwei Halbrinnen, die jedoch durch ein Scharnier drehbar aneinander gefügt werden und sowohl einzeln als auch verbunden in Gebrauch genommen werden können. An ihnen befinden sich in gewissen Abständen die Zahlen 0,8, 1,2, 1,6, 2,0, 2,4; diese bezeichnen die Auslaufgeschwindigkeiten aus den Halbrinnen in Metern. Es werden Stahlkugeln und Glaskugeln beigegeben. Als Lauffläche dient die Platte des Experimentiertisches. Zum bequemeren Gebrauch des Apparats werden 2 Elektromagnete geliefert, für jede Halbrinne einer, die sich in verschiedener Höhe befestigen lassen und die Stahlkugeln festhalten bez. gleichzeitig abrollen lassen.

Verwendung kann der Apparat bei verschiedenen Gelegenheiten finden. Überall, wo man 1 oder 2 Kugeln eine Bewegung von bestimmter Geschwindigkeit oder Richtung geben will, läßt er sich gebrauchen, so schon bei der Darlegung der Beharrungerscheinungen, bei der Behandlung der Begriffe der Geschwindigkeit und der Bewegungsenergie. Für die Erörterung des wagerechten Wurfs kann man die Kugel mit bestimmter Geschwindigkeit ins Freie gleiten lassen und im voraus die

Stelle bestimmen, wo sie niederfällt. Auch kann man unter Zuhilfenahme eines Brettchens leicht zeigen, daß die freifallende Kugel nicht weniger und nicht mehr Zeit braucht als die geworfene. Leitet man die mit bestimmter Geschwindigkeit auslaufende Kugel auf eine schräge Fläche, so ergibt sich ebenfalls die parabolische Wurflinie. Ebenso leistet der Apparat Hilfe bei verschiedenen Stoßerscheinungen, so beim Stoß gegen eine Wand, beim Stoß bewegter Kugeln gegen bewegte oder ruhende. — Nimmt man beide Halbrinnen zusammen, so hat man eine Pendelrinne in Cykloidenform. Der Isochronismus tritt an ihr trotz der Reibung deutlich hervor; wenn man Kugeln gleichzeitig aus verschiedener Höhe abrollen läßt, sei es auf beiden Seiten oder auch auf der nämlichen, so stoßen sie genau in der Mitte aufeinander. Die Ableitung der Pendelbewegung aus der Fallbewegung auf der schiefen Ebene wird mit Hilfe dieses Apparates klarer einleuchten. Derselbe wird ferner als stets handbereiter Perkussionsapparat Dienste leisten.



Zuletzt sei noch einer Anwendung gedacht, durch welche unsere Demonstrationsmittel eine Ergänzung erfahren, nämlich der Anwendung als Parallelogrammapparat. Läßt man von den winklig zueinander gestellten Halbrinnen Kugeln gleichzeitig abrollen, so werden sie gleichzeitig auf eine davorgestellte Kugel treffen und dieser eine Bewegung geben, die nach Richtung und Geschwindigkeit zwischen den Einzelbewegungen liegt. Der Apparat bietet die Hand zu verschiedenen Modifikationen. Bei gleichen Geschwindigkeiten und gleichschweren Kugeln lassen sich die Winkel verschieden weit nehmen. Ferner kann man unter gleichzeitiger Abänderung der Winkel die Geschwindigkeiten sowie auch die Kugelschweren variieren. Es darf freilich nicht unausgesprochen bleiben, daß die Geschwindigkeiten unter den Reibungswirkungen mehr Störungen erfahren, als man zunächst erwartet.

Für diese Versuche ist als Unterlage ein kreisförmig geschnittener Karton zu empfehlen, der so groß zu nehmen ist, als es die Tischplatte erlaubt. Auf diesem zeichnet man Radien in Abständen von  $30^\circ$  oder weniger auf; vom Mittelpunkt aus zieht man Kreise, etwa 1 cm voneinander entfernt, um für den Abstand der Rinnen von der im Mittelpunkt ruhenden Kugel — für sie schneidet man ein kleines Loch — ein Maß zu haben, besonders auch, wenn bei verschiedenen Geschwindigkeiten der Abstand verschieden zu nehmen ist. Schließlich sei noch erwähnt, daß man auch eine Kugel gegen zwei ruhende Kugeln rollen lassen kann, um die Zerlegung von Kräften bzw. die Verteilung einer Bewegungsgröße auf zwei Körper zu zeigen.

Die Cykloidenrinne läßt sich auch zu praktischen Schülerübungen verwenden. Mit ihrer Hilfe lassen sich verschiedene Aufgabenreihen durchführen, und bei ihrer einfachen, wenig empfindlichen Bauart kann man sie ohne Gefahr auch den ungeübten und nicht immer vorsichtigen Händen der Schüler anvertrauen.

Der Apparat wird von M. Kohl zum Preise von 48 M geliefert (vergl. Nachtragskatalog für 1908 No. 40778).

## Die Methoden von Behn und Warburg zum Nachweis der Abnahme des Luftdruckes mit der Höhe<sup>1)</sup>.

Von Dr. K. Schreiber in Greifswald.

Die Versuchsanordnungen von U. BEHN und WARBURG, die Abnahme des Luftdruckes mit der Höhe zu zeigen, sind, was namentlich in der Form, wie sie ABRAHAM gibt, und wie wir<sup>2)</sup> sie in unsere experimentierende Physik übernommen haben, deutlich zu erkennen ist, als Heber zu betrachten, bei denen das spezifische Gewicht  $d$  der Flüssigkeit innerhalb des Hebers von derselben Größenordnung ist, wie das  $\delta$  der Flüssigkeit außerhalb des Hebers.

Für die Geschwindigkeit der Flüssigkeit in derartigen Hebern gibt VIOLLE (Lehrbuch der Physik I, 2, 938) die Formel<sup>3)</sup>:

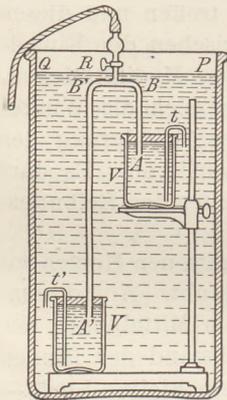
$$v = \sqrt{2g(h' - h) \left(1 - \frac{\delta}{d}\right)} \quad \delta < d,$$

$$\text{bzw.} \quad v = \sqrt{2g(h' - h) \left(\frac{\delta}{d} - 1\right)} \quad \delta > d.$$

Über diese Geschwindigkeit, welche von einem Ende des Hebers zum anderen bzw. von einem Brenner zum anderen gerichtet ist, lagert sich die Geschwindigkeit, mit welcher die Flüssigkeit dem Heber von außen zugeführt wird, und die man zu Beginn des Versuches, wo  $h' = h$ , also  $v = 0$ , für beide Brenner gleich macht. Solange diese von außen kommende Geschwindigkeit die durch die Heberwirkung entstehende an beiden Brennern überwiegt, brennen beide Flammen; es ist aber die Flamme an demjenigen Ende, wo beide Geschwindigkeiten gleiches Vorzeichen haben, länger als am anderen Ende, wo die Geschwindigkeiten sich subtrahieren. Wird hier die algebraische Summe 0 oder negativ, so erlischt die Flamme, bzw. es strömt sogar Luft von außen ein.

Die oben erwähnte Formel leitet Violle ab, indem er für einen Augenblick annimmt, der Heber sei durch eine Membran verschlossen, an dieser die Differenz

der Drucke auf ihren beiden Seiten feststellt und nun aus der Druckdifferenz, genauer aus der der Membranfläche und Druckdifferenz entsprechenden Kraft die Geschwindigkeit berechnet. Man kann aber die Formel auch erhalten ohne den Begriff des Druckes nur im geringsten zu benutzen. Die Energie der Lage eines im Gefäß  $V$  der Violleschen Figur 542 ( $A_2$  bei Hahn l. c. Fig. 359) befindlichen Volumens  $V$  der Flüssigkeit  $\delta$  ist  $Vg(h' - h_0)\delta$ , wo  $h_0$  irgend ein willkürlich angenommenes Nullniveau ist. Die Energie der Lage eines im Gefäß  $V'$  ( $A_1$  bei Hahn l. c. Fig. 359) befindlichen ebensogroßen Volumens der anderen Flüssigkeit ist  $Vg(h - h_0)d$ . Beide Volumina vertauschen während des Versuches ihren Ort, so daß ihre Energie der Lage die Werte enthält:  $Vg(h - h_0)\delta$  bzw.  $Vg(h' - h_0)d$ . Das erstere Volumen hat also abgegeben  $Vg(h' - h)\delta$ , das andere hat aufgenommen  $Vg(h' - h)d$ . In andere Energie, z. B. Bewegungsenergie, kann also umgesetzt werden  $Vg(h' - h)(\delta - d)$ .



<sup>1)</sup> Vgl. ds. Zeitschr. 20, S. 238 und 21, S. 38, 41.

<sup>2)</sup> Schreiber-Springmann: Experimentierende Physik. Deutsche Ausgabe von Abraham, Recueil d'Expériences. I, S. 92.

<sup>3)</sup> Ich bemerke hierbei, daß in der Zeichnung bei Violle, Fig. 542, welche einen Heber mit Petroleumfüllung in Wasseratmosphäre darstellt, die Röhren  $t$  und  $t'$ , welche den Inhalt der kleinen Gefäße mit der Wasseratmosphäre verbinden, bis auf den Boden herunterreichen müssen. Die Zeichnung ist unverändert in Hahns Freihandversuche 2, S. 184 übernommen worden. Die Figur im Text ist die verbesserte Viollesche.

Die Anordnung ist so getroffen, daß nur Bewegungsenergie entstehen kann. Ihr Betrag ist:

$$V d \frac{v_b^2}{2} + V d \frac{v_d^2}{2}.$$

Nehmen wir an, das große die beiden kleinen umgebende Gefäß, die Atmosphäre, sei so groß, daß die Geschwindigkeit in ihm langsam genug wird, den ersten Summanden neben dem zweiten vernachlässigen zu dürfen, so gibt das Energieprinzip

$$V d \frac{v_d^2}{2} = V g (h' - h) (\delta - d)$$

$$v_d = \sqrt{2 g (h' - h) \left( \frac{\delta}{d} - 1 \right)}.$$

Das Experiment zeigt eine dieser Formel entsprechende Geschwindigkeit, also ist durch das Experiment bewiesen, daß die in der Formel für die Energie der Lage auftretenden Gewichte der beiden Gassäulen innerhalb und außerhalb des Schlauches trotz ihrer geringen Höherstreckung eine merkliche Differenz zeigen; um so mehr müssen die Gewichte dieser Gassäulen selbst endliche Werte haben. Da nun das Gewicht einer Gassäule auf ihre Unterlage, d. h. auf das unter ihr befindliche Gas einen Druck ausübt, so ist der Druck am unteren Ende um eine dem Gewichte proportionale Größe stärker als am oberen, d. h. der Druck der Luft nimmt mit der Höhe ab; was BEHN und WARBURG beweisen wollten.

Welche der beiden Ableitungen der Formel man benutzen will, ist wesentlich Geschmackssache.

Die von VIOLLE benutzte Ableitung schiebt, entsprechend der Arbeitsmethode aus der Zeit, wo man Aufgaben aus der Dynamik nicht unmittelbar löste, sondern erst auf die Statik zurückführte, zwischen die beiden im Experiment in Wechselwirkung tretenden Energieformen: Energie der Lage, gemessen durch Gewicht und Höhe und Energie der Bewegung, gemessen durch Geschwindigkeit und Masse, noch den im Experiment nicht meßbar auftretenden Druck ein. VIOLLE sagt ausdrücklich (l. c. S. 932): „Wir nehmen für einen Augenblick an, die Flüssigkeit stehe still.“ Es muß also der Vorgang wenigstens in Gedanken unterbrochen werden, wenn man den Druck messen will; d. h. während der Messung des Druckes hat man gar nicht den zu untersuchenden Vorgang, sondern einen anderen. Die Folge davon ist, daß man den Vorgang nicht vollständig kennen lernt; man kann die Beschränkung wegen der Geschwindigkeit außerhalb des Schlauches nicht erkennen.

Die von mir gegebene Ableitung vermeidet diese Unterbrechung des Versuches, sie bringt die beiden auftretenden Energieformen unmittelbar in Beziehung und gibt infolgedessen die Grenzen der Genauigkeit der Formel. Der Wirkungsgrad<sup>1)</sup> der Energieumwandlung  $\frac{\delta - d}{\delta}$  bestimmt die Richtung der Bewegung und ist gleichzeitig eine Vorbereitung auf die Wärmelehre, besonders auf die zweite Definition des Temperaturmaßes nach KELVIN. Der von BEHN und WARBURG beabsichtigten Benutzung des Versuches wird sie noch eleganter gerecht als die erste. Hier ist also auch für die *grundlegenden Erwägungen* nur das spez. Gewicht maßgebend.

Eine Ableitung der Formel in unserer experimentierenden Physik zu geben, dazu lag, dem beabsichtigten Zweck dieses Buches entsprechend, keine Veranlassung vor.

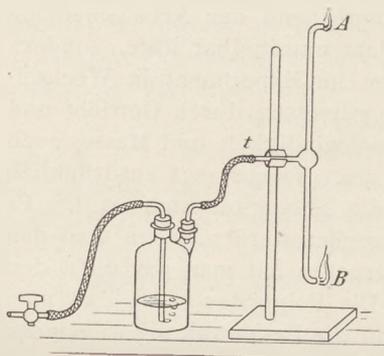
<sup>1)</sup> Vgl. ds. Zeitschr. 1905, S. 19.

## Über die Apparate von Steindel und von Behn zum Nachweis der Luftdruck- abnahme bei kleinen Höhenunterschieden.

Von G. Kemna in Lüttich.

Der in dieser Zeitschrift (*XX 30*) beschriebene Versuch hat meine Aufmerksamkeit auf die Apparate von STEINDEL und BEHN (*XIX 24* und *XVI 132*) gelenkt. Der Versuch besteht darin, daß man Leuchtgas aus zwei an den Enden eines langen Rohrs befindlichen Ansätzen herausbrennen läßt. Das 1 m lange Rohr kann in seiner Mitte um eine wagerechte Achse gedreht werden. Steht es horizontal, so sind die beiden Flammen gleich groß; steht es vertikal, so ist die obere Flamme größer als die untere, weil die obere Öffnung, wie die Verfasser behaupten, weniger Druck erleidet, und das Gas leichter ausfließen kann.

Nur auf sehr indirekte Weise wirkt hier der Luftdruckunterschied. In der Tat ist die ungleiche Ausflußgeschwindigkeit hauptsächlich dem Umstand zuzuschreiben, daß an der unteren Öffnung die zwei entgegenwirkenden Druckkräfte nicht gleich sind. Die äußere Luftsäule *AB* ist schwerer als die innere Leuchtgassäule *AB*. Die Anordnung kann verglichen werden mit zwei in Verbindung stehenden Gefäßen, welche ungleich schwere Fluide enthalten. Die Luft strebt durch den unteren Ansatz einzudringen, um das Gleichgewicht herzustellen, und sie dringt wirklich hinein, wenn man den Hahn so weit zuschraubt, daß es dem Gasstrome nicht mehr gelingt, den Mangel an innerem Druck zu ersetzen. Wenn man annimmt, daß der Unterschied zwischen den Flammen von dem Luftdruckunterschiede abhängig ist, wie soll man dann den oben erwähnten Fall erklären, wo die untere Flamme null ist, während



die obere noch eine bedeutende Größe hat? Führt man den Versuch vor irgendwelchen Zuhörern aus, vor Schülern oder Physikern, so ist bei diesen der erste Eindruck, daß das Gas in größerer Menge durch den oberen Ansatz ausfließt, weil es leichter ist als die Luft und nach oben strebt. Dieser Eindruck ist nicht bloß eine Wahrscheinlichkeit. Übrigens ist der Physiker über die ungemein große Ungleichheit der Flammen für so einen kleinen Höhenunterschied betroffen, um so mehr, da er weiß, wie klein die Luftdruckschwächung sein muß. Man verbildet den Geist des Schülers, wenn man behauptet, der Luftdruckunterschied sei die Ursache des Unterschieds zwischen den Flammen.

Freilich ist dieser nicht verhältnismäßig zu jenem. Die Erscheinung ist vor allem der spezifischen Leichtigkeit des Leuchtgases zuzuschreiben. Macht man den Versuch mit einem anderen Gase von größerer Dichte als die der Luft, z. B. mit Ätherdampf, indem man das ganze Rohr wärmt, um zu verhindern, daß der Äther darin flüssig werde, so bestätigt man eine entgegengesetzte Wirkung: die untere Flamme ist größer als die obere.

Um diesen Versuch zu bewerkstelligen, habe ich das Rohr *t* in Verbindung gebracht mit einem Glaskolben, worin ich Äther über einem Wasserbade heizte. Der Apparat war ganz aus Glas, und während des Durchganges der Dämpfe heizte ich das Rohr auf seiner ganzen Länge mit einem Bunsenbrenner. Wiederholt man den Versuch mit anderen Gasen, so wird man finden, daß das Verhältnis zwischen den Größen der Flammen sichtlich mit dem spezifischen Gewichte des brennenden Gases übereinstimmt. Um dies zu beweisen, ließ ich Leuchtgas durch eine brennbare Flüssigkeit von geeigneter Flüchtigkeit und Dampfdichte dringen. Solange ich



Äther allein gebrauchte, war die Mischung von Leuchtgas und Ätherdampf (spezifisches Gewicht des Dampfes: 5,10) zu schwer, und war die untere Flamme die größere. Später habe ich flüssige Mischungen von Äther und 95 Proz. haltigem Alkohol (spez. Gewicht des Dampfes: 3,18) verwendet. Das spezifische Gewicht des Leuchtgases war 0,55. So konnte ich das spezifische Gewicht des brennenden Gases verändern und nach Belieben die größere Flamme oben, die größere Flamme unten oder die beiden Flammen von gleicher Größe erhalten. Um letzteren Erfolg zu erreichen, nehme man ein Gemisch von Alkohol und Äther von 0,74 spez. Gew. bei 18° C.

Ich benutzte folgende Einrichtung. Das flüssige Gemisch wurde in eine Wulfsche Flasche gegossen und das Gefäß einerseits mit dem Gashahne, andererseits mit dem Apparat verbunden.

Der Versuch scheint mir entscheidend. Er ist auch sehr interessant wegen seiner äußersten Empfindlichkeit. Die geringste Veränderung der Mischung der zwei Flüssigkeiten führt eine bedeutende Veränderung des Verhältnisses zwischen den beiden Flammen herbei. Auch bemühe ich mich, dieses Verfahren als ein Mittel zu benutzen, um die Zusammensetzung gewisser Gas- oder Flüssigkeitsmischungen zu bestimmen, falls die gewöhnlichen Mittel nicht hinreichend wären.

### Die experimentelle Behandlung des Dopplerschen Prinzips.

Von Dr. **Alois Lanner** in Innsbruck.

Die klare Erkenntnis des Dopplerschen Prinzips ist nicht nur in akustischer Hinsicht von Bedeutung, sie ist auch sehr wichtig für das Verständnis der Messungen kosmischer Geschwindigkeiten durch Beobachtung der Verschiebungen von Spektrallinien und nicht zum mindesten auch deshalb interessant, weil dabei wie in wenig anderen Fällen der Einfluß der subjektiven Seite der Wahrnehmung auf die Erkenntnis der mechanischen Ursachen einer Erscheinung in einer auch den Schülern leicht verständlichen Weise klar zutage tritt.

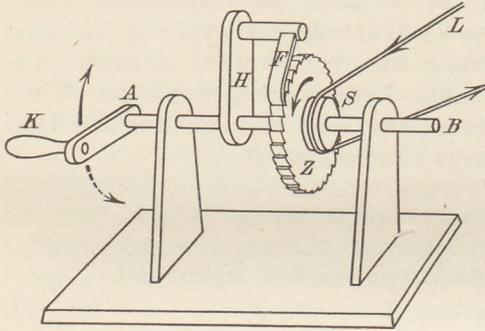
Um dieses Problem experimentell vorzuführen, hat MACH folgenden Versuch angegeben<sup>1)</sup>. Eine rechtwinklig gebogene Röhre dreht sich um den einen vertikal gestellten Schenkel, durch welchen ein Luftstrom eingeleitet wird. Am Ende des horizontalen Teiles der Röhre ist eine Pfeife angebracht, die bei der Drehung eine kreisförmige Bahn beschreibt und dabei natürlich immer denselben, ihrer Länge entsprechenden Ton von sich gibt. Ein in der Ebene dieser Kreisbahn befindliches Ohr hört dann bei rascher Drehung nicht einen konstanten Ton, sondern es vernimmt ein trillerartiges Schwanken zwischen einer höheren und tieferen Tonlage. Die Tonerhöhungen stellen sich ein, wenn sich die Pfeife längs des einen Halbkreises dem Ohre nähert, die Vertiefungen dagegen, wenn sich die Pfeife auf dem anderen Halbkreis vom Ohr entfernt. Dieselbe Erscheinung müßte auch eintreten, wenn die Pfeife am gleichen Orte verbleibt, und das Gehörsorgan abwechselnd seine Entfernung ändert, was sich aber auf diesem Wege nicht so leicht zeigen läßt. Der Versuch ist daher einseitig, aber auch noch in dem Sinne etwas unvollkommen, weil ein ungeübtes Ohr einen zwischen zwei benachbarten Tonlagen schwankenden Triller nicht gut von einem intermittierenden Ton sicher zu unterscheiden vermag, und das Zusammentreffen der Tonerhöhung mit der Annäherung nicht deutlich erkennbar ist.

Der Kernpunkt des Dopplerschen Prinzipes liegt aber nicht so sehr darin, daß wir gerade bei der Bewegung des Schallerregers eine Tonänderung wahrnehmen, sondern vielmehr in der Abhängigkeit der wahrgenommenen Tonhöhe von der gegen-

<sup>1)</sup> *Anm. der Redaktion.* Man vgl. auch D. VAN GULIK, d. Zeitschr. 14, 288.

seitigen Bewegung der Schallquelle und des Empfängers. Um den Einfluß der Stellung beider Teile in sehr sinnfälliger Weise zu erläutern, dürfte sich der folgende Versuch empfehlen.

Die drehbare Achse  $AB$  (s. Fig.) ist mit dem Hebel  $H$  und mit der Kurbel  $K$  fest verbunden, während sich das Zahnrad  $Z$  samt der Scheibe  $S$  mit dem Schnurlauf  $L$  auch bei feststehender Kurbel  $K$  leicht um dieselbe Achse drehen läßt. Der Hebel  $H$  trägt eine Feder  $F$ , die wie bei der Sirene von Savart einen Ton von unveränderlicher Höhe erzeugt, wenn sich das Zahnrad immer mit derselben Geschwindigkeit dreht, und zugleich der Hebel  $H$  stillsteht. Setzt man aber zugleich auch noch die Kurbel in Drehung, so ändert sich sofort die Tonhöhe, und zwar vernehmen wir einen höheren Ton, wenn wir die Kurbel im entgegengesetzten Sinn drehen wie das Zahnrad, weil

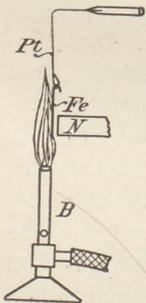


dann unter der Feder in jeder Sekunde mehr Zähne hinweggleiten, und einen tieferen, wenn sich Kurbel und Rad im gleichen Sinne drehen, weil dann die Zahl der vorausseilenden Zähne vermindert wird. Die schwingende Feder, welche den Stößen der Zähne folgt, spielt hier die Rolle des empfindenden Organs und gestattet, jede Tonerhöhung und Erniedrigung objektiv hörbar zu machen. Damit ist dann gezeigt, daß nur die relative Bewegung des Erregers und Empfängers für die empfundene

Tonhöhe maßgebend ist, daß es also nicht nur auf das Verhalten des Erregers allein ankommt. Allenfalls kann man die Schüler noch auf den unwesentlichen Unterschied aufmerksam machen, daß sich bei diesem Experimente der Vorgang auf dem Umfang eines Kreises abspielt, während die Erscheinung in der Natur gewöhnlich bei geradlinigen Bahnen auftritt. Auch langsam fassende Schüler dürften sich dann kaum noch dem Verständnis dieser von allen Seiten zugänglichen Erscheinung verschließen.

### Für die Praxis.

**Magnet und glühendes Eisen.** Von A. Stroman in Friedberg (Hessen).



Durch den folgenden kleinen Versuch (s. Figur) wurde die von einem Schüler gestellte Frage nach dem magnetischen Verhalten glühenden Eisens beantwortet: Ein Platindraht ( $Pt$ ) ist am Ende mit einer Öse versehen, in ein Stativ geklemmt und senkrecht nach unten gebogen. In der Öse hängt pendelartig ein dünnes Eisendrättchen ( $Fe$ ). Man schiebt einen Bunsenschen Brenner so weit heran, daß das Eisendrättchen im Mantel der Flamme zu möglichst heller Glut kommt. Dann nähert man ihm einen Pol ( $N$ ) eines starken Stabmagneten und zieht die Flamme weg. Die Anziehung erfolgt erst, wenn sich das Eisen bis zu einem bestimmten Grade der Rotglut abgekühlt hat.

**Nachweis der durch die Funkenentladung in Luft gebildeten Oxyde des Stickstoffs.** Von Dr. Hermann Sommerlad in Breslau. Angeregt durch die Mitteilungen von Herrn Dr. G. Meyer im laufenden Jahrg. dieser Zeitschrift (S. 40) möchte ich folgende Versuchsanordnung zum Nachweis der durch den elektrischen Funken in feuchter Luft

gebildeten salpetrigen Säure und Salpetersäure vorschlagen. Da die Nutzbarmachung des Luftstickstoffs auf elektrischem Wege gegenwärtig in der Technik verwirklicht ist und große praktische Bedeutung hat, dürfte es sich empfehlen, auch im elementaren Unterricht der Chemie darauf hinzuweisen.

Zunächst zeige man die enorme Empfindlichkeit der in Betracht kommenden Reaktionen. Man löse 0,3 g Sulfanilsäure,  $C_6H_4(NH_2)HSO_3$ , in 30 g Eisessig + 50 g Wasser. Ferner koche man 0,1 g  $\alpha$ -Naphtylamin,  $C_{10}H_7(NH_2)$ , mit 20 ccm Wasser, filtriere, setze 24 g Eisessig hinzu und verdünne mit Wasser auf 100 ccm. Die Lösungen sind, getrennt aufbewahrt, haltbar. Sollte sich die Naphtylaminlösung von selbst schwach rötlich färben, so schüttele man sie mit Zinkstaub und filtriere. Beim Gebrauch mische man gleiche Volumina und füge eine sehr stark verdünnte Lösung von salpetrigsaurem Kalium hinzu (0,1 g  $KNO_2$  auf 1–2 Liter Wasser), wodurch eine intensive Rotfärbung hervorgerufen wird. — Dann löse man ein Körnchen Diphenylamin,  $(C_6H_5)_2NH$ , im Probierrohr in einigen ccm konz. Schwefelsäure und überschichte mit stark verdünnter Salpetersäure. Man kann 1 ccm  $HNO_3$  auf 1–5 Liter mit Wasser verdünnen oder 0,1 g Salpeter in 1 Liter Wasser lösen. Der Nachweis der Salpetersäure erfolgt durch die intensive Blaufärbung. Nun schreite man zur Ausführung des eigentlichen Versuchs. Durch die beiden seitlichen Tubuli einer größeren dreihalsigen Flasche, deren Boden mit etwas Wasser bedeckt ist, führe man starke Kupferdrähte ein, die in Korken stecken und unten rechtwinklig umgebogen sind, so daß bei Verbindung mit dem Induktor zwischen den Enden eine Funkenstrecke entstehen kann. Die Woulfsche Flasche ist leichter zu beschaffen und bequemer zur Hand wie der von Heumann und von Lüpke benützte große tubulierte Glasballon. Durch den dritten mittleren Tubulus hänge man einen Streifen Filtrierpapier ein, der mit dem Reagens zum Nachweis der salpetrigen Säure getränkt ist und bis fast an die Funkenstrecke reicht, worauf man den Induktor in Gang setzt. Ich benutzte einen solchen von 5 cm Funkenlänge, wobei schon nach wenigen Sekunden die Rötung des Papiers erfolgte. Hinter die Flasche, die auf einem Stativtischchen steht, stelle man eine weiße Papptafel.

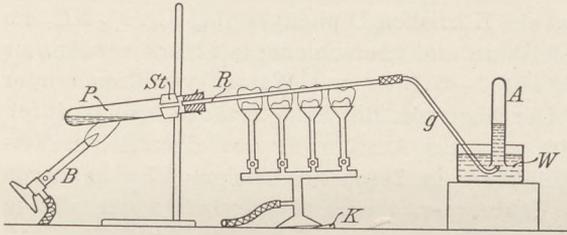
Nach Entfernung des rot gewordenen Streifens hänge man einen zweiten ein, der mit alkohol. Lösung von Diphenylamin getränkt ist. Es ist aber dieser Lösung noch reichlich Wasser zuzufügen, damit kein Entflammen durch den Funken eintritt. Bei der Funkenentladung färbt sich das Papier schwach gelblich. Man ziehe den Streifen heraus und betupfe ihn mit konz. Schwefelsäure, wodurch die Blaufärbung hervorgerufen wird. Die Lösung des Diphenylamins in konz. Schwefelsäure läßt sich nicht direkt auf dem Papier anwenden, da dieses zerfressen wird. Doch kann man Asbestpapier benutzen, das allerdings manchmal schon durch die alleinige Einwirkung des Reagens eine eigentümlich graublaue Färbung annimmt.

Nach dem Versuch schüttele man die Flasche, prüfe einen Teil der ausgegossenen Flüssigkeit mit Lackmus (Rotfärbung) und stelle ev. mit dem anderen Teil nochmals die betr. Reaktionen im Probierrohr an.

Das Gemisch von Sulfanilsäure und Naphtylamin läßt sich auch benutzen zum Nachweis der bei der Verbrennung von Wasserstoff in überschüssiger Luft entstehenden salpetrigen Säure. Trocknet man einen mit dem Lösungsgemisch getränkten Papierstreifen an der Luft oder im Trockenschrank, so tritt nur manchmal eine sehr geringe Rötung ein (Spuren von  $N_2O_3$  in der Luft). Hält man ihn dagegen über eine Wasserstoffflamme oder Leuchtgasflamme, so wird er bald rosa gefärbt. Nebenbei bemerkt, kann man durch diese Reaktion auch das im Mundspeichel vorhandene salpetrigsaure Ammonium nachweisen.

**Zersetzung der Salpetersäure durch Wärme.** Von Dr. L. Doermer in Hamburg. Es ist ohne Zweifel wünschenswert, zu zeigen, daß freie Salpetersäure beim starken Erhitzen unter Abgabe von freiem Sauerstoff zerfällt. VICTOR MEYER und A. W. HOFMANN haben zu diesem Versuche Platinkölbchen benutzt, ARENDT und HEUMANN schlagen vor, Salpetersäuredämpfe durch eine glühende Porzellanröhre zu schicken. Ja, Arendt führt den Versuch auch mit einem Glasrohr an Stelle des Porzellanrohrs aus. Mir ist der Versuch mit dem Glasrohr fast immer mißglückt, weshalb ich mich bemüht habe, eine zuverlässigere Versuchsanordnung zu finden, zumal Platinkölbchen für die Schule unerschwinglich und Porzellanrohre auch noch ziemlich teuer sind.

Die nebenstehende Figur gibt die Versuchsanordnung wieder. *P* ist ein Reagenzglas mittlerer Größe aus dünnem Jenaer Glas zur Aufnahme von wässriger Salpetersäure.



Mit Hilfe eines einmal durchbohrten Gummistopfens oder eines zum Schutze gegen den Angriff der Salpetersäure oberflächlich paraffinierten Korkes wird das dünne 30 bis 35 cm lange, 1–2 mm weite Rohr *R* einer langstieligen gewöhnlichen Tonpfeife aufgesetzt, von welchem die Pfeife selbst abgebrochen ist.

Daran wird mittels eines dickwandigen, kurzen Kautschukschlauches ein gebogenes Glasrohr angeschlossen, welches nach der pneumatischen Wanne *W* führt, wo im Probierglase *A* der Sauerstoff aufgefangen werden kann. Das Probierglas *P* wird an seinem oberen Ende von einer Klammer des Stativs *St* gehalten. Den Vierbrenner zum Erhitzen des Tonrohres stellt man durch Unterlegen eines Holzspanes oder Keils *K* etwas schief, wie die Figur zeigt.

Zur Ausführung des Versuches zündet man den Vierbrenner an und beginnt sofort mit dem Brenner *B* das Probierrohr zu bestreichen, wobei man mit der anderen Hand das Stativ etwas erschüttern kann, um die Salpetersäure im Probierglase in Bewegung zu halten. Wenn das Sieden begonnen hat, und wenn aus *g* braune Dämpfe aufsteigen, läßt man das Stativ in Ruhe, bringt mit der freien Hand das Rohr *g* unter das in eine Klammer eingespannte Probierglas und erhitzt währenddessen die Salpetersäure dauernd an derselben Stelle des Probierglases. Man muß die Erhitzungsstelle nahe dem seichteren Ende der Flüssigkeit wählen, um zu starkes Stoßen zu verhindern, welches eintreten kann, wenn man die Salpetersäure an der tiefsten Stelle des Reagenzglases erhitzt. Man füllt das Auffangglas möglichst vollständig, nimmt das Rohr *g* aus dem Wasser und hört dann erst mit Erhitzen auf. Falls noch braune Dämpfe — die man übrigens in einer gut gekühlten Wöhlischen Kondensationsröhre zwischen *R* und *g* auffangen kann — im Probierglase enthalten sind, schließt man es mit dem Daumen möglichst luftdicht, schüttelt, taucht die Mündung mit dem Daumen wieder unter Wasser, öffnet und nimmt dann erst mit erneutem Daumenverschluß heraus, um mit dem glimmenden Span sehr deutlich den Sauerstoff nachzuweisen. Der Versuch ist mir bisher kein einziges Mal mißglückt, und er erfordert, wenn man das Pfeifenrohr zur Hand hat, kaum 5 Minuten Vorbereitung. Die Tonröhre kann immer wieder benutzt werden.

## Berichte.

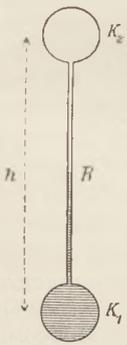
### 1. Apparate und Versuche.

#### Versuch über die Chromasie des Auges.

Von M. Seddig. Der Versuch läßt sich auch im Unterricht leicht mit Hilfe einer an die Tafel gezeichneten Figur ausführen. Die Ecken zweier ineinander liegender Quadrate sind paarweise verbunden. Da überall Symmetrie ist, so wird, falls die Linien gleich dick und von gleicher Farbe sind, die Körperlichkeit für das Empfinden des Beschauers labil sein. Dies ändert sich, wenn das innere Quadrat rot, das äußere blau ausgezogen wird. Das Auge hat dann eine Akkommodationsarbeit zu leisten, und die Figur erscheint konvex, bei Vertauschung der Farben dagegen konkav. Eine violette Gelatinefolie, passend ausgewählt, erhöht noch den Eindruck, weil wegen des dunkleren Gesichtsfeldes die Pupillenöffnung größer wird und die besonders wirksamen Randstrahlen zuläßt. Mit einem Auge ist die Erscheinung besser sichtbar als mit beiden. Auf dieser Erscheinung beruhende Entfernungstäuschungen kommen indes selten vor, weil die Farbendifferenzen selten so groß sind wie hier. Von roten und grünen Signalaternen der Eisenbahn, die sich nebeneinander befinden, scheint die rote vor der grünen zu stehen. Bei nicht achromatischen Linsen hat Kohlrausch bereits 1871 auf ähnliche Entfernungstäuschungen hingewiesen, die nun auch für die Linse des Auges nachweisbar sind. (*Z. S. f. wiss. Phot.* 5, S. 311–314, 1907; *Beibl. d. Phys.* 32, S. 604.)

#### Einfacher Vorlesungsapparat zur Bestimmung des mechanischen Wärme-Äquivalents.

Von L. KANN (*Phys. Zeitschr.* 9, Nr. 8, 263; 1908). In dem Apparat ist ein und dieselbe



Substanz, nämlich Quecksilber, als energetisches, kalorimetrisches und thermometrisches Material verwendet. Der Apparat besteht aus zwei durch eine Kapillare  $R$  miteinander verbundenen, tunlichst inhaltsgleichen Glaskugeln  $K_1$  und  $K_2$  und ist zur Hälfte mit reinem Quecksilber gefüllt, so daß dasselbe in der gezeichneten Stellung die untere Kugel  $K_1$  ganz erfüllt und in der Kapillare bei gewöhnlicher Zimmertemperatur ungefähr bis zur Mitte steht (s. Fig.). Die Kapillare ist mit einer Millimeterteilung oder besser gleich

mit einer Gradskala versehen, so daß der sorgfältig evakuierte Apparat so weit einem sehr empfindlichen Thermometer entspricht, da die Quecksilbermasse beträchtlich und die Kapillare ziemlich eng ist.

Zur Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents braucht man nun bloß mehrmals das Quecksilber durch Umdrehen des Apparates aus der einen Kugel in die andere laufen zu lassen und am Apparat selbst die hierdurch entstehende Temperaturerhöhung des Quecksilbers abzulesen. Hierbei wird die wiederholte Fallarbeit des Quecksilbergewichts  $Q$  über die Höhe  $h$  in Wärme umgesetzt und zur Temperatursteigerung des Quecksilbers verwendet. Sieht man bei diesem Vorgange von Leitungs- und Strahlungsverlusten u. dgl. ab, so läßt sich die Berechnung des mechanischen Wärmeäquivalents äußerst einfach durchführen: Es ist dafür bloß die Kenntnis des Abstandes  $h$  der Kugelmittelpunkte (wobei der Quecksilberfaden in der Kapillare vernachlässigt wird), der Zahl der Doppelumdrehungen  $2n$  und der diesen entsprechenden Temperaturerhöhung  $\Delta t$  nötig. Das Gewicht  $Q$  des Quecksilbers fällt aus der Rechnung aus, weil eine größere Quecksilbermasse zwar bei jeder Umdrehung eine entsprechend größere Fallarbeit liefert, dafür aber auch die hierdurch zu erwärmende Masse im gleichen Verhältnis wächst.

Die spezifische Wärme des Quecksilbers sei  $\sigma = 0,0333$ , das mechanische Wärmeäquivalent  $A$ ; dann ist

$$A \cdot Q \cdot \sigma \cdot \Delta t = 2n \cdot Q \cdot h \quad \text{und}$$

$$A = \frac{2n \cdot h}{\sigma \cdot \Delta t},$$

z. B. für  $n = 10$  und  $h = 0,50$  m

$$A = \frac{10}{0,0333 \cdot \Delta t} = \frac{300}{\Delta t},$$

und es ergibt sich der gewöhnliche Wert von  $A$  aus einer Temperaturerhöhung von ca.  $0,7^\circ \text{C}$ .

Behufs genauerer Auswertung muß, hauptsächlich wegen der Erwärmung des Glases, auch das Gewicht des Quecksilbers und des Glases in Rechnung gezogen werden. Aber der Verf. hat „unter Beobachtung auch nur der gewöhnlichsten Vorsichtsmaßregeln und Korrekturen überraschend gute und — was für die Vorführung beim Unterricht das Wichtigste ist — verlässlich miteinander über-

einstimmende Resultate“ erzielt. — Der Verf. hat den Apparat bis auf den mittleren Teil der Kapillare mit Wolle umhüllt, in eine weitere, mit einem Thermometer versehene Röhre eingeschlossen und diese wieder gut in ein Kästchen verpackt, in dem Schlitz für die Beobachtung des Thermometers und der Kapillare ausgespart waren. (Die weitere Röhre könnte auch luftdicht verschlossen und evakuiert und innen, so wie der Apparat selbst außen, bis auf ein paar Beobachtungsschlitzte versilbert werden. Bei Benutzung all der besonderen Hilfsmittel eines für derartige Bestimmungen ausgestatteten Laboratoriums ließe sich der Apparat wohl zu Präzisionsmessungen verwenden.)

Ist der Apparat nicht sehr vollkommen evakuiert, so werden die noch vorhandenen geringen Luftreste beim Umstürzen in der leeren Kugel durch das fallende Quecksilber abgeschlossen und treten nach beendigtem Abfluß an der Mündung der nunmehr gefüllten Kugel als ca. 2 mm langer Luftfaden, durch die Quecksilbersäule in der Kapillare wie bei einem Mac Leodschen Vakuummeter komprimiert, auf. Das hat aber nicht viel zu bedeuten, denn der Luftfaden tritt bei gleichmäßiger Handhabung mit großer Regelmäßigkeit an derselben Stelle auf und kann nach der gewünschten Zahl der Doppel-

umdrehungen vor der Ablesung aus der Kapillare entfernt werden, indem man den Apparat neigt, bis der Quecksilberfaden aus der Kapillare in die leere Kugel geflossen ist und auch dem Luftfaden in dieselbe zu entweichen gestattet hat, und dann wieder aufrichtet.

Der Apparat ist so zu dimensionieren, daß einerseits die Thermometerausschläge möglichst groß ausfallen, und die Quecksilbermasse die Glasmasse — besonders für die angenäherte Bestimmung — beträchtlich überwiegt, andererseits aber das Ausfließen nicht zu lange dauert.

Der Verf. empfiehlt folgende Dimensionen: Radius der Kugeln ca. 2,8 cm, Abstand der Mittelpunkte ca. 50 cm; das gibt eine Abflußzeit von ca. 6 Min. für 10 Doppelumdrehungen, wobei 1° C. einem Ausschlag von ca. 15 mm entspricht. Apparate dieser Art werden von Lenoir und Forster in Wien geliefert. —

Bemerkte sei hierzu noch, daß ähnliche Apparate bereits Harold Whiting und Griffiths (ds. Zeitschr. 17, 228; 1904) verwandt haben; Violle läßt ebenfalls Quecksilber in Glasröhren fallen (*Abraham, Recueil d'expériences* 1. 212, No. 60). Neu ist an dem von KANN beschriebenen Apparat die Gestalt der Glasröhre. P.

## 2. Forschungen und Ergebnisse.

**Radioaktivität.** 1. Die Radiumemanation. Nach CAMERON und RAMSAY nimmt das Volumen der Radiumemanation kurze Zeit nach dem Übergang aus dem festen in den gasförmigen Zustand zuerst rasch, dann langsam ab<sup>1)</sup>. Dabei gilt für die Emanation stets das Boylesche Gesetz. Bei den Versuchen, die in Glas- und Quarzgefäßen angestellt wurden, benutzten die Verfasser eine Emanationsmenge, die sich aus einer Lösung von 87,7 mg Radium entwickelte. Als mittlere Lebensdauer des Radiums ergaben sich aus den Versuchen 236 (statt wie bisher 1100) Jahre. Frische Emanation verminderte ihr Volumen zunächst auf die Hälfte, was auf eine Polymerisation von Em<sup>1</sup> in Em<sup>2</sup> zurückgeführt wird. Die spätere langsamere Volumverminderung der Emanation läuft in ihrem zeitlichen Verlauf mit der Abnahme der elektrischen Wirkungen parallel. Aus der Emanation bildete sich ein Rückstand von Ra D.

<sup>1)</sup> Jahrbuch d. Radioakt. u. Elektronik 4, 253 (1907); Beibl. 32, 115 (1908).

Nach KOLOWRAT ist die von Radiumbaryumchlorid in einer bestimmten Zeit abgegebene Emanationsmenge von der Temperatur des Salzes abhängig<sup>1)</sup>. Sie ist sehr gering bei gewöhnlicher Temperatur (nur etwa 1 Proz. der Gesamtmenge) und bleibt bei Erhöhung der Temperatur konstant bis 350°; sie vermehrt sich dann ziemlich rasch und erreicht bei 830° 90 Proz. der Gesamtproduktion. Dann fällt sie bis auf 60 Proz. bei 920°, um dann plötzlich bei dem Schmelzpunkt des Salzes (945°) auf 100 Proz. zu steigen. Die Anomalie, welche das Chlorid zwischen 830° und 945° zeigt, zeigt das Fluorid ebenfalls, und zwar zwischen 960° und 1130° (der Schmelzpunkt ist hier 1212°).

WEDEKIND erhielt Radiumemanation in großer Konzentration, wenn er unter Luftabschluß Salzsäure auf Baryum-Radiumkarbonat einwirken und die entwickelte Kohlensäure durch Kalilauge absorbieren ließ. Die zurückbleibende Emanation be-

<sup>1)</sup> C. R. CXLV 426 (1907).

saß die Fähigkeit, Glas zum Leuchten zu bringen<sup>1)</sup>.

Die schon früher von P. CURIE gemachte Beobachtung, daß die Emanation im Innern eines mit phosphoreszierendem Schwefelzink ausgekleideten Gefäßes besonders den Boden des Gefäßes zum Leuchten bringt, hat Frau CURIE zum Gegenstande eingehenderer Untersuchungen gemacht<sup>2)</sup>. Danach hat es den Anschein, als wenn die aus der Emanation sich bildende induzierte Aktivität von der Schwere beeinflußt wird. Die Emanation wurde in eine Glocke geleitet, in der sich parallele Metallplattenpaare befanden, die z. T. horizontal, z. T. vertikal standen. Nach 2—3 Tagen hatte sich auf den Platten die induzierte Aktivität niedergeschlagen und konnte auf ihr Ionisationsvermögen geprüft werden. Es zeigte sich, daß alle vertikalen Platten und die Unterseite der horizontalen Platten die gleiche Aktivität besaßen, während die Oberseite der letzteren 2 bis 5 mal so aktiv war. Die Erscheinung trat aber nur bei Anwesenheit von Wasserdampf, nicht in trocknen Gasen auf und dürfte daher durch Kondensation von Wasserdampf auf den Molekülen des aktiven Niederschlages zu erklären sein. Mit Hilfe von Bogenlicht konnte die Nebelbildung sichtbar gemacht werden, die bereits unterhalb des Sättigungsdruckes eintrat. Hierin unterscheidet sich die Erscheinung von der Kondensation des Wasserdampfes auf den durch die Emanation erzeugten Ionen, die nur bei übersättigtem Dampf eintritt. Im elektrischen Felde von einigen 100 Volt verschwindet der Nebel vollständig.

Das Absorptionsvermögen von Flüssigkeiten für die Emanation ist durch eine nur von der Natur der Flüssigkeiten abhängige Konstante, den Absorptionskoeffizienten, charakterisiert. Wie v. TRAUBENBERG feststellte, ist das Absorptionsvermögen besonders hoch in Kohlenwasserstoffen wie Petroleum, Benzol, Alkohol usw.<sup>3)</sup>. Wie für jedes andere Gas zeigt sich auch für die Radiumemanation eine Abnahme des Absorptionsvermögens mit steigender Temperatur der Flüssigkeit. Nach M. KOFLER nimmt der Absorptionskoeffizient in Lösungen und Gemischen mit wachsender Konzentration ab<sup>4)</sup>. Dies wurde nachgewiesen an Lösungen

von Blei- und Silbernitrat, Sublimat, Zink-, Kupfer-, Eisenvitriol, Chlorkalium, Kochsalz, Salmiak u. a. Man kann auch sagen, daß der Absorptionskoeffizient sowohl für ein und dasselbe Salz als auch für verschiedene Salze mit wachsender Zahl der gelösten Moleküle abnimmt, und daß die Absorptionskoeffizienten äquivalenter Lösungen verschiedener Salze einander gleich sind. Auch für Kohlenstoffverbindungen nimmt das Absorptionsvermögen mit wachsender Konzentration ab, doch ordnen sich die Werte nicht in die Reihe der Molekulargewichte ein. Das Absorptionsvermögen des Meerwassers war bedeutend geringer als das des destillierten Wassers.

Die Periode der Radiumemanation, d. h. die Zeit, in der sie nach einem Experimentalgesetz zur Hälfte zerfällt, ist eine Konstante, deren genaue Kenntnis von großer Wichtigkeit ist. P. Curie hatte sie zuerst auf 3,99 Tage bestimmt, andere Forscher fanden geringere Werte. Eine neue Messung der Konstante nahm G. RÜMELIN vor<sup>1)</sup>; er fand eine mit dem von Rutherford und Soddy erhaltenen Werte (3,77) gut übereinstimmende Zahl. Hiernach ist es sehr wahrscheinlich, daß die Konstante in der Nähe von 3,75 Tagen liegt.

2. Radioaktive Stoffe. Versuche von BOLTWOOD bestätigten die Annahme HAHNS, daß in der Thoriumreihe zwischen Thorium und Radiothorium ein Zwischenprodukt, das Mesothorium, vorhanden ist, das eine langsame Umwandlungsgeschwindigkeit besitzt und keine  $\alpha$ -Strahlen aussendet<sup>2)</sup>. Alte Thorium-X-Rückstände, die aber kein Thorium mehr enthielten, zeigten die auf Mesothorium zurückzuführende Aktivität. Ähnliche Beobachtungen machten Mc Coy und W. H. Ross; für die Periode des Mesothoriums fanden sie 5,5 Jahre<sup>3)</sup>.

Durch weitere Versuche fand HAHN, daß auch das Mesothorium keine einheitliche Substanz ist, sondern aus zwei, in genetischem Zusammenhange stehenden Bestandteilen sich zusammensetzt<sup>4)</sup>; und zwar zerfällt das langlebige eigentliche Mesothorium („Th 1“) ohne Strahlenabgabe in ein neues Produkt („Th 2“), das  $\beta$ -Strahlen aussendet und eine Zerfallsperiode von 6,2 Stunden besitzt. Die Ab-

<sup>1)</sup> Chem. Ztg. 31, 1108 (1907); Beibl. 32, 499 (1908).

<sup>2)</sup> C. R. CXLV 477, 1145 (1907).

<sup>3)</sup> Phys. Zeitschr. 5, 130 (1904).

<sup>4)</sup> Phys. Zeitschr. 9, 6 (1908).

<sup>1)</sup> Phys. Zeitschr. 8, 803 (1907).

<sup>2)</sup> Phys. Zeitschr. 8, 556 (1907).

<sup>3)</sup> J. Amer. chem. soc. 29, 1709 (1907); Beibl. 32, 500 (1908).

<sup>4)</sup> Phys. Zeitschr. 9, 245, 246 (1908).

trennung des Th 2 vom Th 1 geschieht mit Ammoniak. Th 2 gibt keine  $\alpha$ -Strahlen ab und zerfällt in das Radiothor, das  $\alpha$ -Teilchen emittiert und in kurzer Zeit weitere vier  $\alpha$ -Strahlenprodukte erzeugt. Die Zerfallsprodukte des Thoriums sind nach HAHN: Th — Th 1 (Mesoth. 1) — Th 2 (Mesoth. 2) — Th 3 (Radioth.) — Th X — Emanation — Th A — Th B — Th C — Inaktives Endprodukt.

Die Ergebnisse der Boltwood'schen Untersuchungen, nach denen das Aktinium als Zwischenprodukt zwischen Uran und Radium anzusehen ist (ds. Zeitschr. XX 326), wurden von RUTHERFORD insofern bestätigt, als sich Radium in der Tat aus Aktinium zu entwickeln scheint<sup>1)</sup>. Während einer Beobachtungszeit von 305 Tagen erhielt er aus Aktiniumpräparaten konstante Mengen Radium. Durch geeignete chemische Behandlung konnte er Aktiniumpräparate gewinnen, die eine außerordentlich langsame Zunahme an Radium zeigten. Der aktive Niederschlag von Aktinium wandelte sich nicht direkt in Radium um. Aus diesen Versuchen ist zu schließen, daß in den gewöhnlichen Aktiniumpräparaten eine neue, sich langsam in Radium umwandelnde Substanz enthalten ist. Diese neue Substanz kann chemisch sowohl von Aktinium wie von Radium getrennt werden.

Außer den besonderen chemischen Eigenschaften dieser Substanz fand BOLTWOOD in der besonderen Art ihrer  $\alpha$ -Strahlung den bündigsten Beweis dafür, daß man es hier mit einem neuen radioaktiven Element zu tun hat<sup>2)</sup>. Die von ihm ausgehenden  $\alpha$ -Strahlen wurden vom Aluminium viel leichter absorbiert als die  $\alpha$ -Strahlen des Poloniums, mit dem diese Substanz zuerst verglichen wurde; ihre Reichweite beträgt weniger als 3 cm, ist also kleiner als die der  $\alpha$ -Teilchen irgend einer anderen Substanz. Sie sendet auch  $\beta$ -Strahlen von geringerer Durchdringungskraft als das Uran aus. Die Aktivität des neuen Elements beträgt ungefähr 0,8 der Aktivität des Radiums selbst. Es erzeugt keine Emanation und gleicht in seinen chemischen Eigenschaften dem Thorium. BOLTWOOD schlägt für das Element den Namen „Ionium“, RUTHERFORD „Proradium“ vor.

Nach GIESEL scheint das Radioaktinium zu den alkalischen Erden zu gehören<sup>3)</sup>. Er fand, daß sich aus ihm ebenfalls eine

Emanation entwickelt; möglicherweise ist aber auch im Radioaktinium eine unbekannt Substanz enthalten, die die Emanation liefert. Aus einem starken Aktiniumpräparat, das zwei Jahre in einer Geißlerschen Röhre eingeschlossen war, erhielt GIESEL nach Erhitzen die D<sub>3</sub>-Linie des Heliums. Ebenso gelang es auch GREINACHER und KERNBAUM aus Polonium Helium zu entwickeln<sup>4)</sup>.

Die beim Blei beobachtete Radioaktivität stellt sich immer mehr als von fremden Beimengungen herrührend heraus. Mc LENNAN untersuchte die Leitfähigkeit der Luft in geschlossenen Bleizylindern und fand außerordentliche Verschiedenheiten je nach der Art des Bleimaterials, was nur durch wechselnde Mengen radioaktiver Verunreinigungen erklärt werden kann<sup>2)</sup>. ELSTER und GEFFEL konnten direkt das Vorkommen von Ra D, E und F im gewöhnlichen Blei feststellen<sup>3)</sup>. Unterschiede der Leitfähigkeit der Luft in Gefäßen aus verschiedenen Metallen, die keine Verunreinigungen besitzen, rühren nach Mc LENNAN her von Unterschieden in den Sekundärstrahlen dieser Metalle. Versuche mit den  $\gamma$ -Strahlen des Radiums zeigten, daß die durch diese Strahlen in der in Bleigefäßen eingeschlossenen Luft erregte Ionisierung zu zwei Dritteln von der Sekundärstrahlung, zu einem Drittel von der  $\gamma$ -Strahlung selbst veranlaßt wird. Andererseits zeigten Messungen mit Aluminiumzylindern, daß hier nahezu zwei Drittel der Ionisation von den  $\gamma$ -Strahlen, ein Drittel von der sekundären Metallstrahlung herrührt. Aus den Beobachtungen über die Leitfähigkeit der Luft in verschiedenen Gefäßen berechnete der Verf., daß in freier Luft etwa 9 Ionen pro ccm/sec. von der durchdringenden Erdstrahlung erzeugt werden.

Außer den eigentlichen radioaktiven Stoffen fanden CAMPBELL und WOOD die Kaliumsalze stärker aktiv als irgend eine andere Substanz<sup>4)</sup>. Bei 8-wöchentlicher Exposition konnte eine Beeinflussung der photographischen Platte durch Kaliumstrahlen nachgewiesen werden. Die Aktivität war 1000mal kleiner als die des Urans; die Strahlen sind  $\beta$ -Strahlen von etwas geringerer Geschwindigkeit als die Uranstrahlen. Genau dieselben Beobachtungen machten M. LEVIN und R. RUER

<sup>1)</sup> Phil. Mag. 14, 733 (1907).

<sup>2)</sup> Phys. Zeitschr. 8, 884 (1907).

<sup>3)</sup> Chem. Ber. 40, 3011 (1907); Beibl. 32, 118 (1908).

<sup>1)</sup> Phys. Zeitschr. 8, 339 (1907).

<sup>2)</sup> Phil. Mag. 14, 760 (1907).

<sup>3)</sup> Phys. Zeitschr. 9, 289 (1908).

<sup>4)</sup> Cambridge Proc. 14, 15 und 211 (1907); Beibl. 32, 121, 274 (1908).



mit Kaliumpräparaten, die auf verschiedenen Wegen hergestellt waren<sup>1)</sup>.

Die Ansicht, daß alle Stoffe radioaktive Eigenschaften haben, wenn auch nur einige in besonders hohem Maße, ist bereits mehrfach ausgesprochen worden. Die Möglichkeit, aus ihrer ionisierenden Wirkung auf die Radioaktivität zu schließen, wird dadurch eingeschränkt, daß z. B. die  $\alpha$ -Teilchen bei zu geringer Geschwindigkeit keine Ionisierung mehr beobachten lassen. Da aber die Strahlung beim Radium mit einer erheblichen Wärmeentwicklung verbunden ist, so liegt es nahe, zu sehen, ob nicht auch andere Stoffe einen Temperaturunterschied gegenüber ihrer Umgebung aufweisen, woraus man dann auf Radioaktivität schließen könnte. Derartige Untersuchungen sind von H. GREINACHER angestellt worden<sup>2)</sup>. Die Substanzen, deren Temperaturunterschiede miteinander verglichen werden sollten, kamen in zwei nebeneinanderstehende Dewarsche Gefäße, die durch Eintauchen in Eis auf möglichst konstanter Temperatur gehalten wurden. Jedes Gefäß enthielt ein Thermolement Eisen-Konstantan, dessen Zuleitungsdrähte zu einem Galvanometer führten. Es wurden untersucht:  $ZnSO_4$ ,  $CdSO_4$ ,  $MgSO_4$ ,  $Zn$ ,  $Cd$ ,  $UO_2(NO_3)_2$ ,  $Hg$  und  $Bi$ ; alle diese Stoffe zeigten keine merkliche Temperaturdifferenz gegen ihre Umgebung, die hiernach mindestens weniger als  $0,01^\circ$  betragen muß. Kristallinisches Bleinitrat zeigte dauernd eine um ein bis mehrere hundertstel Grade niedrigere Temperatur als die Umgebung.

### 3. Die radioaktiven Umwandlungen.

Bei diesen scheinen Temperatur und Druck, die bei chemischen Prozessen eine große Rolle spielen, bedeutungslos zu sein. So ließen die bei Drucken von 2000 Atm. gemachten Versuche von SCHUSTER und von EVE und ADAMS keine Änderung der  $\gamma$ -Strahlung eines Radiumpräparates erkennen<sup>3)</sup>. BRONSON fand ebenso, daß bei einem in einem Quarzröhrchen eingeschlossenen Radiumpräparat bis zu Temperaturen von  $1500^\circ$  die Änderung der  $\gamma$ -Strahlung kleiner als 1 Proz. ist<sup>4)</sup>. H. W. SCHMIDT erhitzte ein Präparat von Ra C in einem Quarzröhrchen auf  $1300^\circ$  und fand, daß es mit derselben Halbwertszeit zerfiel wie bei gewöhnlicher Temperatur, auch dieselben Strahlungseigenschaften behielt. Ein

aktivierter Draht klingt bei hoher und niedriger Temperatur nach demselben Gesetz ab<sup>1)</sup>. MAKOWER und RUSS halten allerdings die Schmidtschen Versuche nicht für ganz stichhaltig und glauben auf eine Änderung der Zeitkonstante bis zu 10 Proz. (bei  $1300^\circ$ ) schließen zu dürfen. Dagegen fanden auch sie bei Erhitzen von Radiumemanation auf  $1100^\circ$  keine Änderung der Halbwertskonstante; nur wurde hier kurze Zeit nach der Erhitzung die Aktivität um 6 Proz. kleiner gefunden<sup>2)</sup>.

Aus dem Bericht über die 77. Jahresversammlung der *British Association for the Advancement of Science*, die im August 1907 in Leicester abgehalten wurde, führen wir einige hierher gehörige Ausführungen an<sup>3)</sup>. Nach SRRUTT ist der Gehalt an Helium in gewöhnlichen Erzen in der Regel proportional ihrer Radioaktivität, so daß sich dieser Gehalt durch Bildung von Helium aus Radium erklärt. Eine eigentümliche Ausnahme bildet der Beryll, der nicht radioaktiv ist, aber eine beträchtliche Menge Helium enthält. Wie RAMSAY ausführte, entsteht das Helium, das niedrigste Element des periodischen Systems, nur dann, wenn die ganze enorme Energiemenge, die beim Zerfall der Emanation frei wird, zum Aufbrechen des Moleküls verbraucht werden kann. Ist die Emanation im Wasser gelöst, so verbraucht die Zersetzung des Wassers einen Teil dieser Energie, und es entsteht Neon, das nächsthöhere Glied derselben Reihe. Ist die Emanation in  $CuSO_4$ -Lösung gelöst, so wird für die Desintegration des Kupfers zu Lithium noch mehr Energie verbraucht, und es entsteht Argon, das nächste Glied derselben Reihe.

In der Diskussion über „die Konstitution des Atoms“ schlug RAMSAY eine rationellere Schreibweise der chemischen Formeln vor, da jedes Atom mit Elektronen  $E$  verbunden gedacht werden müsse. So sei 1 Atom Wasserstoff  $HE$ , ein Molekül  $HEEH$  oder  $HE_2H$  zu schreiben. Daß ein Zuwachs an Elektronen die Natur eines Elementes zu ändern vermag, glaubte RAMSAY aus einem Versuch zu schließen, nach dem ein Nickeltiegel, der zwei Jahre hindurch der Einwirkung von  $\beta$ -Strahlen ausgesetzt war, eine radioaktive Haut erhalten hatte, die er als eine neue Substanz ansieht. Lord KELVIN verglich das radioaktive Atom mit einer Kanone, die

<sup>1)</sup> Phys. Zeitschr. 9, 248 (1908).

<sup>2)</sup> Ann. der Physik 24, 79; 1907.

<sup>3)</sup> Nature 76, 269 (1907).

<sup>4)</sup> Chem. News 95, 39 (1907).

<sup>1)</sup> Phys. Zeitschr. 9, 113 (1908).

<sup>2)</sup> Proc. Roy. Soc. 79, 158 (1907); Beibl. 32, 271 (1908); Phys. Zeitschr. 9, 250 (1908).

<sup>3)</sup> Phys. Zeitschr. 8, 958 (1907).

explosive Geschoßladungen trägt. Ein unbekannter Anstoß verursache das Abfeuern des Geschosses, d. i. des Elektrons, das gleich einer Granate explodiere.

Auf Schwankungen der radioaktiven Umwandlung hat zuerst E. v. SCHWEIDLER hingewiesen<sup>1)</sup>. Aus den Gesetzen der Wahrscheinlichkeitsrechnung folgerte er, daß das Exponentialgesetz für den Zerfall einer radioaktiven Substanz  $n = N \cdot e^{-\lambda t}$  ( $n$  Anzahl Atome zur Zeit  $t$ ,  $N$  die Anzahl zur Zeit 0,  $\lambda$  Abklingungskonstante) streng nur dann erfüllt sein kann, wenn  $N$  eine sehr große Zahl ist. Ist die Anzahl der zerfallenden Atome nicht sehr groß, so zerfallen in einer gewissen Zeit bald mehr, bald weniger Atome, so daß die Aktivität des Präparates Schwankungen unterworfen sein wird. Die mittlere Schwankung  $\bar{\varepsilon}$  ist  $= 1/\sqrt{Z}$ , wo  $Z$  die Anzahl der Atome bedeutet, die bei strenger Gültigkeit des Gesetzes  $n = N \cdot e^{-\lambda t}$  innerhalb einer Zeit  $\delta$  zur Umwandlung gelangen würden. Dieses Gesetz wurde zuerst von K. W. F. KOHLRAUSCH experimentell geprüft<sup>2)</sup>. Eine genauere Prüfung der Schweidlerschen Beziehung unternahmen E. MEYER und E. REGENER<sup>3)</sup>. An ein Poloniumpräparat waren + 2300 Volt gelegt; außerhalb der Reichweite der  $\alpha$ -Strahlung (4 cm) befand sich eine halbkugelige Elektrode, die zu dem einen Quadranten eines Elektrometers führte. Die Messungen wurden immer bei Sättigungsstrom angestellt. Infolge der Strahlungsschwankungen war die Elektrometernadel in ständiger unregelmäßiger Bewegung. Abgelesen wurden die Umkehrpunkte mit den dazugehörigen Zeiten; aus einer größeren Zahl von Messungen wurde die mittlere Schwankung berechnet. Das Poloniumpräparat wurde dann mit Blenden aus Messingblech bedeckt, die in der Mitte verschieden große, kreisförmige Öffnungen freiließen. Dadurch trat immer nur ein Bruchteil der zerfallenden Atome in Wirksamkeit, es wurde also  $Z$  variiert, und die Abhängigkeit der mittleren Schwankung von  $Z$  konnte festgestellt werden. Aus einer mit sechs verschiedenen Blenden angestellten Reihe von Messungen ergab sich, daß der Wert  $\bar{\varepsilon} \cdot \sqrt{Z}$  oder, da  $Z$  dem Sättigungsstrom  $i$  proportional ist, auch  $\bar{\varepsilon} \cdot \sqrt{i}$  konstant ist, was mit der

Schweidlerschen Theorie übereinstimmt. Die Schwankungen lassen sich vorausberechnen, wenn man an Stelle von  $Z$  in der Formel den Sättigungsstrom  $i$  einführt und diesen aus der Anzahl der gebildeten Ionen berechnet. Die Verf. nahmen nach Rutherford an, daß ein  $\alpha$ -Teilchen des Poloniums bei Absorption in Luft 94000 Ionenpaare erzeugt. Ist  $Z$  die in der Zeit  $\delta$  zerfallende Anzahl Atome, deren jedes ein  $\alpha$ -Teilchen aussendet,  $e$  die Ladung eines Ions, so wird  $i = Z \cdot 94000 \cdot e/\delta$ . Die hiernach berechneten Schwankungen waren etwas kleiner als die beobachteten. Doch ist die Kapazität des Elektrometers von großem Einfluß auf die Messungen; Verkleinerung der Kapazität vergrößert die beobachteten Schwankungen.

Mit einer etwas anderen Anordnung untersuchte H. GEIGER die Schwankungen der von Produkten des Radiums kommenden Strahlung<sup>1)</sup>. Der auf einem Draht gebildete aktive Niederschlag der Radiumemanation, der nur  $\alpha$ -Strahlen aussendet, ionisierte die Luft in zwei entgegengesetzt auf  $\pm 200$  Volt geladenen Gefäßen und erzeugte dadurch Ionisationsströme, deren Schwankungen wieder mit einem Elektrometer beobachtet wurden. Zum Vergleich wurde auch der von den  $\beta$ -Strahlen des Radiumbromids erzeugte Ionisationsstrom beobachtet. Der letztere zeigte fast gar keine Schwankungen, diese kommen also allein der Wirkung der  $\alpha$ -Strahlen zu. Die für verschiedene Strahlungsintensitäten gefundenen Ablenkungen der Elektrometernadel zeigten gute Übereinstimmungen zwischen Theorie und Beobachtung.

Die Größe  $Z$ , d. h. die Zahl der in einer bestimmten Zeit ausgesandten  $\alpha$ -Teilchen konnte von E. REGENER durch Auszählung direkt bestimmt werden<sup>2)</sup>. Dazu diente die von den  $\alpha$ -Teilchen auf Sidoblende erregte Szintillation. Als Strahlungsquelle diente Polonium, das auf einem Kupferscheibchen von 2 mm Dicke niedergeschlagen war. Dieses wurde auf einer Messingplatte befestigt, auf die, konzentrisch zum Präparat, Messingringe von variabler Höhe aufgesetzt wurden, die als Unterlage für den Leuchtschirm dienten. Dieser bestand aus einer Glasplatte, auf der Zinksulfid sehr dünn aufgetragen war, so daß das Glas durchsichtig blieb. Die Glasplatte wurde, mit der Schichtseite nach innen, auf die Messingringe aufgelegt; man beobachtete von der Rückseite,

<sup>1)</sup> Congrès international pour l'étude de la radiologie et de l'ionisation. Liège 1905.

<sup>2)</sup> Wien. Ber. 115 (2a), 673 (1906).

<sup>3)</sup> Verhandl. der Deutschen Phys. Ges. 10, 1 (1908).

<sup>1)</sup> Phil. Mag. 15, 539 (1908).

<sup>2)</sup> Verh. der Deutschen Phys. Ges. 10, 78 (1908).

durch das Glas hindurch. Zur Beobachtung diente ein Zeißches Mikroskop, dessen Objektiv 62-, dessen Okular 2 mal vergrößerte. In das Okular konnten Blenden eingelegt werden, die bewirkten, daß im Durchschnitt nicht mehr als ein Lichtpunkt in 1—2 Sekunden gezählt wurde. Die auf dem durch die Okularblende begrenzten Stück der Zinkblende gefundene Zahl der Lichtpunkte wurde benutzt zu der Ausrechnung, wieviel Lichtpunkte erzeugende  $\alpha$ -Teilchen im ganzen von dem Präparat ausgesandt wurden, wobei man annahm, daß die Teilchen sich gleichmäßig über eine Halbkugel, in deren Mitte das Präparat war, verteilen. Aus einer größeren Anzahl Messungen ergab sich, daß das Präparat pro Sekunde rund 1800  $\alpha$ -Teilchen aussandte. Berechnet man diese Zahl ebenso, wie oben ausgeführt, mit Hilfe des Sättigungsstroms, so erhält man unter der Annahme, daß das  $\alpha$ -Teilchen zwei Ladungen mit sich führt,  $Z = 2200$   $\alpha$ -Teilchen. Beim Durchgang der  $\alpha$ -Teilchen durch Metallfolie blieb ihre Zahl unverändert. Infolge der Schwankungen ist die Zahl der pro Sekunde aufblitzenden Lichtpunkte sehr verschieden. Die Schweidler'sche Beziehung  $\epsilon = 1/\sqrt{Z}$  ließ sich durch Zählung der Lichtpunkte bequem prüfen.

4. Radioaktivität der Erds substanz und der Atmosphäre. Eine Anzahl italienischer Forscher (SCARPA, ZAMBONINI, ROSSI) hat die Radioaktivität der Vesuvlava, namentlich in bezug auf ihre einzelnen Bestandteile, näher untersucht<sup>1)</sup>. Danach betrug die Radioaktivität der vulkanischen Produkte zwischen  $1/1000$  und  $0,5/10000$  derjenigen des Urans. Im allgemeinen schienen die älteren Produkte und die neulich ausgeworfenen Aschen und Lapilli aktiver zu sein als die Lava der letzten Ausbrüche. Von den einzelnen Bestandteilen war der Kotunnit am stärksten radioaktiv, nämlich 1,1 mal so stark wie das Uranylnitrat. Der Kotunnit enthält kein Radium, seine Aktivität scheint durch dessen Umwandlungsprodukte RaD, RaE, RaF veranlaßt zu sein.

Den Betrag an Radiumemanation in der Atmosphäre nahe der Erdoberfläche bestimmte A. S. EVE dadurch, daß er Luft durch Röhren, die mit Kokosnußholzkohle gefüllt war, hindurchleitete<sup>2)</sup>. Die von der

Kohle absorbierten Gase wurden durch Erhitzen entfernt und mit dem Elektroskop untersucht. Zum Vergleich wurde Luft, die eine bekannte Menge Emanation enthielt, ebenfalls durch die Kohle geleitet und untersucht. Vier zu verschiedenen Jahreszeiten bei Montreal angestellte Messungen ergaben, daß 1 ccm Luft nahe der Erdoberfläche eine Emanation von durchschnittlich  $80 \times 10^{-12}$  Gramm Radium enthielt. Die Emanation entstammt teils dem Erdboden, teils wohl auch beträchtlicheren Tiefen.

In dem meteorologischen Observatorium auf der Zugspitze hat J. JAUFMANN ein Jahr lang Untersuchungen über den Radioaktivitätsgehalt der Luft ausgeführt<sup>1)</sup>. Ein negativ geladener Bleidraht von 10 m Länge wurde stets zwei Stunden lang der Luft exponiert und dann auf seine Aktivität auf elektrischem Wege geprüft. Durch Messung der Halbwertzeiten wurde festgestellt, daß die induzierte Aktivität im wesentlichen durch Radiumemanation hervorgerufen ist; doch konnten auch kleine Beträge von Thorium- und Aktiniumemanation darunter sein. Die induzierte Aktivität nahm zu mit wachsendem Winde, besonders wenn er von Süden, von dem Hauptmassiv der Alpen her, wehte. Bei Nebelbildung sank die Aktivität auf ein Minimum, bei Auflösung des Nebels stieg sie wieder. Im allgemeinen nahm die Radioaktivität mit zunehmender relativer Feuchtigkeit ab, mit zunehmender Temperatur zu. Im Laufe des Tages stieg die Aktivität, nachts nahm sie bis zum Morgen ab. Niederschläge waren von einem Sinken der Aktivität begleitet.

Messungen der Radioaktivität der Luft auf offenem Meere, die C. RUNGE auf einer Fahrt von Hamburg nach Algier ausführte, ergaben nach der erhaltenen Zerfallsgeschwindigkeit der auf negativ geladenem Draht erzeugten induzierten Aktivität, daß diese weder vom Radium noch vom Thorium allein herrühren kann, sondern daß auf dem Meere noch eine andere Quelle der Radioaktivität vorhanden sein muß<sup>2)</sup>. Entsprechende auf dem Hainberge bei Göttingen angestellte Versuche ergaben dagegen eine Aktivität, die sich vollkommen durch Radium- und Thoriumemanation erklären ließ. Zu dem

<sup>1)</sup> Rend. R. Acc. dei Linc. 16, I. Sem., S. 44 und 975; II. Sem., S. 630 (1907); Beibl. 32, S. 541 bis 543 (1908).

<sup>2)</sup> Phil. Mag. 14, 724 (1907).

<sup>1)</sup> Meteorol. Zeitschr. XXIV 337; Naturwiss. Rdsch. XXII 648; 1907.

<sup>2)</sup> Nachr. d. Göttinger Ges. d. Wiss. 1907, S. 211. Naturw. Rdsch. 1908, S. 52.

gleichen Ergebnis führten von G. A. BLANC<sup>1)</sup> in der Atmosphäre von Rom angestellte Messungen.

Nach A. GOCKEL ist der Gehalt der Bodenluft an radioaktiver Emanation sowohl von den barometrischen Verhältnissen als auch von der Durchlässigkeit des Bodens abhängig<sup>2)</sup>. Mit fallendem Barometer steigt im allgemeinen der Emanationsgehalt, und umgekehrt. Feuchte Niederschläge aber führen auch bei steigendem Barometer eine Erhöhung des Emanationsgehaltes herbei; dagegen beeinflußt Schneefall den Emanationsgehalt nicht.

Nach W. W. STRONG sind die in der Luft enthaltenen radioaktiven Produkte auch Ursache der durchdringenden Strahlung, die in geschlossenen Gefäßen Ionisation erzeugt; diese Strahlung ist daher auch von den atmosphärischen Verhältnissen abhängig<sup>3)</sup>.

Eine ausführlichere Untersuchung über die Radioaktivität der Erds substanz und ihre mögliche Beziehung zur Erdwärme haben ELSTER und GEITEL angestellt<sup>4)</sup>. Nach ihren Berechnungen enthielt 1 g gewöhnliche Wolfenbütteler Gartenerde  $10^{-10}$  g Radium, 1 cbm solcher Erde (zu 2000 kg) etwa 0,2 mg Radium. Aus dem Wärmeleitungsvermögen der oberflächlichen Gesteine (etwa 0,006 Grammkalorien für 2 gegenüberliegende um 1° C. differierende Flächen eines Würfels von 1 cm) und dem Temperaturgefälle  $\tau$  in radialer Richtung (etwa  $\frac{1}{3000}^\circ$  für 1 cm) läßt sich die von der ganzen Erdoberfläche nach außen abströmende Wärmemenge

$$w = 4 \pi R^2 \cdot \lambda \cdot \tau$$

(Erdradius  $R = 637\,030\,000$  cm) berechnen. Setzt man die von 1 g Radium in 1 Sekunde entwickelte Wärme  $e = 0,0373$  Grammkalorien (nach Precht) und nimmt die ganze Erde als erfüllt von  $\rho$  Gramm Radium pro Kubikzentimeter an, so wird die innerhalb der ganzen Erde in 1 Sekunde entstehende Wärmemenge

$$w_1 = \frac{4}{3} \pi R^3 \cdot \rho \cdot e$$

Bei thermischem Gleichgewicht wird  $w_1 = w$ , d. h.  $\rho = 3 \tau \lambda / e \cdot R$  oder mit Einsetzung der Zahlenwerte  $\rho = 2,5 \cdot 10^{-13}$  g im Kubikzentimeter oder  $2,5 \cdot 10^{-4} = \frac{1}{4000}$  mg im Kubikmeter. Die oben gefundene Menge von 0,2 mg im Kubikmeter wäre dagegen 800mal so groß.

<sup>1)</sup> Phys. Ztschr. 9, 294 (1908).

<sup>2)</sup> Phys. Ztschr. 9, 304 (1908).

<sup>3)</sup> Phys. Ztschr. 9, 117 (1908).

<sup>4)</sup> Wissenschaftliche Beilage zum Jahresbericht des Herzogl. Gymnasiums zu Wolfenbüttel. 1907.

Zu einem ähnlichen Ergebnis war auch Strutt auf Grund des von ihm in Gesteinen gefundenen Radiumgehalts ( $\frac{1}{550}$  bis  $\frac{1}{40}$  mg im Kubikmeter) gelangt (diese Zeitschrift 19, 373); die Erwärmung wäre immer noch 7–100mal so groß, als es mit dem Wärmegleichgewicht der Erde verträglich ist. ELSTER und GEITEL kommen daher zu derselben Folgerung wie Strutt, daß das Radium sich nur in einer Schicht von bestimmter Dicke befinden kann, und berechnen diese Dicke zu  $d = 108$  km, die an ihrer inneren Grenze herrschende Temperatur zu  $\vartheta = 1800^\circ$ ; diese wäre zugleich die konstante Temperatur des inneren radiumfreien Kerns. Diese Ansicht über die Beschaffenheit der Erde würde übereinstimmen mit der Beobachtung, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erdbebenwellen auf große Entfernungen viel größer ist als auf geringe, woraus ebenfalls auf einen Erdkern von gleichförmiger Dichte und eine Hülle von  $d = \frac{1}{20}$  Erdradius mit anderen elastischen Eigenschaften zu schließen ist. Für eine genaue Bestimmung der Größen  $d$  und  $\vartheta$  ist die genaue Bestimmung des durchschnittlichen Radiumgehalts der Erdrinde von Bedeutung. Eve bestimmte diesen aus der Intensität der sehr durchdringenden  $\gamma$ -Strahlung in geschlossenen Gefäßen und fand  $1,1 \cdot 10^{-11}$  g Radium im Kubikzentimeter, eine Zahl, die mit den Strutt'schen Messungen in gutem Einklange steht. Schk.

**Fortschritte der Elektrochemie im Jahre 1907.** Die Zeiten, da der Elektrochemie der Löwenanteil an der physikalisch-chemischen Ausbeute eines Jahres zufiel, sind vorüber. Radiochemie und Kolloidchemie werden heute bevorzugt, und die Thermochemie hat neue Anregungen erhalten; dennoch ist, bei der erhöhten Produktionstätigkeit auf allen Gebieten, ein absolutes Nachlassen der elektrochemischen Forschung noch nicht zu verspüren. Nur hat sich das Arbeitsfeld mit der Zeit etwas verändert. Zur Elektronenforschung werden Fäden hinübergewoben, die nichtwässrigen Lösungen werden mehr als bisher systematisch durchforscht, auch wird die Elektrochemie noch mehr als früher zur Aufklärung der z. T. recht komplizierten Gleichgewichte zwischen Metallen und ihren verschiedenen Oxydationsstufen herangezogen.

Die Arbeiten, die sich mit den Grundlagen und Grundwerten der Elektrochemie befassen, haben an Zahl abgenommen. Daraus darf man nicht folgern, daß das Fundament in allen Teilen fest wie Granit ist. Die Frage,

warum die starken Elektrolyte dem Massenwirkungsgesetz nicht folgen, ist noch nicht entschieden. Mit anderen Worten: Berechnet man die Konzentration der Ionen eines gutleitenden binären Elektrolyten wie NaCl aus dem Leitvermögen oder der Gefrierpunktsniedrigung, so ist das Produkt aus der Konzentration seiner Kationen oder Anionen  $[Na^+] \times [Cl^-]$  nicht der Konzentration der undissoziierten Molekeln  $[NaCl]$  proportional, wie es die Theorie verlangt und wie es für alle schwachen Säuren und Basen auch stets gefunden ist. Die Ursache dieser Diskrepanz ist unbekannt. Nach KOHLRAUSCHS Ansicht kann das endgültige Wort über die Dissoziation der starken Elektrolyte, ihre Beweglichkeiten usw. erst gesprochen werden, wenn es glückt, Lösungen mit wirklich reinem Wasser herzustellen, nicht mit jener verdünnten Auflösung von Kohlensäure, Glasbestandteilen usw., die man „destilliertes Wasser“ nennt. Ganz reines Wasser haben bekanntlich KOHLRAUSCH und HEYDWEILLER vor Jahren einmal hergestellt, und sein Leitvermögen war etwa  $\frac{1}{25}$  von dem Leitvermögen des besten „destillierten Wassers für physikalische Zwecke“ (bei  $18^\circ$   $0,04 \times 10^{-6}$  statt  $1,0 \times 10^{-6}$ ). Da das Eigenleitvermögen des destillierten Wassers bei extrem verdünnten Lösungen stark mitspielt und nur unsicher zu eliminieren ist, so ist es schwer, die Grenzwerte der Ionenbeweglichkeiten festzustellen. K. DRUCKER-Leipzig<sup>1)</sup> nahm die für  $\frac{1}{10000}$  n. Lösungen beobachteten Werte des Leitvermögens als Grenzwerte an und berechnete die Beweglichkeiten der Ionen mit Hilfe von neuen zuverlässigen Daten über die relativen Anteile der Ionen am Stromtransport (HITTORFSche Überföhrungszahlen). Solche Werte haben im verflossenen Jahre DENISON und STEELE-Edinburgh<sup>2)</sup> und JAHN-Berlin<sup>3)</sup> veröffentlicht. Die aus JAHNS Nachlaß publizierte Arbeit ist ein Auszug aus mehreren Doktordissertationen, in denen die durch den Strom verursachten Konzentrationsverschiebungen analytisch mit großer Genauigkeit festgestellt wurden, während die englischen Forscher nach einer mehr physikalischen Methode arbeiteten, die jede zeitraubende Analyse umgeht, aber nur auf konzentriertere Lösungen anwendbar ist. Sie beobachteten mit Skala und Fernrohr die Verschiebungen der Grenzflächen mehrerer übereinander geschichteter Lösungen und leiteten aus diesen

<sup>1)</sup> Z. S. f. Elektroch. **13**, 81.

<sup>2)</sup> Z. S. f. phys. Ch. **57**, 110.

<sup>3)</sup> Dieselbe Z. S. **58**, 641.

Messungen die relativen oder bei Berücksichtigung der wirksamen Potentialdifferenzen die absoluten Beweglichkeiten der Ionen ab. Die chemisch-analytische und die physikalische Methode haben in dem gemeinsamen Konzentrationsgebiet zu den gleichen Werten geführt; doch kann man bei mehrwertigen Ionen, die eine Stufendissoziation erleiden, nur mit der chemischen Methode bis in das Gebiet der konstanten Überföhrungszahlen vordringen. Die JAHNSchen Zahlen bestätigen aufs neue die Erfahrung, daß sich die verschiedenen Ionengeschwindigkeiten mit steigender Temperatur auszugleichen streben, d. h. die Überföhrungszahlen sich allmählich dem Werte 0,5 nähern. — Diese neu bestimmten Überföhrungszahlen benutzen nun DRUCKER und in noch gründlicherer Weise KOHLRAUSCH<sup>1)</sup>, um die Ionenbeweglichkeiten zu berechnen. Wieder warnt KOHLRAUSCH die jüngere Generation davor, sich die Verhältnisse zu einfach vorzustellen. Die Grenzwerte des Leitvermögens sind bei  $\frac{1}{10000}$  n. Lösungen noch nicht erreicht, und für mehrwertige Ionen (wie Mg<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> usw.) stößt man selbst bei Benutzung der besten Experimentaldaten noch auf unlösbare Widersprüche; nur bei den Verbindungen der einwertigen Ionen untereinander ergibt sich ein klares Bild. KOHLRAUSCHS neue Tabelle der Ionenbeweglichkeiten dürfte für die nächste Zeit die Norm sein.

Diese Ionenbeweglichkeiten sind um so wichtiger, als sich die Anzeichen dafür mehren, daß tatsächlich auch bei starken Elektrolyten das Leitvermögen ein genaues Maß für die Dissoziation ist, daß aber das Massenwirkungsgesetz für sie nicht streng gilt. Zu demselben Schluß führen auch die im folgenden zu besprechenden Resultate von Messungen an nichtwässerigen Lösungen.

Sehr genaue Messungen der Gefrierpunktsniedrigungen von Alkalisalzen in verdünnten Lösungen sind aus JAHNS Nachlaß publiziert<sup>2)</sup>. Die Depressionen sind bei den verdünntesten Lösungen (bis  $\frac{1}{150}$  n. hinunter) thermoelektrisch, bei den konzentrierteren thermometrisch gemessen. Nur in den verdünntesten Lösungen gilt nach diesen Zahlen das einfache Massenwirkungsgesetz, in den konzentrierteren zieht JAHN die Wechselwirkungen zwischen den in der Lösung befindlichen Molekeln und Ionen in Rechnung und gelangt durch die Einsetzung zweier

<sup>1)</sup> Z. S. f. Elektroch. **13**, 333.

<sup>2)</sup> Z. S. f. phys. Ch. **59**, 31.

empirisch gefundener Zahlenkonstanten zu den gleichen Dissoziationskonstanten. Die JAHNSCHEN Messungen dürften die exaktesten sein, die überhaupt vorliegen, und jede Theorie der Gleichgewichte in verdünnten Lösungen der starken Elektrolyte, die etwa in der Zukunft noch aufgestellt wird, wird mit diesen Zahlen zu rechnen haben.

Eine bequeme und genaue Methode zur Bestimmung der Konzentration der H-Ionen einer Lösung hat W. FRAENKEL bei BREDIG in Heidelberg ausgearbeitet<sup>1)</sup>. Die Zersetzung des Diazoessigesters, die scharf als Reaktion erster Ordnung verläuft, wird durch Wasserstoff-Ionen katalytisch beschleunigt; die Reaktionsgeschwindigkeit ist also der Konzentration der H-Ionen proportional. Die Messung läuft auf eine volumetrische Bestimmung des bei der Zersetzung entwickelten Stickstoffs hinaus und ist bequemer und genauer als die so häufig benutzte Inversion des Rohrzuckers, die, wie sich neuerdings herausgestellt hat, ein weit komplizierterer Vorgang ist, als gemeinhin angenommen wird. Da man eine ganze Reihe von Reaktionen gefunden hat, die durch eine bestimmte Ionenart beschleunigt werden, und die man messend verfolgen kann, ist man in der Lage, die Gleichgewichte zwischen gewissen Ionen und den Einfluß der Lösungsmittel auf die Ionenkonzentration ohne ausschließliche Benutzung elektrochemischer Daten zu studieren.

Für Säuren und Basen kann man zu demselben Zweck eine kolorimetrische Untersuchung mit gewissen Indikatoren (wie Lackmus, Phenolphthalein oder Methylorange) benutzen, für welche SALM die den Farbumschlag herbeiführende H-Ionenkonzentration bestimmt hat<sup>2)</sup>. Je mehr Farbstufen ein Indikator zeigt, desto brauchbarer ist er für derartige Untersuchungen, während er für die Titrimetrie immer unbrauchbarer wird.

Die für Elektrochemie und Elektronenlehre gleich wichtige Frage, ob die elektrische Ladung pro Valenz (96540 oder nach anderen Angaben 96580 Coulomb pro Grammäquivalent) mit der Temperatur variiert, haben F. KOHLRAUSCH und R. H. WEBER<sup>3)</sup> auf die folgende elegante Weise gelöst: Elektrolysiert man eine Lösung in einem unten scharf gekühlten, oben erwärmten Rohr, so müssen an der Grenze zwischen Warm und Kalt Ionen frei werden, falls die Ladung eines Ions von der Temperatur

abhängt; man müßte also bei der Elektrolyse von Alkalisalzen eine Änderung der neutralen Reaktion, bei Jodiden eine Jodausscheidung bemerken. Diese Reaktionen lassen sich nun mit Indikatoren außerordentlich scharf nachweisen, und ihr gänzliches Ausbleiben bei Temperaturdifferenzen von 40–60° und einem Durchgang von ca. 700 Coulombs führte zu dem Schluß, daß die Änderung des elektrochemischen Äquivalentes pro Grad kleiner als  $1 \times 10^{-6}$ , beim Jodion sogar sicher kleiner als  $1 \times 10^{-7}$  ist.

Eine große Zahl von ertragreichen Untersuchungen ist im vergangenen Jahr über das elektrische Leitvermögen fester Stoffe veröffentlicht<sup>1)</sup>. Bisher huldigte man vielfach der einfachen Ansicht: die undurchsichtigen, elektropositiven festen Elemente (Metalle) leiten ohne Zersetzung, ihr Widerstand steigt mit der Temperatur, während die Verbindungen unter Zersetzung (elektrolytisch) leiten, ihr Leitvermögen nimmt mit steigender Temperatur zu. Nun ist verschiedentlich nachgewiesen worden, daß ein und derselbe Körper (wie  $\text{Ag}_2\text{S}$ ,  $\text{CuS}$ ) je nach der Temperatur elektrolytisch oder metallisch leitet. Auch der Temperaturgang des metallischen Leitvermögens ist weit komplizierter, als bisher angenommen wurde. Beim Graphit, Pyrit, Magnetit und Magnetkies hat man einen Umkehrpunkt gefunden, oberhalb dessen der Temperaturkoeffizient des Widerstandes positiv ist, und zwar ebenso groß wie bei den Metallen, unterhalb dessen er negativ ist. Auch die Metalle scheinen einen solchen Umkehrpunkt zu haben, wenn er auch meist bei schwer zugänglichen, tiefen Temperaturen liegt (für Pt bei ca.  $-260^\circ$ , für Au bei ca.  $-265^\circ$ ). Je mehr sich die Metalle den Metalloiden nähern, desto höher rückt der Umkehrpunkt. Vielleicht gibt es für jedes Element ein Gebiet der metallischen Leitung, in dem der Körper nach der Elektronentheorie undurchsichtig sein muß. Die alte CLAUSIUSsche Hypothese, daß der Widerstand eines Metalls der absoluten Temperatur proportional sei, gilt für kein Metall. Hingegen scheint sich eine von KOENIGSBERGER auf elektronentheoretischer Grundlage aufgestellte Formel für alle festen metallischen Leiter zu bewähren. Sie lautet:

$$w_t = w_0 (1 + \alpha t \pm \beta t^2) e^{-\frac{q}{273(273+t)}}$$

<sup>1)</sup> z. B. R. v. Haßlinger (Monatsh. f. Ch. 28, 173); J. Koenigsberger (Ber. d. D. phys. Ges. 5, 386); K. Baedeker (Ann. d. Phys. [4] 22, 749).

<sup>1)</sup> Z. S. f. phys. Ch. 60, 202.

<sup>2)</sup> Dieselbe Z. S. 57, 471.

<sup>3)</sup> Ber. d. D. phys. Ges. 5, 681.

Hierin bedeutet  $w_0$  den Widerstand beim Eispunkt,  $w_t$  den bei der Celsius-temperatur  $t^\circ$ ,  $\alpha$  ist etwa  $\frac{1}{273}$ ,  $\beta$  eine sehr kleine positive oder negative Größe (ganz wie bei den Metallen),  $q$  ist eine Dissoziationswärme, wobei nicht eine Dissoziation in entgegengesetzt geladene Ionen, sondern ein Abdissoziieren von (negativ geladenen) Elektronen gemeint ist. Diese Größe  $q$  bestimmt als die einzige individuelle Größe der Formel das Verhalten des Leiters. Außer bei Elementen hat die Formel bei kristallisierten Sulfiden und Oxyden Stich gehalten, vorausgesetzt, daß man zusammenhängende, homogene, namentlich vollkommen trockene Stücke untersuchte. Sulfate und andere ausgesprochene Salze scheinen auch im kristallisierten Zustand nur elektrolytisch zu leiten. Die geeignetste Probe auf das Fehlen jeder elektrolytischen Leitung ist die, daß man mit Gleich- und mit Wechselstrom denselben Widerstand findet, und ob in der Kette [Metall festes Salz dieses Metalls Pt oder Au] eine EMK bzw. beim Stromgeben eine Gegenkraft auftritt.

SKRAUPY hat nachgewiesen<sup>1)</sup>, daß für die Elektrizitätsleitung der meisten verdünnten Amalgame das Massenwirkungsgesetz gilt: auch hier handelt es sich um den Zerfall neutraler Molekeln in Ionen und Elektronen, von denen als Stromträger allerdings wohl nur die viel leichter beweglichen Elektronen in Frage kommen.

Unter den Arbeiten über die Eigenschaften nichtwässriger Lösungen, ein Gebiet, das seiner Schwierigkeiten wegen lange ein Stiefkind der Forscher war, stehen die Publikationen von P. WALDEN-Riga oben an. Er hat meist das Verhalten eines und desselben „Normalelektrolyten“, Tetraäthylammoniumjodid, studiert, aber in einer großen Zahl von möglichst verschieden konstituierten Lösungsmitteln, und hat dabei fast alle physikalischen Größen dieser Lösungen und Lösungsmittel bestimmt, die einer Bestimmung zugänglich sind. Die stattliche Reihe von Arbeiten, die sich durch Jahre hingezogen hat, scheint im vergangenen Jahre abgeschlossen zu sein<sup>2)</sup>. Aus dem überreichen Zahlenmaterial haben sich folgende wichtige Beziehungen ergeben: Von allen chemischen und physikalischen Eigenschaften geht allein die Dielektrizitätskonstante der ionisierenden Kraft eines Lösungsmittels parallel; dagegen ist der Grenzwert des Leitvermögens  $A_\infty$  in

seiner absoluten Größe von der Dielektrizitätskonstante gänzlich unabhängig. Dabei schwankt  $A_\infty$  für den Normalelektrolyten zwischen 8 und 225! Das Produkt aus dem Grenzwert des molekularen Leitvermögens und dem Temperaturkoeffizienten des Leitvermögens ist für alle Lösungsmittel etwa gleich groß. Ferner ist das Produkt aus  $A_\infty$  und der inneren Reibung des reinen Lösungsmittels für ein und denselben gelösten Stoff bei allen Temperaturen eine Konstante. Dieser wichtige Befund ist eine neue Stütze für die anfangs skeptisch aufgenommene Hypothese KOHLRAUSCHS, daß die Ionen nicht frei, sondern mit einer Hülle von Molekeln des Lösungsmittels wandern, so daß als Widerstand nur die Reibung von Molekeln des Lösungsmittels gegeneinander, keine spezifische „Ionenreibung“ in Frage kommt. Diese Hypothese, die nach WALDENS Befund auf alle Lösungsmittel, nicht nur auf Wasser, anzuwenden wäre, erklärt die auf den ersten Blick befremdende Erscheinung, daß die Beweglichkeiten von Ionen mit total verschiedenem Atomgewicht fast gleich sind, häufig sogar das schwerere Ion die größere Beweglichkeit besitzt. Nach KOHLRAUSCHS letzten Angaben (s. o.) gelten z. B. für Wasser von 18° folgende Werte: Li (Atomgew. 7) 33,4, Na (23) 43,5, K (39) 64,6, Rb (85,5) 67,5, Cs (133) 68, F (19) 46,6, Cl (35,5) 65,5, Br (80) 67,0, J (127) 66,5! Die Hydratation der Ionen, wie man diese Umhüllung allgemein nennt (auch „Solvation“ ist vorgeschlagen), dürfte der Schlüssel zu manchem Rätsel in der physikalischen Chemie der Lösungen sein. — Die Auflösung eines Salzes ist nach WALDEN ein höchst komplizierter Vorgang, da Lösungsmittel und gelöster Stoff teilweise aus hochpolymerisierten Molekeln bestehen, und der Assoziationsgrad beider reagierender Stoffe durch den Lösungsvorgang geändert wird, sowie ferner „Hydrate“ oder „Solvate“ entstehen. Die Löslichkeit hängt von der Polymerisation und der Dielektrizitätskonstante des Lösungsmittels und von der Ionisierbarkeit und Hydratisierbarkeit des zu lösenden Körpers ab. Die OH-haltigen Lösungsmittel sind am stärksten polymerisiert, lösen also am meisten, und bei ihnen steigt die Löslichkeit mit der Temperatur am stärksten an. Die gesättigten Lösungen eines und desselben Elektrolyten in verschiedenen Lösungsmitteln sind fast gleich stark dissoziiert, was sich auch aus einfachen theoretischen Überlegungen als erforderlich ergibt. Die bekannten Beziehungen zwischen dem Temperaturgang

<sup>1)</sup> F. Skraupy, Z. S. f. phys. Ch. 58, 560.

<sup>2)</sup> Z. S. f. phys. Ch. 58, 479; 59, 192; 60, 87.

der Löslichkeit und dem Vorzeichen und der Größe der Lösungswärme gelten nicht nur für Wasser, sondern für alle Lösungsmittel. Die Dissoziationswärmen, die bald positiv, bald negativ sind, sind vom Lösungsmittel unabhängig, vorausgesetzt, daß der Elektrolyt in allen Lösungsmitteln dasselbe Molekulargewicht hat und dieselben Ionen liefert. Die häufig beobachteten Anomalien im molekularen Brechungsvermögen der gelösten Körper verschwinden nicht ganz, wenn man die elektrolytische Dissoziation in Rechnung zieht. Hingegen sind die Dichteänderungen der Lösungen beim Verdünnen aus den Änderungen der Ionisation leicht zu erklären: die Molekel jedes gelösten binären Salzes erzeugt in jedem Lösungsmittel bei ihrer vollständigen Dissoziation eine Kontraktion („Elektrostriktion“) von 13–14 ccm.

So klärt sich bei systematischer Untersuchung das Gebiet der nichtwässrigen Lösungen allmählich auf und läßt dieselben Gesetzmäßigkeiten erkennen wie in den so emsig untersuchten wässrigen Lösungen. Das Ineinandergreifen der drei Vorgänge: Polymerisation und Depolymerisation, Ionisation, Hydratation führt mitunter zu Komplikationen. Aber die elektrolytische Dissoziationstheorie, der die Gegner ein Scheitern an den vielen Klippen dieses Gebietes prophezeit hatten, hat sich als ein sicherer Lotse bewährt. Das andere Hauptergebnis ist, daß man sich wieder daran gewöhnt, die Auflösung nicht als einen rein mechanisch-physikalischen Vorgang anzusehen, sondern als einen Prozeß, bei dem komplizierte chemische Vorgänge mitspielen.

Neben dem imposanten Zyklus von WALDENS Arbeiten treten die übrigen sehr zahlreichen Arbeiten über die Elektrochemie nichtwässriger Lösungen mehr zurück. Der Zusammenhang zwischen Leitvermögen und Viskosität hat sich auch in Mischungen zweier Lösungsmittel gezeigt. Ein mitunter auftretendes Maximum des Leitvermögens wurde durch Änderungen in der Hülle um die Ionen erklärt (H. C. JONES, BINGHAM und McMASTER<sup>1)</sup>). Bestimmungen der Überführungszahlen verschiedener Elektrolyte in Wasser-Alkoholgemischen (JAHN s. o.) zeigten, daß die relativen Wanderungs-Geschwindigkeiten der Ionen erst in höheren Verdünnungen ihre Grenzwerte erreichen als in reinem Wasser,

und die Grenzwerte selbst etwas andere sind als in rein wässrigen Lösungen.

Auf die sehr zahlreichen Arbeiten, welche komplizierte Polarisationserscheinungen, technisch-analytische oder -präparative Verfahren behandeln, kann hier nicht eingegangen werden. Nur einige ausgewählte anorganisch-elektrochemische Arbeiten, die ein allgemeineres Interesse haben, mögen kurz behandelt werden. O. WEIGEL<sup>1)</sup> hat die Löslichkeit von natürlichen und künstlichen Schwermetallsulfiden (Kiesen und Blenden) mittels des Leitvermögens untersucht. Es ergab sich, daß die Sulfide vollständig hydrolysiert sind, so daß als Stromträger nur das Schwermetallkation und OH' in Frage kommen. Mehrfach ließ sich die langsame Umwandlung der bei der Fällung zuerst entstehenden löslicheren, labilen Form in die kristallisierte, stabile, unlöslichere verfolgen. Die Reihenfolge der Löslichkeiten stimmt mit der schon früher aus ihrem analytischen Verhalten geschlossenen überein. Das Interessanteste ist, daß die Leitvermögensdaten ganz ähnliche Löslichkeiten ergaben als ultramikroskopische Bestimmungen!

Die Schwierigkeiten, welche sich einer Einigung über die Grundwerte der elektrolytischen Potentiale bisher entgegengestellt haben, sind durch einige Präzisionsarbeiten des letzten Jahres verringert worden. So hat W. PALMAER<sup>2)</sup> mit Hilfe von Tropfelektroden den Potentialsprung zwischen 0,1 n. KCl (+ Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>) und Quecksilber bis auf wenige Zehntelmillivolt genau bestimmt (– 0,5732 Volt bei 18°), und haben R. LORENZ und A. MOHN<sup>3)</sup> das Potential einer Wasserstoffelektrode von 1 Atm. Druck an platinierter Pt in Wasser gegen die Dezinormalelektrode zu – 0,75 Volt gemessen.

WERNER VON BOLTON<sup>4)</sup>, der Darsteller der Tantallampe, hat sich weiter mit „Tantalus' Geschlecht“ beschäftigt und (zum ersten Mal!) reines Niob dargestellt, sowohl durch Wechselstromelektrolyse von Tetroxyd im Vakuum als auch im Flambogen des elektrischen Vakuums aus einer nach dem Thermitverfahren erhaltenen Legierung mit Al. Das Niob ähnelt dem Tantal in vielen Stücken, auch darin, daß man es mit einer Pt-Elektrode kombiniert als Wechselstromgleichrichter benutzen kann.

W. Roth, Greifswald.

<sup>1)</sup> Z. S. f. phys. Ch. 57, 193, 257.

<sup>1)</sup> Z. S. f. phys. Ch. 58, 293.

<sup>2)</sup> Dieselbe Z. S. 59, 129.

<sup>3)</sup> Dieselbe Z. S. 60, 422.

<sup>4)</sup> Z. S. f. Elektroch. 13, 145.



#### 4. Unterricht und Methode.

**Der naturwissenschaftliche Unterricht auf praktisch-heuristischer Grundlage.** Von Dr. FRIEDRICH DANNEMANN<sup>1)</sup>. Unter praktisch-heuristischem Verfahren versteht der Verfasser ein Unterrichtsverfahren, das von Anfang an auf die experimentelle Betätigung der Schüler selbst gegründet ist, und bei dem die Schüler dazu angehalten werden, möglichst selbständig Beobachtungen anzustellen und Schlüsse daraus zu ziehen. Er kennzeichnet in einem einleitenden Abschnitt (S. 1 bis 51) die Entwicklung und die Grundzüge dieses Verfahrens und gibt dann eine Reihe von Einzelanwendungen an, die sich auf Physik, Chemie, Mineralogie, Geologie, Astronomie und Biologie erstrecken. Er will die praktischen Übungen durchaus eng mit dem Unterricht verknüpft sehen und befürwortet, daß diese auch auf der Unterstufe, und zwar der Regel nach „in gleicher Front“ ausgeführt werden. Als Beispiele werden Versuche zur Reflexion und Brechung des Lichts (Stecknadelversuche), freier Fall, Pendelversuche und Versuche aus der Wärmelehre näher besprochen. Von messenden Versuchen aus der Akustik, dem Magnetismus und der Elektrizität glaubt der Verfasser für die Unterstufe absehen zu sollen. Für die Oberstufe empfiehlt er teils Versuche in gleicher Front, teils aber auch Gruppenversuche und Einzelversuche. Ja er geht so weit, auch zusammenhängende, den augenblicklichen Stand und die Entwicklung der Wissenschaft berücksichtigende Experimentaluntersuchungen zu befürworten, wenn auch nicht für alle Schüler, so doch für die besonders dafür geeigneten. Hier liegt allerdings die Gefahr nahe, daß dem Schüler eine über den Standpunkt der Schule hinausgehende Leistung zugemutet wird; es dürfte wohl ratsam sein, lieber eine Wiederholung von historisch bedeutsamen Experimentaluntersuchungen (z. B. die Mellonischen über strahlende Wärme) mit gewissen durch die neuere Experimentalkunst dargebotenen Vereinfachungen ausführen zu lassen. Daß bei den Versuchen der Oberstufe auch die funktionalen Beziehungen stark betont werden sollten, darin schließt der Verfasser sich den Forderungen der Unterrichtskommission der Naturforscher und Ärzte an. Im übrigen bezeichnet er seine Vorschläge für die Oberstufe selbst nur als

vorläufige, so daß eine eingehendere Diskussion nicht am Platze ist; sie gehen zum Teil, z. B. in der Optik, über die Grenze hinaus, die der Verf. selbst an anderer Stelle (S. 82) eingehalten sehen möchte. Angesichts des beständig wachsenden Umfangs der Wissenschaft wird eine Ausscheidung ganzer Gebiete immer mehr notwendig, wenn nicht eine Überlastung mit Wissensstoff eintreten soll. Mit Recht sagt der Verf. selbst: „Die Hauptsache bleibt, daß die Schüler der Oberstufe nicht alles gehabt haben, sondern daß ihnen eine Ahnung von dem Reichtum und der Tiefe der Wissenschaft aufgeht, und daß in ihnen der Trieb nach Erkenntnis durch erste wissenschaftliche Arbeit entfacht wird.“

Die reiche Literatur über Schülerübungen hat der Verf. in recht ausgiebigem Maße benutzt und berücksichtigt. Er erkennt auch die hohen Verdienste an, die sich K. NOACK und B. SCHWALBE um diese Sache erworben haben. Dagegen wird er den Bemühungen von H. HAHN nicht gerecht. HAHN hat bereits 1903 auf der Pflingstversammlung zu Breslau über Schülerübungen gesprochen und auf Grund eigener Erfahrungen die Übungen in gleicher Front empfohlen. Der Vortrag wurde 1904 gedruckt, das betreffende Sonderheft der Zeitschrift trägt die Jahreszahl 1905 und der ganze Band der Abhandlungen zur Didaktik usw. die Jahreszahl 1906. Dies darf aber nicht hindern, die Priorität HAHNS unumwunden anzuerkennen. DANNEMANN gibt ferner auch nicht an, daß die „Stecknadelversuche“ zur Optik bereits von HAHN in ds. Zeitschr. (17, 73; 1904) beschrieben sind, und verweist statt dessen auf seine demnächst erscheinende Naturlehre als Quelle! Da er aber doch den Mechaniker der Alten Urania in Berlin als Verfertiger der versilberten Glasstreifen nennt, dürfte ihm der wahre Sachverhalt nicht unbekannt geblieben sein. Auch bezüglich der mustergültigen Einrichtungen für Schülerübungen in der Alten Urania wäre zu sagen gewesen, daß die dort befindlichen Apparate für Schülerübungen nicht nach Angabe der Leiter der Kurse, sondern nach Angabe von H. HAHN größtenteils neu geschaffen worden sind. Die auf S. 68 erwähnte optische Bank wird von dem Mechaniker der Alten Urania angefertigt, ist aber von HAHN angegeben; die Bank kostet auch nicht 20 M, sondern 5 M; der Preis der gesamten optischen Ausrüstung nach HAHN beträgt gegen 20 M (ds. Ztschr. 17, 86). Solche

<sup>1)</sup> XII und 366 S. Hannover und Leipzig, Hahnsche Buchhandlung, 1907. M 6,—.

Ungenauigkeiten mögen z. T. auf die rasche Herstellung des Buchs zurückzuführen sein; so ist auch irrtümlich auf S. 54 angegeben, daß das Schäffermuseum vom preußischen Staat angekauft und in der Alten Urania untergebracht sei. — An dem Schlusse des Abschnitts über Physik sind etwas zusammenhanglos Einzelbemerkungen zum physikalischen Unterricht zusammengestellt, aus denen nur herausgehoben sei, daß der Verfasser es mißbilligt, in der Elektrizitätslehre den Potentialbegriff von vorneherein an den Anfang der Entwicklungen zu stellen (vgl. H. Kleinpeter, ds. Zeitschr. 1901, S. 154).

Die Abschnitte über Chemie, Mineralogie und Geologie werden an anderer Stelle besprochen werden; der Abschnitt über Astronomie (S. 162—176) enthält treffliche Ratschläge und Fingerzeige. Aus dem Abschnitt über Biologie sei erwähnt, daß der Verf. gerade diesen Gegenstand vorwiegend in der Form praktischer Übungen betrieben sehen will; er fordert zugleich, daß die Biologie ebenso wie Deutsch, Geschichte, Religion einen unbedingt für alle Schüler verbindlichen Unterrichtsgegenstand bilden müsse, und erklärt sich gegen die Anweisung der preußischen Lehrpläne, gegebenenfalls einen Teil der Physikstunden auf der Oberstufe für einen biologischen Kursus zu verwenden.

Ein weiterer Abschnitt (C) über die erforderlichen Räume und deren Ausstattung (S. 229—241) enthält zumeist anderweitig schon Bekanntgewordenes und teilt auch einiges über die Einrichtungen an der Realschule zu Barmen mit.

Ein Abschnitt (D) behandelt die Lehrbuchfrage (S. 242—248). DANNEMANN wendet sich gegen den Ausspruch: Das Lehrbuch ist nicht dazu da, damit danach unterrichtet wird (vgl. ds. Zeitschr. 14, 310); er verkennt aber, daß dieser Ausspruch sich gegen einen offenkundigen Mißstand im Unterrichtsbetrieb richtet, nämlich den, daß das Lehrbuch nicht selten an die Stelle des Experimentalunterrichts gesetzt wird. Da der Ausspruch im übrigen das Lehrbuch bestehen läßt, so wird auch eine der Hauptfunktionen des Lehrbuchs, die Einheit im Unterricht herzustellen, dadurch nicht angefochten. In betreff des Lehrtextes gibt der Verfasser einer ausführlicheren Fassung den Vorzug und wünscht namentlich, daß künftighin stets auch Bezug auf die praktischen Übungen genommen werde. Er hat selbst in seiner im Erscheinen begriffenen Naturlehre für Realschulen und die mittleren Klassen der Vollanstalten einen Versuch in

dieser Richtung gemacht. Doch bleibt es fraglich, ob dadurch nicht der Unterrichtsbetrieb zu sehr eingeeengt und auf einseitige Geleise gelenkt wird.

Über die Vorbildung der Lehrer stellt der Verfasser in Abschnitt D (S. 249 bis 275) Forderungen auf, die sich im wesentlichen mit den Forderungen der Unterrichts-Kommission der Naturforscher und Ärzte decken. Er weicht von diesen hauptsächlich darin ab, daß er die Verbindung von Physik, Chemie, Biologie usw. zu einer naturwissenschaftlichen Gesamtfakultas für erstrebenswert hält. Ref. hat selbst die gleiche Forderung in der Unterrichts-Kommission vertreten und schätzt den Wert einer solchen auch durch Personalunion verkörperten Einheit des naturwissenschaftlichen Unterrichts überaus hoch; doch scheinen die inneren und äußeren Schwierigkeiten, die der Verwirklichung dieses Ideals entgegenstehen, sehr groß zu sein, so daß eine Vereinigung jener Fächer nicht wohl zum Prinzip einer Neugestaltung der Oberlehrerprüfung gemacht werden kann. Als zulässig und wünschenswert sollte aber eine solche Kombination auf jeden Fall angesehen werden.

In Abschnitt E (S. 276—301) erörtert der Verf. das geschichtliche Element im naturwissenschaftlichen Unterricht und empfiehlt u. a., geeignete Abschnitte aus den Werken großer Forscher vorzulesen oder vorlesen zu lassen und dabei Erläuterungen und Besprechungen einzuflechten. Ohne den Wert solcher Lektüre gering zu schätzen, wird man doch bezweifeln dürfen, ob es richtig ist, die zur Verfügung stehende Zeit auch hierfür in Anspruch zu nehmen, und ob es nicht ratsamer ist, die Privattätigkeit der Schüler auf dieses Gebiet hinzulenken. Eine Kontrolle durch Erstattung kurzer Berichte, wobei auch etwaige Schwierigkeiten zur Sprache kommen könnten, wird zweckmäßig anzuordnen sein. Auch die Schülervereine wird man für diese Seite des Gegenstands besonders leicht interessieren können.

Im letzten Abschnitt F (S. 302—328) bringt der Verfasser noch weitere Gesichtspunkte für die Ausgestaltung des naturwissenschaftlichen Unterrichts zur Sprache. Die Frage der Gymnasialreform wird gestreift und die Vermehrung der naturwissenschaftlichen Stunden als notwendig bezeichnet; daß aber mit einer Mehrstunde in den Oberklassen schon ein befriedigender Zustand geschaffen wäre, ist nicht zutreffend; vielmehr müssen, wenn neben Physik auch

Chemie und Biologie zu ihrem Recht kommen sollen, zwei Stunden als das Minimum angesehen werden. In bezug auf die Anordnung des Lehrstoffs vertritt der Verfasser den Gedanken einer Konzentration, derart, daß vielerlei Disziplinen nicht nebeneinander, sondern, wenn möglich, nacheinander zu behandeln seien. Was hier nur für den Unterricht innerhalb einer Klassenstufe gewünscht wird, wäre aber auch für die Verteilung des gesamten Stoffes über eine Reihe von Klassen am Platze; es wäre wohl der Überlegung wert, wie weit das österreichische Vorbild

des Wechselbetriebes bei uns nachgeahmt zu werden verdiente. Es wird ferner der Wert von Vorträgen und Ausarbeitungen hervorgehoben und gelegentlich der philosophischen Seite des Gegenstandes vor irrtümlichen oder einseitigen Auffassungen des Induktionsverfahrens gewarnt. Hierzu finden sich treffliche und beachtenswerte Bemerkungen, auf die hier nur hingewiesen werden kann.

In einem Anhang (S. 329–360) sind Lehrpläne, Thesen, Reformvorschläge aus den letzten Jahren übersichtlich zusammengestellt.  
P.

### 5. Technik und mechanische Praxis.

**Die Farbenphotographie, ihre Entwicklung und gegenwärtige Ausbildung.** Die Erscheinungen der Farbenblindheit haben bekanntlich zu der Annahme geführt, daß die Farbwahrnehmung auf drei Grundempfindungen beruht, aus deren mannigfacher Mischung alle anderen Farben und Farbtöne hervorgehen. Nach der im Anfange des 19. Jahrhunderts aufgestellten, nachmals erweiterten YOUNG-HELMHOLTZschen Theorie sind die licht- und farbenempfindlichen Organe der Netzhaut selbst von dreierlei Art, und zwar vermittelt jede die Empfindung nur einer der drei Farben Rot, Grün, Blau.

Entsprechend dieser Theorie würden wir zu richtig farbigen photographischen Bildern gelangen können, wenn wir 1. das vom Gegenstand kommende Licht in die drei Grundfarben zerlegen, 2. die Intensitätsverteilung jeder dieser drei photographisch festhalten, 3. endlich wieder Licht in diesen drei Farben, für jede gesondert, richtig abzustufen und dieses dann zu einem Bilde zu vereinigen vermöchten, wobei dann jeder Bildpunkt genau dieselbe Mischung erhielte, die der entsprechende Punkt des Originalen ausgesandt hatte; dies ist aber nichts anderes als das Prinzip der Dreifarbenprojektion, deren Erfinder J. C. MAXWELL ist, welcher anlässlich eines Vortrages am 17. Mai 1861 bezügliche Versuche ausführte unter Verwendung teils zeichnerisch, teils photographisch hergestellter Bilder, in betreff der letzteren aber auf den Mangel hinwies, der in der ungleichen Empfindlichkeit der damals benutzten photographischen Substanzen gegen die verschiedenen Farben lag. Das Verfahren besteht, dem Gesagten entsprechend, 1. in der Herstellung dreier Aufnahmen für bzw. Grün, Rot, Blau, wobei jeweils durch Anwendung geeigneter Farbgläser oder -lösungen,

sog. Lichtfilter, eine dieser drei Farben isoliert wird, 2. in der Herstellung schwarzer Diapositive nach den so erhaltenen Negativen, 3. in der Projektion der drei Teilbilder mittelst durch ebensolche Filter gefärbten Lichtes in genau gleicher Größe und genau übereinander.

Wie schon gesagt, bedarf man dazu Substanzen, die ebenso empfindlich für Grün und Rot sind wie die üblichen für Blau. Aber erst H. W. VOGEL in Berlin bemerkte 1873, daß gewisse Plattensorten der englischen Firma WORTLEY, die einen gelbroten Farbstoff enthielten, besonders stark grünempfindlich waren; infolge weiterer Untersuchungen gelangte dann VOGEL rasch zur Erfindung der optischen Sensibilisatoren, welche eine farntonrichtige und damit erst eigentlich brauchbare Dreifarbenphotographie ermöglichten. 1882 gelang es, das bisher nur für Kollodiumplatten brauchbare Verfahren auch auf Bromsilbergelatinetrockenplatten zu übertragen. Da bei jeder der monochromatischen Teilaufnahmen nur ungefähr  $\frac{1}{3}$  der Gesamtstrahlung des Objektes zur Wirkung kommt, so erforderte *et. par.* eine solche Gesamtaufnahme rund mindestens die neunfache Zeit einer gewöhnlichen Aufnahme; eine weitere Expositionsverlängerung wurde durch die geringere Lichtempfindlichkeit der sensibilisierten Platten bedingt. Gegenwärtig gestatten jedoch die für alle Farben ziemlich gleichempfindlichen *panchromatischen* Platten (MÉTÈRE 1903, Sensibilisatoren: Isocyaningruppe, Äthylrot) relativ kurze Expositionszeiten.

Für das Projektionsverfahren benutzt man als Filter zur Färbung des Lichtes zweckmäßig nicht Gläser, wegen der Schwierigkeiten, diese in der richtigen Tönung, völlig homogen, und in stets gleicher Beschaffenheit

herzustellen, sondern Gelatinefolien oder zwischen dünne Spiegelglasplatten eingebettete Gelatineschichten. Der wichtigste Fortschritt geschah 1888 durch FRED. EUG. IVES in Philadelphia, der in seinem Photochromoskop das erste wirklich schöne Resultate gebende Instrument für diese Art der Dreifarbenbilderzeugung lieferte; dieses besteht in seiner einfachsten Form aus einem Kasten, der in der Mitte zwischen zwei runden Öffnungen zwei unter  $45^\circ$  gegen den Strahlengang in der Wagerechten und unter  $90^\circ$  gegeneinander geneigte planparallele Glasplatten enthält, die je einen Teil des aus dem Kondensator kommenden Lichtes nach rechts und links ablenken, den Rest durchlassen; die abgelenkten Strahlenbündel werden durch zwei Spiegel einander und dem Restbündel parallel gemacht, und alle drei passieren dann drei nebeneinanderliegende identische Objektive, in welche die Farbenfilter eingesetzt sind. Dieses Spiegelprinzip eignet sich besonders für Apparate zur subjektiven Betrachtung solcher Bilder, wobei der Strahlengang umgekehrt ist, insofern das betrachtende Auge sich da befinden muß, wo im vorbeschriebenen Apparat das ungeteilte Strahlenbündel eintritt; für objektive Darstellung eignet sich besser der Dreifarbenprojektionsapparat, der aus drei identischen konstruktiv fest miteinander verbundenen Einfachapparaten besteht, und um dessen Weiterbildung sich besonders MIETHE verdient gemacht hat; der nach seinen Angaben von der OPTISCHEN ANSTALT C. P. GOERZ & Co. in Friedenau für die Weltausstellung in St. Louis 1904 hergestellte Apparat dürfte wohl das bisher Vollkommenste dieser Art sein; er besteht aus einer dreiräumigen Stahlblechkamera mit drei Handbogenlampen, einem jene tragenden, mit drei parallelen Gleitbahnen und drei Stellschrauben versehenen Gestelle, einem Wasserkasten zur Absorption der Wärmestrahlen, drei Schlitten, die drei Objektive tragend, mit Mikrometerschrauben zur Feineinstellung in der Strahlrichtung, die beiden äußeren mit ebensolchen senkrecht dazu. Die Bilder werden, wie sie zusammengehören, zu je dreien unter Zuhilfenahme eines besonderen Justierapparates den jeweiligen Verhältnissen entsprechend in Aluminiumrahmen befestigt, so daß sie, mit diesem richtig in den Projektionsapparat gebracht, auf dem Schirme sich genau decken, und daß der Bildwechsel als bloßer Rahmentausch ebenso einfach ist wie bei der gewöhnlichen Projektion. Zur

Erläuterung der Mischfarbenbildung kann der folgende hübsche Versuch dienen: Man grenzt ein blaues, ein grünes und ein rotes Lichtbündel durch je eine der drei Schablonen, Fig. 1, ab und läßt die entstehenden einfarbigen Figuren auf dem Schirm nach Fig. 2 übereinander fallen, dann zeigen die Zacken des entstehenden Sternes die Grundfarben, die Mitte Weiß, die Zwickel die Mischfarben. Man hat in gleicher Weise auch gelegentlich schon farbige Kinematogramme vorgeführt, doch ist die nötige Apparatur sehr verwickelt.

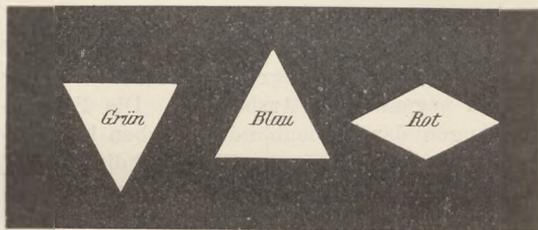


Fig. 1.

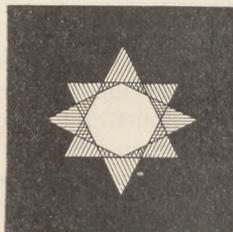


Fig. 2.

Die so erhaltenen, allerdings wunderbaren Bilder sind nun aber, weil rein optisch erzeugt, zu vergänglich, es sind Erscheinungen, keine realen Dinge; so entstand die Frage, wie auf Grund von Dreifarbenaufnahmen reelle, gegenständliche Bilder erzeugt werden könnten. Von hier in Frage kommenden Vervielfältigungsverfahren sind zu nennen: der Farbedruck (SCHÖFFER 1457), als Dreifarbedruck zuerst versucht von J. CHR. LE BLON 1722 bis 1741 in London und Paris, Kupferdruck, Lithographie usw. Beim Dreifarbedruck liegen nun die Verhältnisse wesentlich anders als bei der Projektion; letztere erzeugt die Farben *additiv*, bei gedruckten, also auf einer weißen Fläche aufliegenden undurchsichtigen Bildern erscheint jede Stelle in der Farbe, welche die Farbschicht von dem vom weißen Grunde reflektierten Lichte übrig läßt, also, wenn eine grüne und eine blaue Schicht

übereinander liegen, in *Weiß minus Grün* = *Orange*, d. h. die Farben kommen *subtraktiv* zustande. Die Verhältnisse beim Dreifarben- druck sind also wesentlich andere und, wie gleich gezeigt werden wird, recht verwickelte.

Bei der Farbenempfindung ist physikalisch dreierlei zu unterscheiden: 1. der Farbent- on, 2. die Helligkeit oder Intensität, 3. die Sättigung, deren Verschiedenheit die Nuance bedingt, und die um so größer ist, je monochromatischer die betr. Strahlung ist. Bei Farbstoffen oder farbigen Körpern wird Helligkeit und Sättigung beeinflusst durch Anwesenheit von Schwarz und Weiß, indem z. B. beigemengtes Weiß Nuance und relative Intensität verändert: Blau  $\rightarrow$  Hellblau. Ein Farbstoff erscheint nun stets komplementär zu dem von ihm absorbierten Licht. Welcher Art letzteres ist, erkennt man aus dem durch Zerlegung des durch den zu untersuchen- den Körper hindurchgegangenen Lichtes er- haltenen Absorptionsspektrum, in welchem Lücken: Absorptionsbanden oder Linien, auf- treten; es gelten nun folgende Sätze:

a) Die relativ reinste Farbe hat ein Pigment, dessen Reflexion ein Spektralgebiet betrifft, das etwas kleiner als die Entfernung zweier Komplementärfarben ist;

b) Bei kleinerer Reflexionszone tritt schwärzliche, bei größerer weißliche Nuancie- rung auf.

Man unterscheidet dementsprechend schmalbandige und breitbandige Farb- stoffe; erstere, meist organisch, zeigen leuchtende, letztere, hauptsächlich mine- ralisch, mattere Farben; ferner sind schmal- bandige Farbstoffe lichtunecht, breitbandige, also auch breitbandige organische, lichteht. Nun ist die Zahl verfügbarer Farbstoffe sehr groß, alle haben verschiedene Spektren, des- halb kann man nicht ohne weiteres drei in den angegebenen Grundfarben nach Belieben zusammenstellen, sondern muß die Misch- verhältnisse besonders untersuchen und be- dient sich dazu des Farbenkreisels; zu dem Zweck werden auf kreisförmige mit weißem Papier bezogene Pappscheiben von ca. 20 cm Durchmesser einzeln die zu untersuchenden Farben aufgetragen, dann je zwei der sämtlich einen radialen Schlitz besitzenden Scheiben mit den auf Mischungseffekt zu untersuchenden Farben ineinandergesteckt und auf der Kreiselachse befestigt, auf ihnen aber noch ein zweites in gleicher Weise ein- gerichtetes Scheibenpaar vom halben Radius mit Schwarz und Weiß. Je nachdem man nun die Schlitze eines Paares Winkel von

$0 \div 360^\circ$  miteinander bilden läßt, kann man von der einen Farbe über alle möglichen Mischungsverhältnisse, bestimmt durch die relative Größe der Sektoren, zur anderen übergehen und bei der geschilderten An- ordnung durch passende Einstellung beider Scheibenpaare es erreichen, daß die ganze Fläche gleichmäßig grau erscheint. Mißt man dann die Größe der Sektoren in Graden, und ermittelt daraus für jedes Paar das Prozentverhältnis, so erhält man eine Farben- gleichung, z. B.

$$0,36 \text{ Chromgelb} + 0,62 \text{ Ultramarin} \\ = 0,41 \text{ Weiß} + 0,59 \text{ Schwarz.}$$

Die Mischung ist hier auch eine additive wie bei der früher beschriebenen Projektion, und es gilt der Satz: „Gleich aussehende Farben geben gleich aussehende Mischun- gen“; der Kreisel ist trotzdem ein wichtiges Hilfsmittel. Die Absorption einer Farbstoff- mischung ist gleich der Summe der Absorp- tionen der Komponenten, wenn darunter der Absorptionsbereich im Spektrum verstanden wird; haben wir zwei schmalbandige komplementäre Farbstoffe, so kollidieren ihre Ab- sorptionsbänder nicht, der Farbenton der Mischung entspricht vollkommen dem bei Vereinigung gleicher farbiger Lichter ent- stehenden, und man darf deshalb ihre Mischungsverhältnisse mit dem Farbenkreisel untersuchen. Wesentlich anders ist es aber bei breitbandigen Stoffen; hier tritt leicht ein teilweises Einanderüberdecken der Ab- sorptionsbänder und infolgedessen, je aus- geprägter dieses und je breiter die Bänder an sich, Schwärzlichkeit der resultierenden Farbe ein. Mischen wir z. B. Ultramarin und Zinnober miteinander, deren ersteres Absorption im ganzen sichtbaren Gebiet mit Maximis bei *A*, hinter *D* und im Ultraviolett besitzt, während Zinnober ein Band von  $\sim C^{1/2}D$  bis ins Ultraviolett mit breitem Maximum um *F* hat, so erhält man braun, am Farbenkreisel geben beide dagegen violett. Bei beiden Gruppen von Farb- stoffen, den breitbandigen wie den schmal- bandigen, treffen wir also auf eigentümliche Schwierigkeiten. Man kann nun aus jeder der Gruppen drei Farben gemäß der Grund- farbentheorie durch Versuche auswählen, und es handelt sich nun darum, dieselben in Gestalt der Teilbilder zu vereinigen. Zu dem Zwecke müssen für die letzteren ent- sprechende Druckplatten hergestellt werden, und das geschieht heute am einfachsten durch Anwendung der Autotypie, indem man

das Bild durch Einschalten eines feinen Netzwerkes, eines sog. Rasters, beim Kopieren durch die Kamera in feine Punkte, Zerstreuungskreise, zerlegt; sorgt man nun dafür, daß diese selbstverständlich für alle drei identische Rasterung bei jedem Teilbilde um einen entsprechenden Bruchteil des Diagonalabstandes zweier Rasterpunkte gegen die der anderen beiden verschoben ist, so werden beim Zusammendrucken der Farben diese in Gestalt feiner Pünktchen nebeneinander fallen, Pünktchen solcher Größe, daß das Auge sie nicht zu trennen vermag und nur den Eindruck der entstehenden Mischfarbe hat, gebildet aus dem verschiedenfarbigen reflektierten Licht. (Die auch in der Malerei von den sog. „Printillisten“ angewandte Methode.) Das ist aber wieder eine additive Farbmischung, deshalb kann man in diesem Falle auch breitbandige Farbstoffe verwenden und ebenso die Ergebnisse mit solchen am Farbkreis angelegter Versuche verwerten. Allerdings gilt das nicht unbedingt, denn wie bei der einfachen Autotypie für Schwarzdruck wird auch hier jedes Teilbild bedingt durch die verschiedene Größe der Punkte, die also an den dunkleren Stellen zu einem Netzwerk zusammenfließen, was dann eine teilweise Überdeckung der Farben bedingt, und damit wegen der oben genannten Eigenschaften der Farbstoffe, das Auftreten falscher störender Färbungen, den sog. Überdeckungsfehler, verursacht, der, wenn auch in weit geringerem Maße, bei schmalbandigen Farbstoffen ebenfalls auftritt. Wie sich die einzelnen Farbstoffe hierbei verhalten, kann man wieder mit Hilfe des Farbkreisels ermitteln, indem man das große Scheibenpaar mit den zu untersuchenden Farben überzieht, aber nur eine einzige kleine Scheibe verwendet, welche beide in der richtigen Reihenfolge übereinander enthält, und nun wieder so einstellt, daß die ganze Fläche gleichfarbig erscheint; es treten zudem auch Verschiedenheiten ein, je nachdem welches bei gegebenen Farben die Reihenfolge, welche oben bzw. unten ist.

Diese verwickelten Verhältnisse lassen sich nun in folgender Weise darstellen. Denken wir uns in den Endpunkten einer Strecke  $\overline{AB}$  zwei zu mischende Farben angebracht, und zwar ihren relativen Quantitäten nach als Gewichte, dann entspricht jedem Mischungsverhältnis ein bestimmter Punkt auf  $\overline{AB}$ , der Schwerpunkt der in solcher Weise belasteten Linie, der Mischlinie; als Quantitäten sind für Farben-

mischungen am Kreis die Sektorenbreiten, bei der Mischung farbiger Lichter die Intensitäten einzusetzen. Bei Komplementärfarben erhält man für Farbstoffmischungen an bestimmter Stelle reines Schwarz oder Grau, für Lichter reines Weiß. Soll mit  $A$  und  $B$  noch eine dritte Farbe kombiniert werden, so gilt jede von dem für diese beliebig anzunehmendem Punkte  $C$  nach irgendeinem Punkte von  $\overline{AB}$  gezogene als Mischlinie, und alle möglichen Farbmischungen liegen innerhalb des Dreiecks  $ABC$ , der Mischfläche. Für ein bestimmtes Mischungsverhältnis der drei Farben ist die Mischfarbe gegeben durch den Schwerpunkt des demgemäß dem Vorhergehenden entsprechend an den Ecken belasteten Dreiecks. Farben, die aus den drei benutzten sich nicht erzeugen lassen, liegen außerhalb des Dreiecks, lassen sich aber in folgender Weise ebenfalls ermitteln; angenommen, wir haben Gelb-Rot-Blau und es fehlt reines Grün, dann kann man sicherlich aus irgendeinem Reingrün mit Schwarz eine genau gleichfarbige Mischung herstellen wie aus Gelb und Blau, z. B. finde man  $2 \text{ Gelb} + 1 \text{ Blau} = 1 \text{ Grün} + 1 \text{ Schwarz}$ ; ist in  $A$  Gelb in  $C$  Blau, dann liegt die gesuchte Farbe auf einer vom Schwerpunkte (Schwarz)  $O$  durch den Punkt  $x$  entsprechend  $\overline{Ax} : \overline{xO} = 1 : 2$  gezogenen Geraden im Abstände  $\overline{Ox}$  außerhalb  $AC$ . In dieser Weise kann man sich mit Hilfe von Kreisversuchen auf Grund der damit erhaltenen Farbgleichungen sehr vollständige Farbenschemata herstellen, allerdings nicht gültig für Mischungen breitbandiger Pigmente; ein Kreis um den neutralen Punkt bezeichnet dann die Lage aller gleichreinen Farben, eine in sich geschlossene Farbenreihe, den Farbkreis, auf welchem liegend je zwei Farben gleichen Winkelabstandes voneinander gleiche Farbdifferenz haben müssen und umgekehrt, wenn das zugrunde gelegte Farbdreieck (s. o.) richtig gewählt ist. Um eine solche richtige Farbenverteilung zu erreichen, kann man z. B. die der HERINGSchen Vierfarbentheorie entsprechenden Farben: Chromgelb—Säuregrün—Ultramarin—Eosin-Erythrosin-Blei in dieser Reihenfolge in den Ecken eines Quadrates anbringen, oder man kann drei der Dreifarbenreihe entsprechende Farben so aussuchen, daß sie in den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks angebracht, in dessen Schwerpunkt bei Gleichwertigkeit Schwarz ergeben; als Beispiel für das Gesagte diene Fig. 3. Ein gleichseitiges Dreieck gibt nicht nur die größtmögliche erreichbare Zahl von Misch-



die Rotdruckplatte durch *Grünfilter*. Bei Verwendung von Gelatinetrockenplatten dienen zum Färben der Filter: Methylviolett für Gelb, Pikrinsäure-Säuregrün für Rot, Biebricher Scharlach-Aurantia für Blau. —

Der Dreifarbendruck ist, wie ersichtlich, wenig einfach, abgesehen davon, daß er besonders eingehende Sachkenntnis, schwieriges Probieren und besondere Einrichtungen erfordert; wesentlich einfacher ist die rein photographische Dreifarbenmethode, wie sie von der NEUEN PHOTOGR. GES. (= N.P.G.)-Steglitz ausgeübt wird. Dies Verfahren beruht auf dem sog. Pigmentdruck; wenn man nämlich Leim oder Gelatine mit doppeltchromsaurem Kalü versetzt, entsteht eine Chromleimverbindung, die durch Belichtung im Wasser unlöslich wird, und wenn man in solchen Chromleim irgendeinen neutralen Farbstoff einrührt, mit der so erhaltenen Farbe eine Fläche bedeckt und diese dann unter einem Transparentbild belichtet, so bildet der beim Waschen mit Wasser an den belichteten Stellen stehengebliebene Rest der Schicht ein Negativ in rot, gelb oder blau, je nach dem Farbstoff, den man benutzt hat. Die Aufnahmen geschehen wie andere Dreifarbenaufnahmen auch durch Filter, welche dicht vor der Platte eingesetzt werden, und zwar bei großen Formaten mit Verwendung von Einzelkassetten zu drei in einem Filterschlitten, bei kleinen in einer alle drei Platten enthaltenden Kassette, welche pneumatisch ausgelöst, wie die Momentverschlüsse, nach der 1. und 2. Aufnahme sanft in die richtige neue Stellung herabgleitet. Die verwendeten Objektive dürfen keine Fokusdifferenz zeigen, d. h. in der verschiedenen Brechbarkeit der Teilfarben bedingte Verschiedenheit des Abstandes der Bildebene vom Objektiv; man stellt durch das rote Filter ein, wenn Glasfilter benutzt werden, sonst wie gewöhnlich. Man kann auch statt dreier nur eine genügend lange Platte verwenden, wenn dieselbe für alle Farben empfindlich, panchromatisch, ist wie die nach MIERHE mit Äthylrot sensibilisierten Perchromoplaten. Die Platten fallen nicht immer gleich aus, deswegen ist für jede Lieferung, die mit einer Emulsion gemacht ist, das Expositionsverhältnis genau zu bestimmen, das für die N.P.G.-Platten  $\infty$  beträgt: Blau : Grün : Rot = 1 :  $1\frac{1}{2}$  :  $2\frac{1}{4}$ , wobei Blau  $\sim$  4mal so lange zu exponieren ist als eine gewöhnliche Platte unter gleichen Verhältnissen. Einlegen und Entwickeln muß tunlichst im Voldunkel ausgeführt werden,

das letztere nach Metronom, und zwar alle drei im gleichen Bade  $\sim$  50÷60 Sek. bei 16° C. Kopiert werden die fixierten und gewaschenen Negative auf Pigmentfolien, bestehend aus einem Zelluloidblatt mit gefärbter Gelatineschicht, und zwar sind nur die roten und blauen transparent; die Folien werden durch ein Bichromatbad vor dem Gebrauche sensibilisiert, getrocknet und kopiert, dann in lauem Wasser von 30÷35° entwickelt, wobei man von Zeit zu Zeit durch Übereinanderlegen sich von dem Fortgange des Prozesses überzeugt. Die danach freiwillig getrockneten Teilbilder werden schließlich vereinigt, indem man besonders präpariertes, sog. „Auftragpapier“ (weiß) nach 3 Minuten langem Wässern im Wasser mit dem ebenfalls gewässerten gelben Teilbilde Schicht auf Schicht in Kontakt bringt, nach dem Herausnehmen auf einer Unterlage anreibt und, zunächst unter Druck, trocknen läßt, dabei springt die Folie ab, das Bild ist aber noch mittelst Watte mit Benzin abzureiben. Es erfolgt dann das Aufbringen des blauen Bildes, indem nach vorherigem Wässern beider Teile auf das Papier mit dem Gelbbilde Gelatine gegossen, die Blaufolie aufgepreßt, die überschüssige Gelatine abgestrichen, wie vorher getrocknet usw., und in gleicher Weise schließlich das Rotbild aufgebracht wird. Die fertigen Bilder können dann noch aufgezogen und lackiert werden. Das Verfahren ist, wie Verf. sich persönlich überzeugen konnte, nicht so umständlich, als hiernach vielleicht scheinen könnte. Für Projektionen sind diese Bilder wegen der Beschaffenheit des Gelbbildes nicht geeignet, man kann jedoch auch nach dem hier in Anwendung gelangten Prinzip Projektionsbilder herstellen. Der Erste, der ein derartiges Verfahren mit Erfolg verwendete, war SELLE, Berlin und Brandenburg um 1892 (gestorben 1907), nur war seines insofern umständlicher als das vorbeschriebene, als er die drei Teilnegative auf zunächst farblose Gelatinefolien kopierte, diese — mit Wasser — entwickelte, dann erst färbte und weiterhin übertrug auf Papier; seine Resultate waren recht gute, in der letzten Zeit verwandte er aber ebenfalls schon gefärbte Folien.

Daß diese Dreifarbenmethoden umständlich sind, ist nicht zu leugnen. Eine wesentliche Vereinfachung bezweckt ein von DUCOS DU HAURON 1868, McDONOUGH 1892, besonders aber JOLY-Dublin 1893 eingeschlagener Weg, der darin gipfelt, die Teilaufnahmen gleichzeitig auf einer Platte vorzunehmen. Dazu wird vor letztere eine Platte



gesetzt, welche aus feinen durchsichtigen, abwechselnd rot, grün und blau gefärbten Linien besteht, also eine Kombination der drei bisher nötigen Filter darstellt; wo im Bilde z. B. Blau vorhanden ist, tritt eine Einwirkung nur hinter den blauen Linien ein, wo grün, nur hinter den grünen Linien. Beim Entwickeln und Kopieren bekommt man dann ein Positiv, das vor den ursprünglich blauen Bildstellen hinter den Stellen, wo blaue Linien waren, durchsichtig, wo aber grüne und rote Linien waren, schwarz ist; bringt man jetzt dieselbe Linienplatte, die bei der Aufnahme diente, in genau derselben Lage hinter die Positivplatte, dann erscheint ein richtigfarbiges Bild, wenn die Linien fein genug sind, daß das Auge sie nicht zu trennen vermag.

Nicht einen, sondern mehrere Schritte weiter sind in neuester Zeit (1904) A. und L. LUMIÈRE in Lyon gegangen; sie vereinigen nämlich Lichtfilter und Platte zu einem Ganzen, ferner aber auch Aufnahme- und Bildplatte miteinander, so daß weder Teilaufnahmen, noch Kopieren, noch besonderes Justieren des Farbenrasters nötig ist<sup>1)</sup>. Sie verfahren dazu

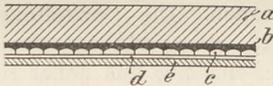


Fig. 4.

folgendermaßen. Die Glasplatte *a* (Fig. 4) wird zunächst mit einer Klebstoffschicht *b* überzogen und nun die Filterschicht aufgebracht; diese besteht aus Stärkekörnchen von infolge Siebung ziemlich gleichmäßiger Größe,  $\sim 0,01$  bis  $0,015$  mm  $\phi$ , so daß  $7 \div 8000$  auf  $1$  mm<sup>2</sup> gehen, die aber teils grün, teils rot, teils blau gefärbt und nach diesen Farben in bestimmtem Verhältnis, und zwar nach STENGER<sup>2)</sup>  $G : B : R = 3 : 2 : 2$ , gemischt sind. Auf der Platte darf nur eine Körnerschicht liegen, was auch tatsächlich der Fall ist; es sollten ferner stets symmetrisch um jeden Punkt der Platte gleichviel Teilchen jeder Farbe liegen, so wie Fig. 5 andeutet, was aber nicht der Fall ist; es sollen schließlich die Farbkörnchen lückenlos aneinanderschließen, was anfangs durch Ausfüllung der Zwischenräume mit einem feinen schwarzen Pulver (Graphit?) von  $\sim \frac{1}{100}$  mm Korndurchmesser erreicht wurde, während in neuerer Zeit durch Pressung eine Deformierung der Körnchen bis zu nahezu

lückenlosem Aneinanderschließen angewandt wird, die jedoch den Gebrauch des erwähnten Pulvers nicht völlig erübrigt. Hierauf folgt eine schützende Lackschicht *d* und dann die eigentliche lichtempfindliche Schicht *e*, Gelatineemulsion, sehr dünn, aber mit sehr dichter Lagerung der Silberkörnchen, die nur  $\frac{1}{1600}$  mm Durchmesser besitzen. Aus dem Gesagten folgt, daß diese Autochromplatten von der Glasseite zu belichten sind, wobei die Wirkung genau ebenso ist, wie beim JOLYSchen Verfahren. Über die weitere Behandlung vgl. ds. Zeitschr. **21**, 196. Hält man dann die Platte, auf der die Körnerschicht unverändert geblieben ist, gegen das Licht, so erblickt man ein richtigfarbiges Bild. Die Autochromplatten werden fabrikmäßig hergestellt, das Verfahren ist nicht zu umständlich, aber es hat trotz allem gewisse Mängel, welche in besonderen Eigenschaften der Platten bedingt sind. Zunächst besitzt die

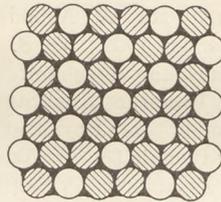


Fig. 5.

Schicht an sich nur  $\frac{1}{3} \div \frac{1}{4}$  der Empfindlichkeit gewöhnlicher Platten, dazu kommt aber noch die Notwendigkeit der Berücksichtigung der Lichtschwächung durch die Glasplatte usw., Schicht *a + d* (Fig. 4); Untersuchungen von STENGER (s. o.) ergaben für die Autochromplatte Empfindlichkeitskurven, welche Empfindlichkeitsmaxima bei  $425 \mu\mu$ ,  $530 \mu\mu$ ,  $560$  bis  $570 \mu\mu$  und schwach bei  $610 \div 620 \mu\mu$  zeigen, ein ausgeprägtes Minimum, die Blaugrünlücke, bei  $475 \div 500 \mu\mu$ . Am ausgeprägtesten ist das erste Maximum entsprechend einer sehr hohen Blau- bzw. Violett empfindlichkeit, welche die Anwendung eines Kompensations-Gelbfilters nötig macht, um die Empfindlichkeitskurve der Platte der des Auges anzupassen; außerdem geht aus dem Gesagten hervor, daß in der Farbenwiedergabe Unstimmigkeiten zu erwarten sind. STENGER hat nun ein Spektrum mit verschiedenen Expositionszeiten aufgenommen und dabei folgendes gefunden: Zuerst erscheinen Orangerotstellen zwischen  $600$  und  $625 \mu\mu$ ; bei kurzen Expositionen fehlen Grün und Blau ganz, die Ausdehnung wächst mit der Zeit bis  $695 \mu\mu$ ; bei  $580 \mu\mu$  tritt

<sup>1)</sup> Man vergl. auch ds. Ztschr. **21**, 196; 1908.

<sup>2)</sup> Zeitschr. f. wissenschaftliche Photographie **5**, 372  $\div$  382, 1907.

Gelb auf (50 Sek.), das Orange wird, zuerst bei 590 + 620, dann bis über 650  $\mu\mu$  weißlich, bei 1400 Sek. sogar rötlichweiß; Grün zeigt sich zuerst bei 550  $\mu\mu$  (10 Sek), später im Bereich 500 + 570; Blau tritt ( $\sim$  150 Sek.) zuerst zwischen 440 + 475  $\mu\mu$ , schließlich 430 bis 495  $\mu\mu$  auf; auch das Gelb wird weißlich, endlich sogar gelblichweiß; die Blaugrünlücke macht sich sehr bemerkbar, indem erst bei  $\sim$  1400 Sek. Blaugrün bei 500  $\mu\mu$  auftritt. Daraus ist ersichtlich, daß ein Spektrum keineswegs farbenrichtig wiedergegeben werden kann; gleichwohl ist die Möglichkeit, farbige Emissionsspektren auf der

Platte in einer Aufnahme zu erhalten, erfreulich. Läßt man das Kompensationsfilter fort, dann werden die Farben erst recht falsch. Man erkennt, daß die Aufnahmezeit eine viel längere sein muß als beim gewöhnlichen Photographieren, nämlich die 40fache, und daß namentlich Gegenstände mit ausgesprochenen Farben sich als Aufnahmeobjekte besonders eignen; die Beschaffenheit des Bildes bedingt, daß dasselbe stets cet. par. dunkler erscheint als ein gewöhnliches Diapositiv.  
*Biegón v. Czudnochowski.*

[Fortsetzung folgt.]

### Neu erschienene Bücher und Schriften.

#### Jahrbuch der Naturwissenschaften 1907—1908.

Herausgegeben von Dr. Max Wildermann. 23. Jahrgang. Mit 29 Abbildungen. Freiburg i. B., Herder, 1908. 509 S. Geb. M 7,50.

Dieser Jahrgang erscheint in größerem Format und besserer Ausstattung als die vorangegangenen. Der Physik sind wiederum 80 Seiten, der Chemie 38, der Astronomie und Meteorologie zusammen 58 Seiten gewidmet. Die angewandte Mechanik und die industrielle Technik sind gleichfalls eingehend berücksichtigt. Hinzugefügt sind Berichte über die Naturforscherversammlung von 1907, die Nobelpreise und die Carnegie-Stiftung. Den Schluß bilden eine Übersicht der Himmelserscheinungen vom 1. Mai 1908 bis 1. Mai 1909 und eine biographische Zusammenstellung der Toten des vergangenen Jahres auf dem Gebiete der Naturforschung. P.

#### Die Theorie der Experimentalelektrizität. Von

W. C. D. Wetham, Prof. a. d. Univ. Cambridge. Aus dem Englischen übersetzt von G. Siebert. Leipzig, J. A. Barth, 1907. VIII und 358 S., 123 Abb. im Text. Geh. M. 8,—; geb. M. 8,80.

Das vorliegende Werk soll „nicht eine vollständige Darstellung der Elektrizitätslehre geben“, es soll „mehr anregend als erschöpfend sein“, „eine gründliche und klare Kenntnis derjenigen physikalischen Lehren vermitteln, welche zum Verständnis der anderen Teile des Gegenstandes erforderlich sind“. Dem Buche liegt der vom Verf. benutzte Lehrgang zugrunde, es kennzeichnet sich durch möglichst ausschließliche Berücksichtigung englischer und weitgehende Ignorierung fremder Forschungen. Der Über-

setzer hat es nicht für nötig befunden, in dieser Hinsicht Ergänzungen zu geben, wie auch die angezogene Literatur nur die des englischen Originals, also rein englisch, ist; Namen wie Goldstein, v. Hefner-Alteneck, Holtz, Schweigger, Siemens, Stark, Toepler fehlen gänzlich. Die Darstellung ist nicht ungeschickt, aber, wie aus dem Gesagten hervorgeht, einseitig und daher schon in den Fundamenten lückenhaft. Zu S. 64 ist zu bemerken, daß die Änderung der Deklination beim Reisen bereits von Columbus 1492 beobachtet und von diesem auch die Linie ohne Abweichung gefunden ist. S. 244 ist F. Kohlrausch als „gegenwärtiger Direktor“ der Phys.-Techn. Reichsanstalt bezeichnet! Am Schlusse gibt der Übersetzer eine Zusammenstellung deutscher Übersetzungen der im Texte genannten englischen Werke; auch diese ist nicht vollständig, Ref. erwähnt als fehlend: Franklins Werke (3 Bde.), übers. von Wenzel, Dresden 1780, Faradays Experimentalluntersuchungen über Elektrizität, deutsch von Kalischer, Berlin, J. Springer.

*B. v. Czudnochowski.*

**Die Telegraphie in ihrer Entwicklung und Bedeutung.** Von J. Bruns. (Aus Natur- und Geisteswelt, Nr. 183.) Leipzig, B. G. Teubner, 1907. 134 S., 4 Abb. im Text. Geh. M. 1,—; geb. M. 1,25.

Eine kurze, klare und vollständige Darstellung des gesamten Telegraphenwesens, die ihrem Zwecke, einen Überblick über dieses Gebiet der angewandten Physik zu geben, gerecht wird.  
*B. v. Cz.*

**Der praktische Elektriker.** Populäre Anweisung zur Selbstanfertigung elektrischer Apparate und Anstellung zugehöriger Versuche nebst Schlußfolgerungen, Regeln, Gesetzen. Von Prof. W. Weiler. Leipzig, M. Schäfer, 1907. Fünfte vielfach umgearbeitete Auflage. XLIII und 708 S., 570 Abb. im Text. Geh. M 9,—.

Das bekannte hier in neuer Fassung vorliegende Buch behandelt in 365 Paragraphen die Primärelemente, Akkumulatoren, Strommessung, Galvanoplastik und Galvanostegie, Glüherscheinungen, Bogenbeleuchtung, Stromleiter und ihre Eigenschaften, Magnete und Elektromagnete, Haustelegraphie, Induktionsapparate, Telephon und Mikrophon, Telegraphie und elektrische Uhren, Elektromotoren, Dynamoelektrische Maschinen, Messungen, Technische Notizen (Allgemeinpraktisches), das absolute Maßsystem, Anhänge, und kann als ein eigenartiges Lehrbuch der Elektrotechnik betrachtet werden. Im nachstehenden seien einige Einzelheiten vermerkt. Der Schluß von § 10 gehört nach § 9; die Bequemlichkeit der Chromsäureelemente mit Kochsalzlösung hätte besonders betont werden können; bei den Normalelementen ist die übliche H-Form nicht erwähnt. Der S. 132 unter c) beschriebene Apparat ist kein Galvanoskop, sondern ein Kapillarelektroskop, das Potentialdifferenzen anzeigt; in § 112 fehlen Hebelumschalter. In § 150 wären besser die von Offizieren und Luftschiffern vielgebrauchten kleinen Taschenlampen erwähnt; die in § 158 angegebene Leitungsführung ist heute nicht mehr statthaft. Die in § 168 beschriebene Lampe ist nicht die von Rapieff, denn diese hatte vier Kohlen, sondern von Le Clerc & Bureau. Die Angaben der Tabelle S. 277 oben stimmen nicht. Zu S. 442: Helmholtz war auch Physiker. Einige auffällige Unebenheiten des Ausdruckes übergehe ich. Die Figuren sind reichlich und in der Mehrzahl zweckentsprechend und gut ausgeführt; einzelne allerdings sind aus verschiedenen Gründen zu beanstanden, so Fig. 113, 126, 181, 191–193, 336, 337, 472 und 501. Fig. 197/198 ist nicht die L. v. Archereau, die Stufenspule besaß vielmehr die L. v. Gaiffe. Fig. 203 ist keineswegs eine Nebenschlußlampe, und die ebenfalls als solche bezeichnete Fig. 204 ist gar eine Differentiallampe, ebenso Fig. 205, jedoch eine alte Konstruktion, Fig. 256 ist nicht eine „elektrische Feder“, darunter versteht man in Wirklichkeit einen kleinen Gravierapparat mit Motor. Andererseits sei aber hervorgehoben, daß der Verf. sich augenscheinlich große Mühe ge-

geben hat, gerade nach Richtung der Selbstanfertigung dem gegenwärtigen Umfange des Gegenstandes Rechnung zu tragen, wenn auch die angegebenen Versuche nicht immer mit so ganz einfachen Mitteln anzustellen sind. Besonderes Lob verdienen die biographischen Anmerkungen bezüglich der erwähnten Forscher. Am Schlusse gibt der Verf. noch eine ausführliche Literaturübersicht (10 S.). Doch fehlen da gerade eine ganze Anzahl wichtiger Werke, so die von Birrenbach, dem Ref., Braun, Herzog u. Feldmann, Jentsch, O. Lehmann, Monasch, Rosemeyer, Starke, J. J. Thomson; die „Elektrotechnische Rundschau“ erscheint schon seit langem 52 mal jährlich in Potsdam. Alles in allem ist der Arbeit des Verfassers die Anerkennung zu wünschen, die sie verdient. Dem Verleger sei anempfohlen, für eine sorgfältigere Heftung des Buches zu sorgen.

*Biegou von Czudnochowski.*

**Die Funkentelegraphie.** Von H. Thurn. (Aus Natur- und Geisteswelt, Nr. 167.) Leipzig, B. G. Teubner, 1907. IV und 112 S., 53 Abb. im Text. Geh. M 1,—; geb. M 1,25.

Trotz des schon erheblichen Umfanges unserer Literatur über dieses Sondergebiet darf die vorliegende kleine Schrift willkommen geheißen werden. Verf. gibt darin unter besonderer Zugrundelegung des Systems „Telefunken“ eine klare und ziemlich vollständige Darstellung der Technik der Funkentelegraphie, ihres Einflusses auf das Wirtschaftsleben, ihrer Anwendung in Kriegzeiten und ihrer internationalen Regelung.

*B. v. Cz.*

**Die elektrischen Bahnen und ihre Betriebsmittel.** Von Dipl.-Ing. H. Kyser. (Elektrotechnik in Einzeldarstellungen, Heft 9.) Braunschweig, Fr. Vieweg & Sohn, 1907. VIII und 153 S., 73 Abb. im Text, 10 Tafeln. Geh. M 5,50; geb. M 6,—.

Das Buch hat folgenden Inhalt: 1. Einteilung, Stromzuführung, Stromart und Spannung; 2. Bahnmotoren; 3. Geschwindigkeitsregulierung; 4. Zugwiderstände und Kraftbedarf; 5. Fahrplanaufstellung; 6. Leitungsanlage; 7. Kraftwerk. Im wesentlichen wird nur die elektrophysikalische Seite des Gegenstandes behandelt, die mechanische, Bau der Wagen und Lokomotiven usw., ist unberücksichtigt gelassen. Die Darstellung ist klar und übersichtlich, ohne zu tief in mathematische Erörterungen einzugehen. Als gute Übersicht über dieses heute so wichtige Gebiet sei das Buch bestens empfohlen. *B. v. Cz.*

**Anorganische Chemie.** Volkshochschulvorträge von Professor Dr. H. Kauffmann in Stuttgart. Mit 4 Abbildungen. VI und 179 S. 8°. Geh. M 3,60.

**Organische Chemie.** Volkshochschulvorträge von Professor Dr. E. Wedekind in Tübingen. Mit einer Abbildung. VIII und 164 S. 8°. Geh. M 3,40. (Beide Bücher im Verlag von Ferdinand Enke, Stuttgart 1907.)

Die beiden Werkehen, die denselben Volkshochschulkursen ihr Entstehen verdanken, ergänzen sich. Sie verfolgen denselben Zweck; sie wollen nicht nur Gelegenheit bieten, einmal Gehörtes wieder nachlesen zu können, sondern sind so umgearbeitet worden, daß sie jedem, der sich über Chemie, ihre Grundsätze und Anwendungen informieren will, warm empfohlen werden können. Beide Bücher sind frisch und anschaulich, mit dem pädagogischen Feingefühl guter Dozenten geschrieben; sie berücksichtigen die modernen Forschungsergebnisse und behandeln auf wenig Seiten eine Fülle von wissenschaftlichem und technischem Material, ohne durch zu große Knappheit zu leiden. Namentlich Kauffmanns Darstellungsweise verdient das größte Lob: es ist kernige Holzschnittmanier. — Bei weiteren Auflagen dürfte sich eine Vermehrung der Abbildungen empfehlen. Die einzige Abbildung in der „Organischen Chemie“ stellt — einen Bunsenbrenner dar, während man etwa einen Kolonnenapparat, eine schematische Abbildung einer Teerdestillation oder dgl. erwarten sollte. Chemielehrern an höheren Schulen, denen nur wenige Unterrichtsstunden zur Verfügung stehen, seien die anregenden Bücher bestens empfohlen.

*W. Roth-Greifswald.*

**Chemisch-analytisches Praktikum** als Leitfaden bei den Arbeiten im chemischen Schullaboratorium, bearbeitet von Dr. K. A. Henniger, Prof. am Realgymnasium in Charlottenburg. Braunschweig, Friedrich Vieweg & Sohn, 1907. — Ausgabe A: 2. teilweise umgearbeitete Auflage, VIII u. 127 Seiten, M 1,50, geb. M 2, und Ausgabe B: 2. völlig umgearbeitete Auflage, VII u. 112 Seiten, M 1,50, geb. M 2.

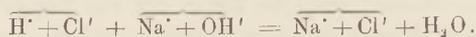
Die zweite Auflage des aus einer reichen Erfahrung hervorgegangenen Buches liegt in zwei verschiedenen Bearbeitungen vor. Ausgabe A ist von der ersten Auflage (vgl. ds. Zeitschr. 17, 250) nur unwesentlich verschieden; doch sind im einzelnen mancherlei Veränderungen erfolgt. So sind die einführnden Versuche aus der anorganischen

Chemie sowie die Übungen zur Förderung der Handfertigkeit beträchtlich vermehrt worden. Neu ist ferner am Schlusse eine größere Zahl von Versuchen aus der organischen Chemie, die sich auf organische Säuren, Kohlenwasserstoffe nebst einigen Substitutionsprodukten, die Produkte der alkoholischen Gärung, ferner auf Zuckerarten, Zellulose, Proteinstoffe usw. beziehen. Die Versuche über die Reaktionen der wichtigeren Kationen und Anionen sind unverändert geblieben; hingegen ist mit Recht die qualitative Analyse auf die Aufsuchung des elektropositiven und des elektronegativen Bestandteils in einfachen Substanzen eingeschränkt worden. Diese und andere Veränderungen sind als zweckentsprechend zu bezeichnen, immerhin ist der Charakter des Ganzen vorwiegend analytisch geblieben.

Ausgabe B, das Ergebnis einer völligen Umarbeitung, unterscheidet sich von Ausgabe A weniger im Stoffe als in der Auffassung; sie berücksichtigt nämlich nach Möglichkeit die neueren Anschauungen, vor allem die Theorie der elektrolytischen Dissoziation, im übrigen besitzt sie die Vorzüge und den Charakter von Ausgabe A. Mit der Form der Reaktionsgleichungen ist Referent mehrfach nicht einverstanden. So heißt es Ausg. A S. 14:



um die Dissoziation der reagierenden Stoffe klarer hervortreten zu lassen, würde sich vielleicht folgende Schreibweise empfehlen:



Ferner läßt die für die Hydrolyse des Natriumnitrits Ausg. B S. 35 gegebene Gleichung



nicht das Verschwinden von Wasserstoffionen und damit die Ursache für die alkalische Reaktion erkennen. *J. Schiff.*

#### C. F. Plättners Probierkunst mit dem Lötrohre.

Eine vollständige Anleitung zu qualitativen und quantitativen Lötrohruntersuchungen. Bearbeitet von Dr. F. Kolbeck, Professor der Mineralogie und Lötrohrprobierkunde an der Bergakademie zu Freiberg. Mit 72 Abbild. VII. Aufl. Leipzig, J. A. Barth, 1907. XVI u. 515 S. M 11,—; geb. M 12,—.

Die neue Ausgabe des Buches, dessen sechste Auflage in dieser Zeitschrift (11, 150) näher besprochen wurde, enthält nicht nur

verschiedene neue Methoden und Reaktionen, sondern bringt auch besonders in mineralogischer Hinsicht vielfache Erweiterungen und Ergänzungen. Sie hat gegenüber der vorigen auch dadurch gewonnen, daß von

den mancherlei Textabkürzungen, die das Lesen erschwerten, wieder abgesehen worden ist. Das Buch ist in der neuen Bearbeitung als ein vorzügliches Handbuch der Lötrohrprobierkunst allseitig zu empfehlen. O.

## Versammlungen und Vereine.

### Ferienkurs an der Universität Würzburg 1908.

Vom 21. April bis einschließlich 27. April wurde an der Universität Würzburg ein Ferienkurs für Lehrer der Mathematik und Physik abgehalten. Zu dem Kurse hatten sich 40 Teilnehmer eingefunden.

Es wurden folgende Vorträge gehalten: Prof. Dr. ROST: Über die Leistungsfähigkeit der bei der Ausführung geometrischer Konstruktionen zur Verwendung kommenden graphischen Hilfsmittel (6 St.). — G.-R. Prof. Dr. PRYM: Über die Gewinnung der Grundfunktionen beim Übergang von der niederen zur höhern Analysis (6 St.). — G.-R. Prof. Dr. WIEN: Theorien und Experimente über Wärmestrahlung (3 St.). — Prof. Dr. CANTOR: Theorie der Relativität (3 St.). — Privatdozent Dr. HARMS: Bildung und Zerfall radioaktiver

Substanzen (1½ St.). — Privatdozent Dr. FÜCHTBAUER: Sekundärstrahlen von Kanal- und Kathodenstrahlen (1½ St.). — Prof. Dr. MEDICUS: Verwertung des Stickstoffs der Luft (1 St.); Über Brauerei (1 St.). — Prof. Dr. BOVERI: Über tierische Grundformen und Symmetrieverhältnisse (2 St.). — Prof. Dr. REITZENSTEIN: Über künstliche Farbstoffe und ihre Anwendung auf tierische und pflanzliche Faser (2 St.).

Am 23. April wurde unter Führung der Herren Prof. Dr. KRAUS und Dr. BECKENKAMP eine botanisch-geologische Exkursion nach Thüngersheim und Erlabronn (Röth und Wellenkalk) unternommen.

Am 27. April wurde unter Leitung des Herrn Prof. Dr. MEDICUS das Brauhaus Würzburg eingehend besichtigt.

*Adami.*

## Mitteilungen aus Werkstätten.

### Kleiner Wechselstromapparat für Unterrichtszwecke.

Konstruiert von der Auto-Teil-Gesellschaft m. b. H.  
Berlin SW 48, Wilhelmstr. 131/132.

Die kleine im nebenstehenden Bilde (Fig. 1) dargestellte Wechselstrommaschine bringt für Lehr- und Demonstrationszwecke die Wirkung des Wechselstromes in der denkbar einfachsten Weise zur Anschauung.

Im Innern des aus gestanzten Eisenblechen gebildeten Ankerkörpers dreht sich ein aus sechs Hufeisenmagnet-Magazinen zusammengesetzter Rotor in Kugellagern. Sämtliche 12 Pole des ausgeführten Apparates sind in gleichen Abständen, Nord- und Südpol abwechselnd nach außen gerichtet, während die 12 nach innen gerichteten Zähne des Ankerkörpers ihnen gegenüberstehen. Um letztere ist die Wicklung der Wechselstrommaschine gelegt, in der die Induktionsströme erzeugt werden.

Die Wicklungsenden werden bei der Demonstration der Beleuchtung mit den hintereinandergeschalteten Lampen verbun-

den (Fig. 2), während zur Veranschaulichung der Transformierung des Stromes in einen hochgespannten Strom dieselben mit der

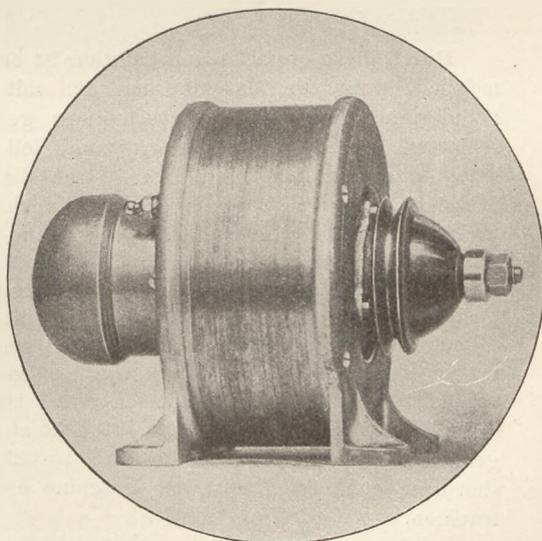


Fig. 1.

Primärwicklung eines Transformators verbunden werden (Fig. 3). Um den Apparat für beide Zwecke auch im Handumdrehen zur Funktion zu bringen, ist an der Maschine eine Schleifkontaktvorrichtung vorgesehen, die, zwischen den beiden Wicklungsenden geschaltet, bei geringen Tourenzahlen diese abwechselnd öffnet und schließt und dadurch hochgespannte sogenannte Extraströme erzeugt, während bei schnellerem Gange des Motors die Spannung der Wechselströme ohne Zuhilfenahme der Schleifkontaktvorrichtung für beide Demonstrationen genügt. Infolgedessen erreicht man sowohl bei dem Andrehen mit der Hand wie auch bei normalen Touren durch eine Transmission annähernd gleiche Stromstärke.

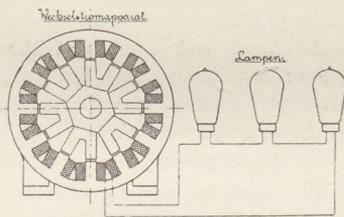


Fig. 2.

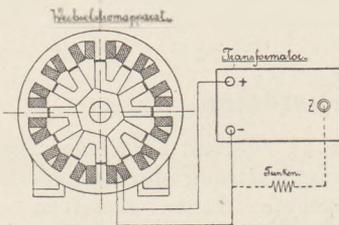


Fig. 3.

Durch diese einfache Konstruktion ist es möglich, wenn die Maschine mit den mitgelieferten Lampen in Serienschaltung geschlossen wird, dieselben sofort zum Helleuchten zu bringen, und zwar durch die Schleifkontaktvorrichtung auch dann noch, wenn die Maschine nur mittelst einer Handkurbel dauernd angedreht wird.

Die Ausschaltung des Kontaktstückes geschieht bei normalem Gang durch die eigene Zentrifugalkraft, während es bei geringer Tourenzahl eine Feder an den Lamellenring drückt. Der ganze Apparat ist seitlich durch zwei Lagerschilde luftdicht abgeschlossen; schraubt man diese ab, so läßt sich sehr leicht das Innere der Maschine betrachten.

Seitlich am Apparat ist eine kleine Schnur-scheibe angebracht für den Antrieb durch

Transmission; diese Scheibe ist sehr leicht abzunehmen und kann durch eine Handkurbel ersetzt werden.

Bei verschiedenen Tourenzahlen der Maschine ist durch Einschalten eines Voltmeters die steigende Spannung zu erkennen. Die Spannung geht von 0—80 Volt, die Stromstärke von 0—0,5 Ampere; die mitgelieferten Lampen sind hierzu auf 25 Volt und 10 Kerzen geeicht.

Zu der Maschine wird, wie schon erwähnt, ein geschlossener Kerntransformator geliefert, dessen Primärwicklung mit der Maschine kurz geschlossen wird, während an den Enden des Sekundärs der hochgespannte Strom als ein für dünnen Querschnitt geeigneter Zündfunken von 5 mm Länge auch im hellen Zimmer bis mindestens 10—15 m Entfernung sichtbar ist und, da die Zündkraft eine sehr starke, zum Anbrennen einer Zigarette oder von Papier verwendet werden kann. Die hohe Spannung, die hier entsteht, hat 20000 Volt, ist aber wegen der geringen Stromstärke absolut ungefährlich.

Sie kann zur Demonstration der Fernübertragung elektrischer Energie verwendet werden, indem durch einen zweiten Transformator der ferngeleitete Hochspannungsstrom wieder in Primärstrom verwandelt wird und auf diese Weise die Lampenbeleuchtung in der Ferne ermöglicht.

Der Kraftverbrauch der Maschine ist ein sehr geringer, und wenn der Antrieb durch Transmission nicht zulässig ist, kann derselbe, wie schon erwähnt, durch eine Handkurbel erfolgen.

Der Apparat hat eine Kubatur von 4,6 dm<sup>3</sup>, 16 cm lang, 17 cm breit und 17 cm hoch und 7,2 kg Gewicht, während der Transformator nur 2 kg wiegt. Der Preis des Apparates inkl. 3 Glühlampen beträgt M 85,—, der eines einzelnen Transformators M 32,50. Vorgelege für Handantrieb und komplette Montage auf einem Brett kostet M 12,—.

### Präzisions-Demonstrationsgalvanometer.

Von Gans & Goldschmidt, Spezial-Fabrik  
elektrischer Meßapparate,  
Berlin N 65, Reinickendorferstr. 96.

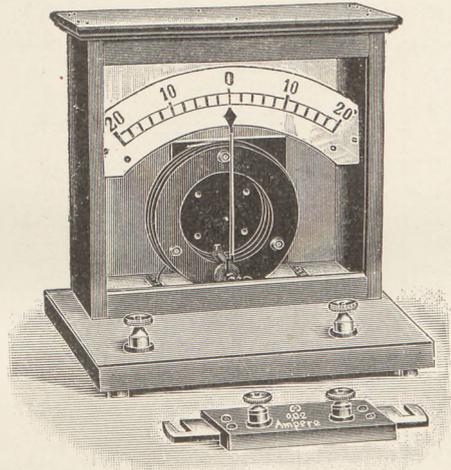
Dieses Instrument ist als ballistisches Drehspul-Galvanometer konstruiert, es ist demnach sehr empfindlich für Stromstöße und mit der weit sichtbaren Skale und der schwertförmig ausgebildeten Zeigerspitze dem ganzen Auditorium gleichzeitig sichtbar. Es können schon Induktionsströme mit demselben

demonstriert werden, wie sie bei Bewegung eines Eisenkernes in einer kleinen Spule auftreten. Die Windungen der Drehspule sind auf einem nicht geschlossenen Aluminiumrahmen aufgetragen, so daß keine dämpfend wirkenden Foucault-Ströme entstehen. Mit drei leicht auswechselbaren Nebenschlußwiderständen, welche getrennt mitgeliefert werden, kann das Instrument als Milliampere-meter für beliebig wählbare Meßbereiche bis 0,02 bzw. 0,2 und 2 Ampere gebraucht werden. Der Endausschlag des ballistischen Zeigers erfolgt bei 6 M.-A. Wird ein Nebenschluß zur Drehspule gelegt, der dem Galvanometerwiderstand 15 Ohm entspricht, so ist das Instrument aperiodisch. Der Nullpunkt liegt in der Mitte der Skale, so daß beiderseitige Zeigerausschläge erfolgen können. In der Zuleitung der einen Shuntklemme zu dem Nebenschlußwiderstand liegt ein leicht auswechselbarer Sicherungsdraht. Genügend Reserve draht wird mitgeliefert, so daß das Instrument niemals durch Überlastung gefährdet ist.

Da das ganze innere System gut sichtbar ist, so dient das Galvanometer nicht nur als Meß-, sondern auch als Demonstrationsinstrument. Sein vielseitiger Zweck und seine häufige Anwendbarkeit müssen die Anschaffung für jede Lehranstalt wünschenswert machen. Nur durch die im Hinblick hierauf vorgenommene Massenfabrikation und durch die einheitliche Ausführung einer mit den

früher beschriebenen Apparaten übereinstimmenden Type ist ein Preis von M 50,— für das Instrument einschließlich der drei Nebenschlußwiderstände ermöglicht.

Die Empfindlichkeit der Meßgrenze dürfte den praktischen Bedürfnissen des Unterrichts



entsprechen. Sollen noch weitere Meßbereiche Verwendung finden, so bedarf es nur noch der Wahl von weitem Zusatzwiderständen. Auch Vorschaltwiderstände von der äußeren Form der Nebenschlußwiderstände können das Instrument zu Spannungsmessungen geeignet machen.

### Korrespondenz.

Bildnisse lebender Physiker. Eine Sammlung von 338 Bildnissen lebender Physiker, die Herr Prof. Viktor von Lang anlässlich seines 70. Geburtstages überreicht worden ist, soll durch Reproduktion allgemein zugänglich gemacht werden, falls sich eine genügende Anzahl von Abnehmern findet. Ein Verzeichnis der Bilder befindet sich in der Vierteljahrsschrift des Wiener Vereins zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts, 1908, Heft 1. Der Preis soll höchstens 20 K betragen. Anmeldungen nimmt Univ.-Prof. A. Lampa, Wien IX 1, Türkenstraße 3, entgegen.

Ferienkursus in Frankfurt a. Main. Vom 5. bis 17. Oktober ds. Js. findet in dem neuen Institutsgebäude des Physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M. ein naturwissen-

schaftlicher Fortbildungskursus für Oberlehrer an höheren Schulen statt. Von den Herren Professoren Dr. Dégisne, Dr. Freund und Dr. Wachsmuth werden Vorlesungen über die neuesten Forschungen auf dem Gebiete der Elektrotechnik, Chemie und Physik gehalten. Außerdem spricht der Direktor der meteorologischen Abteilung über „das lenkbare Luftschiff und die Wetterprognose“ und Herr Dr. Schultze über „die Psychologie der Ermüdung und ihre Bedeutung für die Schule“. An praktischen Übungen sind vorgesehen: ein elektrotechnisches Praktikum, Übungen im Zeichnen der Wetterkarten und Aufstellen der Prognose sowie Übungen im Bearbeiten des Glases. — Für Mitteilungen und Demonstrationen der Teilnehmer werden 2 Stunden frei bleiben. — Weitere Auskünfte geben die Leiter des Kursus, die Herren O.-R.-Direktor Dr. Bode und Oberlehrer Dr. Boller.

### Himmelserscheinungen im August und September 1908.

♃ Merkur, ♀ Venus, ☉ Sonne, ♂ Mars, ♃ Jupiter, ♄ Saturn, ☾ Mond, 0<sup>h</sup> = Mitternacht.

	August							September					
	1	6	11	16	21	26	31	5	10	15	20	25	30
♃ { AR	7 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	8. 5	8.46	9.27	10. 7	10.43	11.16	11.47	12.16	12.43	13. 9	13.33	13.56
	+ 21 <sup>o</sup>	+ 21 <sup>o</sup>	+ 20 <sup>o</sup>	+ 17 <sup>o</sup>	+ 14 <sup>o</sup>	+ 10 <sup>o</sup>	+ 6 <sup>o</sup>	+ 2 <sup>o</sup>	- 2 <sup>o</sup>	- 5 <sup>o</sup>	- 9 <sup>o</sup>	- 12 <sup>o</sup>	- 14 <sup>o</sup>
♀ { AR	6 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup>	6.29	6.38	6.49	7. 3	7.18	7.35	7.53	8.12	8.32	8.53	9.14	9.35
	+ 17 <sup>o</sup>	+ 17	+ 18	+ 18	+ 18	+ 18	+ 18	+ 18	+ 17	+ 17	+ 16	+ 15	+ 14
☉ { AR	8 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>	9. 4	9.23	9.42	10. 1	10.19	10.37	10.55	11.13	11.31	11.49	12. 7	12.25
	+ 18 <sup>o</sup>	+ 17	+ 15	+ 14	+ 12	+ 10	+ 9	+ 7	+ 5	+ 3	+ 1	- 1	- 3
♂ { AR	9 <sup>h</sup> 13 <sup>m</sup>	9.26	9.38	9.51	10. 3	10.15	10.27	10.39	10.51	11. 3	11. 5	11.27	11.39
	+ 17 <sup>o</sup>	+ 16	+ 15	+ 14	+ 13	+ 12	+ 11	+ 10	+ 8	+ 7	+ 6	+ 5	+ 3
♃ { AR	9 <sup>h</sup> 34 <sup>m</sup>		9.43		9.51		10. 0		10. 8		10.16		10.24
	+ 15 <sup>o</sup>		+ 15		+ 14		+ 13		+ 12		+ 12		+ 11
♄ { AR	0 <sup>h</sup> 41 <sup>m</sup>							0.36					
	+ 2 <sup>o</sup>							+ 1					
☉ Aufg.	4 <sup>h</sup> 21 <sup>m</sup>	4.28	4.37	4.45	4.53	5. 2	5.10	5.18	5.27	5.35	5.43	5.52	6. 0
	19 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup>	19.42	19.32	19.22	19.12	19. 1	18.49	18.38	18.26	18.14	18. 2	17.51	17.39
☾ Aufg.	8 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup>	14.20	14.42	14.41	—	3 59	9.41	15.46	19. 3	20.50	—	5.13	11.12
	21 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup>	23.21	2.52	10.06	16.13	19.19	20.42	23.18	4.42	11.44	16.31	18.18	19.51
Sternzeit im mittl. Mittg.	8 <sup>h</sup> 38 <sup>m</sup> 37 <sup>s</sup>	8 58.20	9.18. 3	9.37.45	9.57.28	10.17.11	10.36.54	10.56.37	11.16.19	11.36. 2	11.55.45	12.15.28	12.35.10
Zeitgl.	+ 6 <sup>m</sup> 9 <sup>s</sup>	+ 5.44	+ 5. 5	+ 4.11	+ 3. 4	+ 1.47	+ 0.19	- 1.17	- 2.59	- 4.44	- 6.30	- 8.15	- 9.55

Mittlere Zeit = wahre Zeit + Zeitgleichung.

Mondphasen in M.E.Z.	Neumond	Erstes Viertel	Vollmond	Letztes Viertel
		Aug. 26, 23 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup> Sept. 25, 15 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup>	Aug. 5, 10 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup> Sept. 3, 21 <sup>h</sup> 51 <sup>m</sup>	Aug. 12, 5 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup> Sept. 10, 13 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup>

Planetensichtbarkeit	Merkur	Venus	Mars	Jupiter	Saturn
im August	wird in den ersten Tagen unsichtbar	morgens 1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> bis 3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> Stunden, am 11. im größten Glanz sichtbar	unsichtbar. Konjunktion am 22.	unsichtbar. Konjunktion am 17.	5 bis 8 Stunden lang vor Anbruch der Dämmerung sichtbar
im September	unsichtbar	zuletzt 4 Stunden lang als Morgenstern sichtbar	unsichtbar	wird morgens im Löwen sichtbar, zuletzt 2 Stunden lang	die ganze Nacht hindurch sichtbar. Opposition am 30.

**Sternbedeckung für Berlin.**

	Stern	Eintritt	Q	Austritt	Q
Sept. 16	ε Tauri	2 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup> ,4 M.E.Z.	55 <sup>o</sup>	4 <sup>h</sup> 1 <sup>m</sup> ,2 M.E.Z.	263 <sup>o</sup>

**Veränderliche Sterne (M.E.Z.):**

Aug. 4	21 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup>	Algol-Min.	Sept. 8	R Lyrae-Min.	Sept. 29	22 <sup>h</sup>	ζ Gemin.-Max.	
12	21 <sup>h</sup>	δ Cephei-Min.		16 21 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup>				Algol-Min.
15		R Lyrae-Max.		24 19 <sup>h</sup>				δ Cephei-Min.
24	23 <sup>h</sup> 0 <sup>m</sup>	Algol-Min.		24 21 <sup>h</sup>				ζ Gemin.-Min.

F. Koerber.

Nachdruck nur mit Quellenangabe und mit Genehmigung der Verlagshandlung gestattet.