

Kleine Beiträge zur Magnetometrie.

Von

Prof. Dr. Karl Noack in Freiburg i. B.

1. Die Pole. Für den elementaren Unterricht im Magnetismus bedeutet der Doppelsinn des Polbegriffes nicht nur eine Unbequemlichkeit, sondern er ist eine nicht zu unterschätzende Gefahr für das richtige Verständnis, die ein vorausschauender Unterricht von Anfang an ins Auge fassen und nicht als belanglos beiseite schieben sollte.

Auf der Unterstufe, wo es sich ausschließlich oder wenigstens hauptsächlich um die qualitative Seite der Erscheinungen handelt, weisen alle Beobachtungen auf gewisse Oberflächenteile der magnetischen Körper hin, von denen die Kraft auszugehen scheint; bei den Magnetstäben und Hufeisenmagneten sind es geradezu die Endflächen, die sich als Pole geltend machen und die besonders auch in den Feilichtbildern als solche unverkennbar zur Anschauung kommen. Es ist das natürlichste und nächstliegende auf dieser Stufe, als Pole oder Polflächen die Stellen größter Kraftwirkung oder größter Tragkraft zu bezeichnen, für die uns die Zahl der anhaftenden Eisenstäbchen oder Kugeln ein ebenso einfaches wie anschauliches Maß liefert.

Wenn auf der Oberstufe die Fernwirkung von Magnetstäben messend untersucht werden soll, wird von anderen Stellen der Magnete als ihren Polen gesprochen. Der Schüler erfährt, daß dies Punkte sind, in denen man sich den freien Magnetismus jeder Stabhälfte vereinigt denken muß, wenn man auf Grund des Coulomb'schen Gesetzes die Fernwirkung des Stabes rechnend verfolgen will, und daß diese Punkte um $\frac{1}{12}$ der Stablänge von den Polflächen entfernt auf der Achse des Magnetstabes liegen. Allein wenn man sich auf diesen abstrakten Standpunkt stellt, wird man der physikalischen Bedeutung der Pole oder besser Fernpole in keiner Weise gerecht und man gerät auch alsbald mit den Tatsachen in Widerspruch, sobald man an die experimentelle Prüfung der Verhältnisse herantritt.

Die Schwierigkeit liegt ja wesentlich darin, daß die Fernpole keine festbestimmte, unveränderliche Lage auf der Magnetachse haben, sondern daß sie sich verschieben, wenn der Magnet seine Stellung zum Aufpunkt ändert. Man darf nicht glauben, durch eine Verschleierung dieser Schwierigkeit das Verständnis erleichtern zu können, man sollte sie im Gegenteil nach Möglichkeit so weit aufdecken, als dies im elementaren Unterricht irgend möglich ist. Demnach sind auch schon auf dieser Unterrichtsstufe die beiden Fälle streng zu unterscheiden, ob der Magnet sich in einem homogenen Feld, wie es das Erdfeld ist, oder in dem inhomogenen eines zweiten Magnetstabes befindet.

In dem Falle des homogenen Feldes ist es leicht, auf Grund der Analogie des Schwerpunkts die Pole eines Magnetstabes zu definieren als die Mittelpunkte der parallelen Einzelkräfte, die auf gleiche Magnetismuskengen jeder Stabhälfte wirken; daß man die Lage dieser Punkte nicht berechnen kann, solange man die Verteilung des freien Magnetismus nicht kennt, erschwert das Eindringen in diese Vorstellung in keiner Weise, um so weniger, als sie durch das Experiment, wie wir bald sehen

werden, gestützt werden kann. Die so gefundenen Punkte heißen die Fernpole des Magnets, ihre gegenseitige Entfernung der Polabstand; in den Fernpolen kann man sich den freien Magnetismus jeder Stabhälfte vereinigt denken und gelangt so zu dem Begriff der Polstärke und des Magnetischen Moments als einer für das magnetische Verhalten des Stabes in dem homogenen Feld durchaus charakteristischen Größe. Das Verständnis dieser Verhältnisse wird erleichtert durch angemessene Erörterung des Parallelismus, der zwischen physischem Magnet und mathematischem einerseits, sowie physischem und mathematischem Pendel andererseits besteht.

Aber zu einer vollständigen Erfassung des Begriffs Fernpol, sowie zur Lösung der Widersprüche, die sich bei den einschlägigen Versuchen und Messungen ergeben, ist es notwendig, auch den anderen allgemeineren und weit häufigeren Fall zu betrachten, nämlich das Verhalten eines Magnetstabes in dem inhomogenen Feld eines anderen. An der Hand einer in großem Maßstab ausgeführten Tafel wie Fig. 1, die im Lehrzimmer aufgehängt ist, kann auch dieser Fall soweit behandelt werden, wie es die Bedürfnisse des elementaren Unterrichts erfordern und das Begriffsvermögen der Schüler zuläßt.

Der bloße Anblick der Figur lehrt, daß die Kräfte, die hier auf gleiche symmetrisch liegende Magnetismuskengen je einer Stabhälfte wirken, weder gleich noch

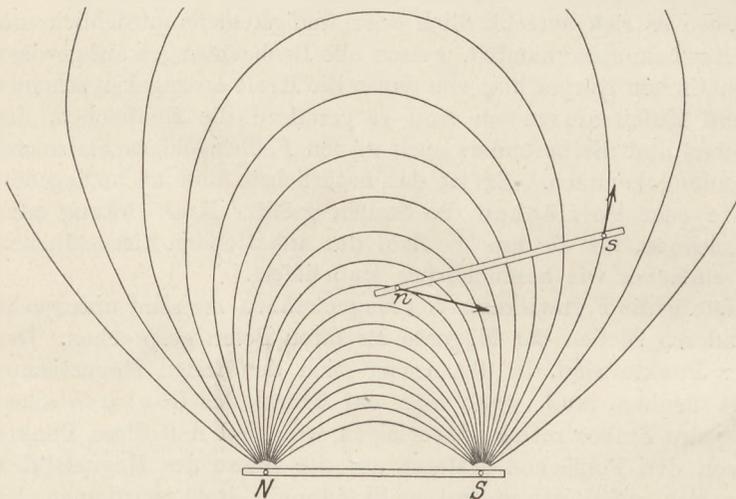


Fig. 1.

entgegengesetzt parallel sind, wie im homogenen Feld. Denkt man sich für jede Hälfte die Mittelkraft bestimmt, was natürlich trotzdem möglich ist, so erhält man nicht wie in jenem Falle ein Kräftepaar, sondern zwei ungleiche und nicht parallele Kräfte, deren Angriffspunkte nicht die Fernpole sind. Wohl aber kann man diese beiden Kräfte ersetzen durch ein Kräftepaar und eine Einzelkraft; ersteres wirkt richtend, letztere verschiebend auf

den Magnet. Selbstverständlich wird man nicht versäumen, dieses verschiedene Verhalten des Magnetes zur Anschauung zu bringen, z. B. indem man ihn mit Hilfe einer Korkscheibe auf einer größeren Wasserfläche schwimmen läßt, oder auf andere Art.

Die Lage der beiden Angriffspunkte, die man die äquivalenten Pole nennt, ihr gegenseitiger Abstand, der äquivalente Polabstand, und die Größe der beiden Kräfte des Paares und somit auch das äquivalente Moment des Magnetes sind aber in diesem Fall veränderlich mit dem Ort des Magnets in dem inhomogenen Feld und demnach keine für den Magnet charakteristische Größe.

Dies dürfte ungefähr für die Zwecke des Unterrichts genügen und man kann sich jetzt der Aufgabe zuwenden, die Lage der äquivalenten Pole, bzw. der Fernpole an einem Magnetstab experimentell nachzuweisen. Daß es sich hierbei nicht um eine exakte Messung oder die Bestimmung des Polabstands handelt, sondern nur darum, die gewonnenen neuen Vorstellungen und Begriffe durch die Anschauung zu stützen und zu bestätigen, sei ausdrücklich bemerkt, um Mißverständnissen vorzubeugen.

Handelt es sich um eine Demonstration im Klassenunterricht, so kann man das von H. Püning (*diese Ztschr.* 10, 289) angegebene Verfahren unter Benutzung der

Lichtzeigernadel von Fr. C. G. Müller (*diese Ztschr.* 22, 1) anwenden; dasselbe gestaltet sich außerordentlich einfach und bequem, wenn man sich für die Magnetometerschiene einen Schlitten anfertigt, der ein mit Koordinatenpapier beklebtes quadratisches Tischchen von 10—12 cm Seitenlänge trägt; auf dieses Tischchen wird ein 1 cm breiter Glasstreifen von der Mitte einer Quadratseite zur Mitte der Nachbarseite senkrecht aufgekittet, der also mit der Magnetometerschiene einen Winkel von 45° bildet. Dieser Streifen dient dem Ende des Magnetstabes in beiden Lagen als Führung und erspart beim Aufsuchen der zweiten Magnetlage das umständliche Ausprobieren, wie es bei dem ursprünglichen Verfahren erforderlichlich war. Es ist aber zu beachten, daß man in dieser Weise nur mit langen Drahtmagneten nach Fr. C. G. Müllers Vorschlag arbeiten kann, um den Einfluß des Außenpols unschädlich zu machen; Pünings Rat, solange gleiche Magnete (Stricknadeln) an den gegebenen ersten anzufügen, bis keine Änderung des Nadelausschlags mehr erfolgt, kommt auf dasselbe hinaus, führt aber zu einer Polbestimmung des Ganzen und nicht des ursprünglichen ersten Stückes.

Auch das von Fr. C. G. Müller empfohlene Verfahren (*diese Ztschr.* 24, 346) eignet sich unter der gleichen Voraussetzung langer Magnete zur Demonstration.

Beide Verfahren gestatten auch, die Abhängigkeit der Pollage von der Entfernung des Aufpunktes nachzuweisen, doch ist ein Herabgehen auf so kleine Entfernungen, wie es für diesen Zweck wünschenswert wäre, nur möglich durch eine Vergrößerung der Direktionskraft der Lichtzeigernadel, die das Verfahren unangenehm kompliziert.

Frei von der Beschränkung auf lange Drahtmagnete ist dagegen das Verfahren von H. Kuhfahl (*diese Ztschr.* 17, 1), das sich aus diesem Grund besonders zur Bestimmung der Pollage und ihrer Abhängigkeit von der Entfernung im Schülerpraktikum eignet. Fig. 2 zeigt eine einfache Vorrichtung, die für diesen besonderen Zweck geeignet ist. Mit Hilfe eines einfachen Holzrahmens ist über einem Akkumulatorglas ein Stück Spiegelglas in senkrechter Lage aufgestellt; auf diesen Spiegel

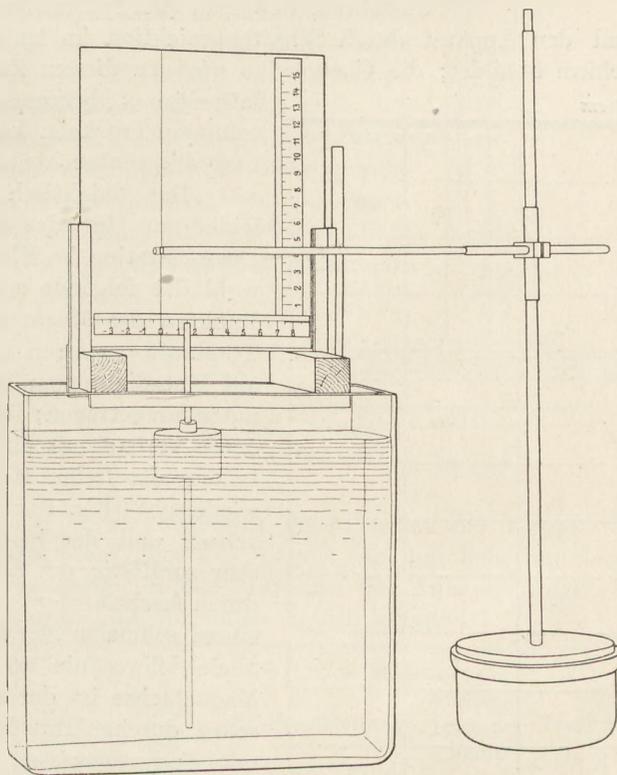


Fig. 2.

ist eine wagrechte und eine senkrechte Milimeterskala aufgeklebt und parallel der letzteren ein Diamantstrich eingerissen, der durch den Nullpunkt der ersteren geht. Der zu untersuchende Magnetstab von 24 cm Länge und 4 mm Dicke kann in einer Kreuzhülse aus Messingrohr wagrecht befestigt und damit an einer Messingsäule in wagrechter und senkrechter Richtung verschoben werden; ein gleicher Magnetstab ist so durch einen passenden Kork gesteckt, daß seine obere Polfläche in der Höhe des Nullpunkts der senkrechten Skala einspielt, wenn er in dem bis zur passenden Höhe mit Wasser gefüllten Akkumulatorglas schwimmt; ein am oberen Ende in der Verlängerung der Stabachse angeklebtes 2 mm langes Stückchen einer Schweinsborste

ermöglicht ein bequemes und scharfes Ablesen der Einstellung an der wagrechten Skala. Die kleine Tabelle enthält die Resultate eines solchen Versuches; die erste Kolonne gibt die Entfernungen der Magnetachse von der oberen Polfläche des Schwimmers, die zweite die Einstellungen der Schwimmerachse vom Stabende aus gemessen. Natürlich ist die Zahl 1,98 cm für den Abstand des Pols vom Stabende etwas zu klein, weil ja die Umkehr durch die Einwirkung des Außenpols zustande kommt: $\frac{1}{12}$ der Stablänge würde 2 cm ergeben; aber auch bei Anwendung eines 2 m langen Drahtmagnetes ist die Umkehr des Schwimmers noch deutlich zu erkennen.

a cm	x cm
0,5	1,28
1	1,51
1,5	1,71
2	1,87
2,5	1,93
3	1,98
3,5	1,97
4	1,92
4,5	1,88
5	1,79
6	1,57
7	1,33

Der ganze Vorgang des Wanderns des Schwimmers beim langsamen Heben des Magnetes an seinem Stativ vom Stabende nach dem Innern und die dann folgende Umkehr, die sogar über das Stabende hinaus beobachtet werden kann, ist so eindrucksvoll und lehrreich, daß gerade dieser Versuch auch im Klassenunterricht angestellt werden sollte (vgl. Fig. 3). Das läßt sich leicht in der Weise ausführen, daß man den Spiegel durch eine klare Glasscheibe ersetzt

und den Apparat durch Schattenprojektion im halbverdunkelten Zimmer auf einem Schirm abbildet; die Glasscheibe wird zu diesem Zweck mit einer ganz dünnen Gellatinlösung übergossen und nach dem in einigen Minuten erfolgten Trocknen kann man leicht die beiden Skalen und die senkrechte Nulllinie mit Tusche auftragen.

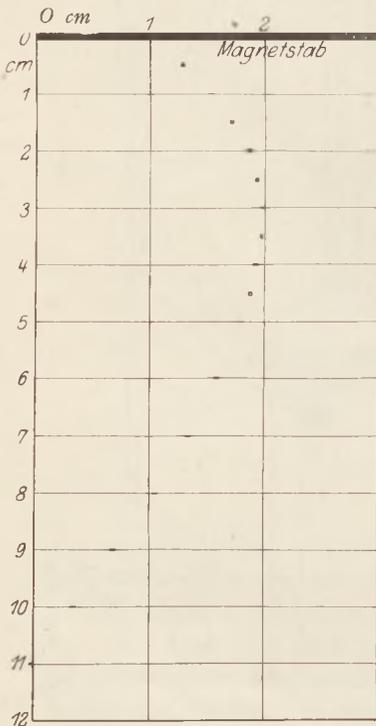


Fig. 3.

Das didaktisch wertvollste Verfahren, das sich leider nur für das Schülerpraktikum und nicht zur Demonstration im Klassenunterricht eignet, dürfte aber wohl das folgende sein. Es wird für eine Reihe von Punkten des Magnetstabes vom Ende beginnend die Tragkraft gemessen und die gefundenen Zahlen werden auf Koordinatenpapier über der Stabachse als Ordinaten aufgetragen; ihre Endpunkte bilden eine Kurve, deren Verlauf mit einer gewissen Annäherung die Verteilung des freien Magnetismus entlang der Stabachse wiedergibt (Fig. 6). Das von den beiden Koordinatenachsen und der Kurve begrenzte Flächenstück wird sehr sorgfältig mit scharfer Schere ausgeschnitten und durch Ausbalanzieren auf einer wagrechten Kante, z. B. einem schmalen Messerrücken, die den Ordinaten parallele Schwerlinie ermittelt; ihr Schnittpunkt mit der Magnetachse ist der Fernpol. Wer den Versuch nicht selbst durchgeführt hat, wird dem Verfahren vielleicht mit einem gewissen Mißtrauen gegenüberstehen; ich teile deshalb weiter unten die ausführlichen Resultate einer solchen Messung mit, aus denen man ersehen mag, daß dieses Mißtrauen nicht gerechtfertigt ist.

Fig. 4 und 5 zeigen eine für das Schülerpraktikum geeignete Form des Apparates, erstere von hinten, letztere von vorn aufgenommen. Auf der Rückseite trägt die Säule eine Spiegelskala zur Bestimmung der Federkonstante; am oberen Ende ist ein Arm angeschraubt, der in einer Hülse drehbar den Haken zur Aufnahme der Feder trägt. Zwischen unterem Federende und Wagschale befindet sich ein in ein leichtes Drahrähmchen eingekittetes Glasscheibchen von 15 mm Seitenlänge mit einem wagrechten Diamantstrich als Ablesemarke. An der Vorderseite gleitet zwischen Nutenleisten mit hinreichender Reibung, die mittels der Schrauben

an der rechten Leiste reguliert werden kann, entlang einer Millimeterteilung ein Schlitten mit einer Ablesemarke und einem Haken zur Aufnahme der Feder. Unten ist an die Säule zur Sicherung und Begrenzung der senkrechten Bewegung eine Führung für ein leichtes Aluminiumstäbchen angeschraubt, das an seinem oberen Ende mit einem Haken endigt und unten einen kurzen Weicheisenzylinder von 10 mm Länge und 4 mm Durchmesser mit kugelig abgerundetem unterem Ende trägt; die Kuppe dieses Ankers ist mit einer dicken Schicht Zaponlack überzogen, um direkte

Berührung mit dem in einer Nut auf dem Grundbrett liegenden Magnetstab von 24 cm Länge und 4 mm Dicke zu verhüten.

Die Ausführung der Messung gestaltet sich folgendermaßen: Nachdem die Federkonstante (d. i. Spannkraft für 1 cm Verlängerung) einer aus dünnem Messingdraht gewickelten, passenden Spiralfeder gemessen und berechnet ist, legt man in die Nut des Grundbrettes einen Messingdraht oder ein Glasrohr von 4 mm Dicke und schiebt den Schlitten so weit herab, daß die Kuppe des Eisenstückchens den Draht eben berührt; die zugehörige Stellung des Schlittens wird notiert und dann der Messingdraht durch den Magnet ersetzt, den man, wenn nötig, durch ein Stück Blei beschwert. Entlang der Nut, die den Magnet aufnimmt,

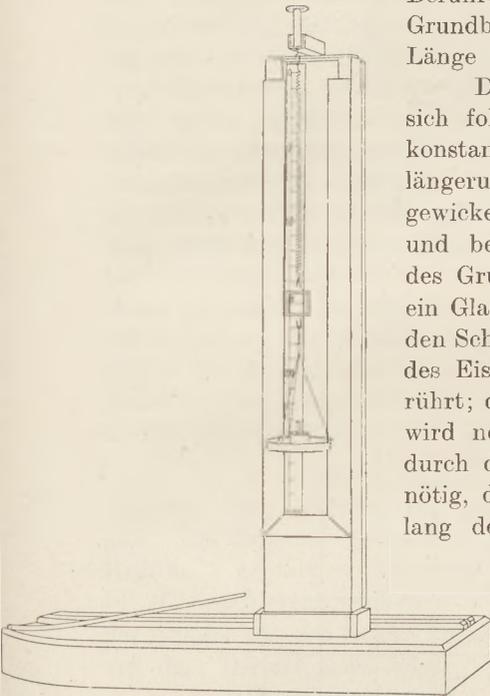


Fig. 4.

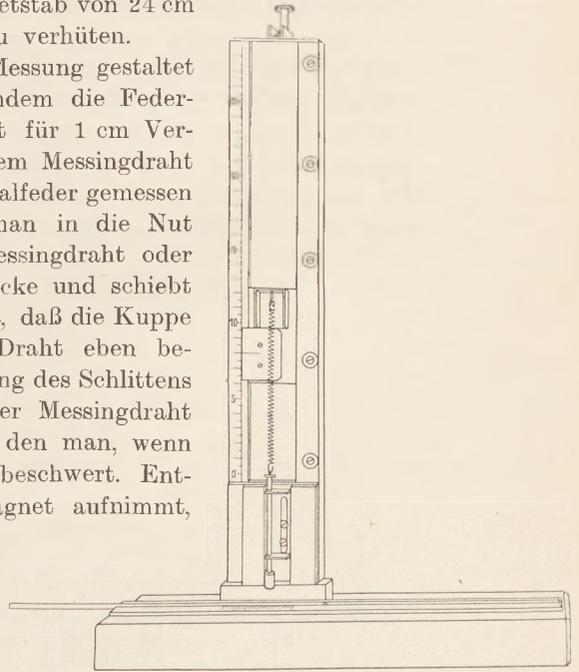


Fig. 5.

ist eine Millimeterteilung aufgeklebt, deren Nullpunkt genau unter der Kuppe des Eisenankers liegt; nach dieser Skala stellt man den Magnet ein und hebt nun langsam den Schlitten, zuletzt sehr vorsichtig, bis das Losreißen des Ankers erfolgt.

Bei einer solchen Messung wurden die folgenden Zahlen erhalten:

Federkonstante.				Tragkraft des Magnetes.					
Be- lastung	Ort der Marke	Ver- längerung cm	Spannung pro cm	Nr. der Feder	Abstand vom Stabende	Schlittenstellung		Verlänge- rung der Feder cm	Tragkraft in g
						zweite	erste		
Nr. 1				Nr. 1	0,2	16,13	7,00	9,13	8,91
0	10,62				0,5	14,46		7,46	7,27
2	12,50	1,88			1,0	12,88		5,88	5,74
4	14,56	3,94			1,5	11,75		4,75	4,64
6	16,72	6,10			2,0	10,92		3,92	3,82
8	18,91	8,29			2,5	10,21		3,21	3,14
10	21,17	10,55	0,976		3,0	9,67		2,67	2,61
Nr. 2					4,0	8,80		1,80	1,76
0	11,26			Nr. 2	4,0	15,10	10,48	4,62	1,74
1	13,84	2,58			5,0	13,59		3,11	1,17
2	16,51	5,25			6,0	12,42		1,94	0,75
3	19,20	7,94			7,0	11,71		1,23	0,46
4	21,91	10,55			8,0	11,24		0,76	0,29
5	24,59	13,33	0,377		9,0	10,99		0,51	0,19

Aus ihnen ergibt sich in der oben beschriebenen Weise als Abstand des Pols vom Stabende der Wert 2,3 cm gegen $\frac{1}{12}$ der Stablänge = 2,0 cm; daß der Wert etwas zu groß ausfällt, liegt daran, daß die Tragkraft am Stabende naturgemäß etwas zu klein gefunden wird (vgl. Fig. 6).

2. **Der äquivalente Magnet.** In den folgenden Darlegungen soll unter Magnet immer der ablenkende Stab verstanden werden, während der abgelenkte oder derjenige, dessen Drehmoment gemessen wird, in der herkömmlichen Weise als Nadel bezeichnet wird. Auch soll das Fernmoment stets mit \mathfrak{M} oder m bezeichnet werden und für das äquivalente Moment mögen die Zeichen M und m dienen.

Das Gaußsche Verfahren gestattet mit einer gewissen Annäherung die Berechnung des Fernmomentes \mathfrak{M} und der Horizontalintensität H aus den Resultaten eines Doppelversuchs; $\mathfrak{M} \cdot H$ wird hierbei in durchaus einwandfreier Weise durch die Schwingungsdauer des Magnets in dem homogenen Feld des Erdmagnetismus erhalten; dagegen wird bei dem Ablenkungsversuch mit senkrecht gekreuzten Feldern eigentlich das Verhältnis $M:H$ bestimmt, denn das Feld des Magnetes ist inhomogen. Nun zeigt aber ein Blick auf Fig. 1, daß in großen Entfernungen von dem Magnet und

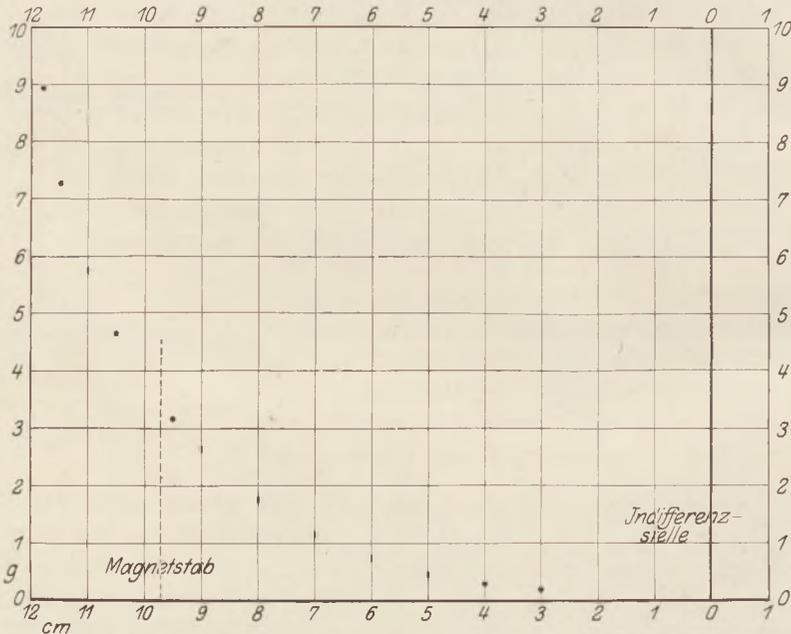


Fig. 6.

in dem kleinen Bereich einer sehr kurzen Nadel das Feld als nahezu homogen betrachtet werden kann. Aus diesem Umstand entspringt die Möglichkeit, aus dem Ablenkungsverfahren einen Wert von $M:H$ zu berechnen, der sich dem gesuchten Wert $\mathfrak{M}:H$ um so mehr nähert, als die Entfernung des Magnetes von der Nadel wächst und diese selbst kleiner wird. Dazu kommt die auch aus rechnerischen Gründen zu stellende Forderung, daß die Länge des Magnetes gegenüber seiner Entfernung von der Nadel eine kleine Größe sei, damit gewisse Glieder der Entwicklung vernachlässigt werden dürfen.

Es ist daher einleuchtend, daß die Gaußschen Formeln gerade dann versagen müssen, wenn man lange Magnete und kleine Entfernungen benutzen möchte, um das äquivalente Moment zu ermitteln und festzustellen, wie weit sich äquivalentes Moment und äquivalenter Polabstand von dem Fernmoment und dem Fernpolabstand unterscheiden und wie sich beide Größen mit wachsender Entfernung

ändern. Die rechnerischen Schwierigkeiten, die in diesem Fall in den Gaußschen Formeln liegen, haben ihre Ursache in der unsymmetrischen Lage der Magnetpole; es wird sich deshalb vielleicht als nützlich erweisen, für diesen Fall langer Magnete und kleiner Entfernungen von einer anderen Lage auszugehen, die zu einer bequemeren Formel führen muß. Dazu eignet sich besonders diejenige, bei der jeder Magnet senkrecht auf der Ebene steht, die durch seinen Mittelpunkt und die Achse des anderen bestimmt ist, also z. B. wenn der Magnet in ostwestlicher Lage senkrecht über oder unter der unabgelenkten Nadel liegt. Es muß dann freilich die Messung der Ablenkung durch eine solche des Drehmoments ersetzt werden, das erforderlich ist, um die Nadel im Meridian festzuhalten.

Fig. 7 zeigt zwei Magnetstäbe NS und ns in einer solchen Anordnung. Es seien diese beiden Stäbe geometrisch gleich und ihre Momente von derselben Größenordnung, so daß bei der symmetrischen Stellung angenommen werden kann, daß die Lage der äquivalenten Pole in beiden, gleichförmige Magnetisierung vorausgesetzt, dieselbe ist. Der für beide gleiche äquivalente Polabstand sei mit $2l$ bezeichnet, die Polstärke mit μ_1 und μ_2 , der Abstand der Mittelpunkte mit r . Es wirken dann auf den Pol n der Nadel in den Richtungen Nn und ns die beiden gleichen Kräfte

$$k = \mu_1 \mu_2 : (r^2 + 2l^2)$$

wie sich ohne weiteres aus der Figur ergibt. Die Diagonale x des von den beiden Kräften k gebildeten Rhombus ist parallel zu NS und steht senkrecht auf ns ; aus der Ähnlichkeit des halben Parallelogramms mit dem Dreieck NSn folgt:

$$x = k \cdot 2l : \sqrt{r^2 + 2l^2}$$

Demnach ist das Drehmoment um die Achse Oo , das die Nadel ns durch den Magnet NS erfährt

$$D = 2l \cdot x = M \cdot m : \sqrt{r^2 + 2l^2}$$

und man erhält folgende Gleichungen zur Bestimmung der magnetischen Größen:

$$Mm = D \cdot \sqrt{r^2 + 2l^2} \quad \dots \quad 1)$$

$$Mm = \left(\frac{r_1^2 - r_2^2}{D_1^{2/3} - D_2^{2/3}} \right)^{3/2} \cdot D_1 \cdot D_2 \quad \dots \quad 2)$$

$$2l = \left(\frac{2(r_2^2 \cdot D_1^{2/3} - r_1^2 \cdot D_2^{2/3})}{D_1^{2/3} - D_2^{2/3}} \right)^{1/2} \quad \dots \quad 3)$$

Diese Gleichungen gelten ohne jede Einschränkung für alle Entfernungen und für Magnete jeder Größe. Formel 1 gestattet eine sehr bequeme Bestimmung von $M \cdot m$ für den Fall, daß man für $2l$ $\frac{5}{6}$ der Stablänge setzen darf und will; Formel 2 und 3 ermöglichen die getrennte Berechnung dieser Größen nach Messung von D aus zwei Entfernungen. Dabei ist aber folgendes zu beachten: Die Größe von $r^2 \cdot D^{2/3}$ im Zähler von $2l$ nähert sich für wachsende r nach Gleichung 1 dem Grenzwert $(M \cdot m)^{2/3}$ so daß der Klammerausdruck im Zähler und damit der Wert von $2l$ für größere Werte von r infolge des zunehmenden Einflusses der Beobachtungsfehler unsicher wird; ähnliches gilt übrigens auch für die Gaußschen Gleichungen.

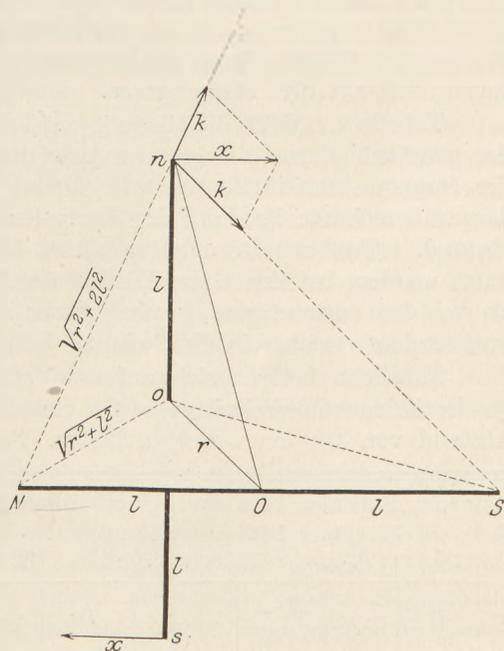


Fig. 7.

für die beiden schon oben benutzten Magnete von 24 cm Länge und 4 mm Durchmesser, die auch bei späteren Messungen noch Verwendung finden werden.

Das gemeinsame Ergebnis aller dieser Messungen ist dieses: Das äquivalente Moment ist durchweg kleiner als das Fernmoment; der Unterschied wächst mit der Stablänge. Mit zunehmender Entfernung nimmt das äquivalente Moment zuerst ein wenig zu, um dann dauernd abzunehmen, soweit die Beobachtungen reichen. Das gleiche Verhalten zeigt der äquivalente Polabstand.

3. Die Magnetwaage. Auf den hohen didaktischen Wert der Töplerschen Magnetwaage (*W. A. 21, 158. 1887*) gerade für den elementaren Unterricht ist in dieser Zeitschrift bereits mehrfach aufmerksam gemacht worden (*Kuhfahl, 17, 1; Borgesius, 22, 284; Wendler, 24, 272*). Ihr ganz besonderer Vorzug besteht darin, daß sie gestattet, das Produkt $M \cdot H$ in sehr einfacher und durchsichtiger Weise nach einem statischen Verfahren zu bestimmen und demnach das Gaußsche Schwingungsverfahren zu ersetzen, dessen Verständnis nicht ohne Schwierigkeiten ist. Wenn gleichwohl nebenher zur Erreichung dieses Zweckes noch andere Vorrichtungen erdacht und in dieser Zeitschrift beschrieben worden sind (*Strecker, 9, 209; Püning, 10, 289; Noack, 15, 195 und 23, 286; Fr. C. G. Müller, 23, 17*), so hat dies seine Ursache besonders darin, daß bis jetzt keine Ausführungsform der Töplerschen Waage angegeben worden ist, die den Bedürfnissen des Schulunterrichts gerecht geworden wäre, denn eine Waage, die zu exakten Messungen dienen soll, muß mit einer gewissen Sorgfalt gebaut sein und ist daher kein ganz wohlfeiler Apparat. Aber einen solchen anzuschaffen mit der gewissen Aussicht, daß er nur zu einem einzigen Versuch, eben der Bestimmung von $M \cdot H$, dienen kann, müssen sich wohl die meisten Schulen versagen. Anders liegt natürlich die Sache, wenn es sich als möglich erweist, mit derselben Waage auch das Stabmoment und damit auch die Horizontalintensität zu bestimmen, also auch das Ablenkungsmagnetometer durch die Magnetwaage zu ersetzen.

Nach den Ergebnissen der oben beschriebenen Versuche ist diese Möglichkeit mit einer gewissen Einschränkung gegeben, denn die im Art. 2 mitgeteilten Formeln gestatten die Bestimmung des Produktes $M \cdot m$ zweier Momente auch für kleine Entfernungen der Magnete, während uns die Gleichungen für die beiden Gaußschen Hauptlagen gerade in diesem Fall im Stich lassen. Könnte man kurze Magnete für eine solche Waage benutzen, so würde man in den gemessenen äquivalenten Momenten Werte erhalten, die bei gewissen Entfernungen sich kaum von den Fernmomenten unterscheiden. Leider hat sich das, wenigstens für einen Schulapparat, aus technischen Gründen, als undurchführbar erwiesen; bei langen dünnen Magneten können aber die Abweichungen 3 $\frac{0}{10}$ erreichen.

Ich bin der Meinung, daß man diesen Nachteil ruhig mit in den Kauf nehmen kann, wenn es gelingt, in der Magnetwaage einen Apparat zu schaffen, der die Erledigung aller für die Schule in Frage kommenden magnetischen Messungen gestattet und zwar unter Benutzung ganz elementarer mathematischer Hilfsmittel. Meine Bemühungen in dieser Angelegenheit gehen auf viele Jahre zurück und waren lange Zeit nicht erfolgreich; ich glaube aber jetzt eine Form der Magnetwaage gefunden zu haben, die den dargelegten Bedürfnissen entspricht; die Fig. 8 und 9 zeigen diesen Apparat mit einigen Nebenteilen, von denen noch die Rede sein wird. (Bei der photographischen Aufnahme wurde im Interesse der besseren Übersichtlichkeit eine einfache Arretierung für den Wagbalken weggelassen.)

Die eigentliche Waage besteht aus einem unten zugelöteten Messingrohr von 22 cm Länge und 4 mm lichter Weite, in das die zu einer vollständigen Messung erforderlichen drei Magnetstäbe von 24 cm Länge und 3 mm Dicke wechselweise leicht eingeschoben werden können; es ist durch die Durchbohrung des als Schneide dienenden Stahlprismas durchgesteckt und an ihm mit Schrauben so befestigt, daß die Schneide

sich genau 12 cm über dem Boden der Röhre befindet, das ist also an der Stelle, an die die Mitten der Magnetstäbe zu liegen kommen; ein leichtes Reiterlineal, vorn und hinten in Millimeter geteilt, vervollständigt den Wagbalken, unten trägt das Rohr einen langen Aluminiumzeiger, oben drehbare Hülsen zum Regulieren des Schwerpunkts. Das an der Rückwand des Kastens befindliche Konsolchen mit den Achatlagern ist links offen, damit man den ganzen Wagbalken leicht herausnehmen, die Magnete auswechseln oder die Wage nach Bedarf umwenden kann, so daß die Hinterseite nach vorn zu liegen kommt und die Arme vertauscht sind. Der Wagekasten ist an eine runde Holzplatte mit einer Kreisteilung angeschraubt, die ihrerseits auf dem mit drei Stellschrauben versehenen Sockel um einen konzentrischen

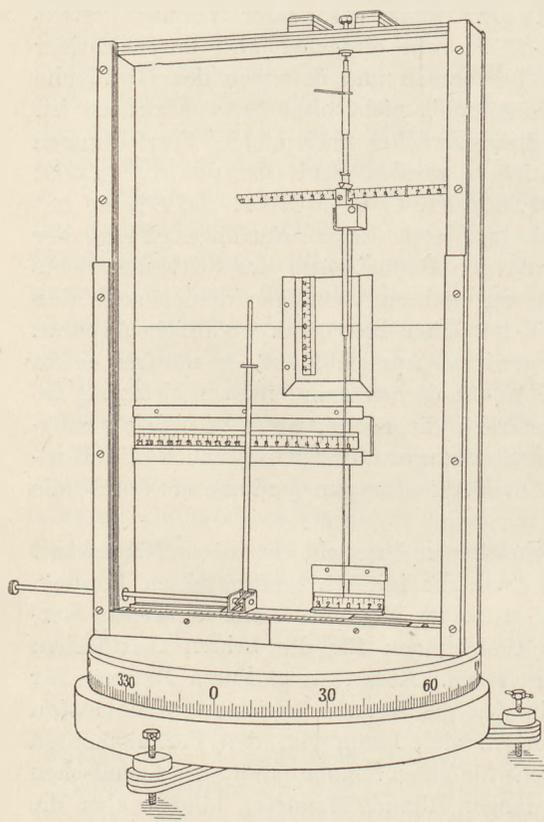


Fig. 8.

Zapfen drehbar ist. Auf der Decke des Wagekastens ist ein Lager vorgesehen, in dem eine Meßplatte senkrecht zur Schwingungsebene befestigt werden kann; diese ist mit einer nach beiden Seiten verlaufenden Millimeterteilung, deren Nullpunkt senkrecht über der Mitte der Schneide liegt, beklebt. Die Einrichtung des Schlittens ist aus Fig. 9 ohne weiteres verständlich; unten trägt er genau in der Höhe der Wageschneide eine einerseits geschlossene Messingröhre von 22 cm Länge zur Aufnahme des ablenkenden Magnetes und zur Sicherung seiner angemessenen Lage.

Eine Messung mit den drei Magneten, die ebenso wie ihre Momente mit M_1 , M_2 und M_3 bezeichnet werden sollen, gestaltet sich nun folgendermaßen (das Prinzip darf als bekannt vorausgesetzt werden): 1. mit Hilfe einer Taschenbussole wird die Schwingungsebene der Wage in den magnetischen Meridian des Beobachtungsortes gebracht, die Lage des Nullpunkts der Kreisteilung durch eine in den Sockel gesteckte Stecknadel markiert und mit Hilfe der Reguliergewichtchen nach Einführung eines der

Magnetstäbe der Zeiger auf Null gebracht; 2. die Platte der Wage wird um 180° gedreht und durch Aufsetzen von Reitergewichten das gestörte Gleichgewicht wieder hergestellt; das gemessene Drehmoment, Reiterwert in Dyn mal Hebelarm in cm, ist das Maß für $2 \mathfrak{M}_1 H$. In gleicher Weise kann man zur Kontrolle auch $2 \mathfrak{M}_2 H$ und $2 \mathfrak{M}_3 H$ bestimmen. 3. Während sich M_1 in der Hülse der Wage befindet, wird M_2 bzw. M_3 in die Schlittenhülse gebracht, mit Hilfe der Reitergewichte ein Drehmoment hergestellt, über dessen angemessene Größe und Richtung man sich vorher unterrichtet hat, und nun der Schlitten so lange verschoben, bis die Wage einspielt; dann erhält man nach Formel 1 ($2l = \frac{5}{6}$ der Stablänge gesetzt) aus dem bekannten Drehmoment und den abgelesenen Werten von r die Produkte $M_1 \cdot M_2$ und $M_1 \cdot M_3$. 4. M_1 in der Wage wird durch M_2 oder M_3 ersetzt und in der gleichen Weise $M_2 \cdot M_3$ bestimmt.

Aus $M_1 \cdot M_2$, $M_1 \cdot M_3$ und $M_2 \cdot M_3$ erhält man die einzelnen Werte der drei äquivalenten Momente; durch Einsetzen in $\mathfrak{M}_1 \cdot H$, $\mathfrak{M}_2 \cdot H$ oder $\mathfrak{M}_3 \cdot H$ die Horizontal-

intensität H unter der Annahme, daß der Unterschied zwischen M und \mathfrak{M} unerheblich ist. Dies ist das Verfahren, wie es für die Demonstration am geeignetsten ist, da es sich sehr rasch und sicher ausführen läßt; für Messungen im Schülerpraktikum kann man natürlich auch so verfahren, daß man dem Schlitten eine bestimmte Stellung gibt und nun das vorhandene Drehmoment mit Hilfe der Reiter, eventuell bei schwingender Wage ermittelt; welchen von beiden Wegen man einschlägt, ist unerheblich für die Güte der Resultate.

Von einer Mitteilung von Zahlenbeispielen darf ich an dieser Stelle wohl absehen, da der nächste Artikel Gelegenheit gibt, die Zuverlässigkeit der Wage kennen zu lernen.

4. Coulombs Gesetz. Auf die im Wesen des Magnetismus begründete Unmöglichkeit eines einwandfreien experimentellen Beweises für das Coulombsche Gesetz ist in dieser Zeitschrift wiederholt hingewiesen worden, am eindringlichsten wohl von Ruoff (*diese Ztschr.* 21, 304) und von Fr. C. G. Müller (*diese Zeitschr.* 22, 73). Aber die zahlreichen Veröffentlichungen über diesen Gegenstand und die immer wiederkehrenden Versuche, eine brauchbare Anordnung zu finden, beweisen das tiefe Bedürfnis des physikalischen Unterrichts, dieses Grundgesetz aus seiner abstrakten Höhe herabzuholen und den Schülern wenigstens durch die Anschauung näher zu bringen, wenn auch ein strenger Beweis nicht möglich ist. Von allen Verfahren, die in den letzten Jahren zu diesem Zweck angegeben worden sind, liefert die genauesten und zuverlässigsten Resultate das von H. Kuhfahl (*diese Ztschr.* 10, 183) empfohlene, bei dem die an einer Tangenteilung gemessenen Ablenkungen einer sehr kurzen Magnetnadel als Maß der Kraft dienen, die ein Pol eines 1 m langen Drahtmagnets auf die Nadel ausübt; Fr. C. G. Müller (*diese Ztschr.* 22, 1 u. 73) hat die Methode durch Anwendung seiner Lichtzeignadel und eines 2 m langen Drahtmagnets derart verbessert, daß sie an Zuverlässigkeit und Bequemlichkeit nichts zu wünschen übrig läßt, zumal wenn man die immer noch bemerkbare Wirkung des Außenpols durch dessen angemessene Lagerung unschädlich macht.

Aber es fehlt diesem Verfahren die Unmittelbarkeit, durch welche die Abstoßung zwischen Pol und Pol ausgezeichnet ist, und das ist für manche ein Grund, es abzulehnen, obwohl die Darlegung der obwaltenden Beziehungen gewiß nicht schwierig ist. Es ist demnach begreiflich, daß viele trotz aller Bedenken immer wieder zu der Grimsehschen Polwage (*diese Ztschr.* 16, 334) zurückkehren. Nun unterscheidet sich die oben beschriebene Magnetwage von der Polwage doch nur in nebensächlichen Punkten und es lag deshalb nahe, sie auch zum Nachweis des Coulombschen Gesetzes zu benutzen. Abgesehen von der Verschiedenheit der Stellung des Magnetes, hier senkrecht, bei Grimsehl wagrecht, ist der einzige Unterschied der, daß Grim-

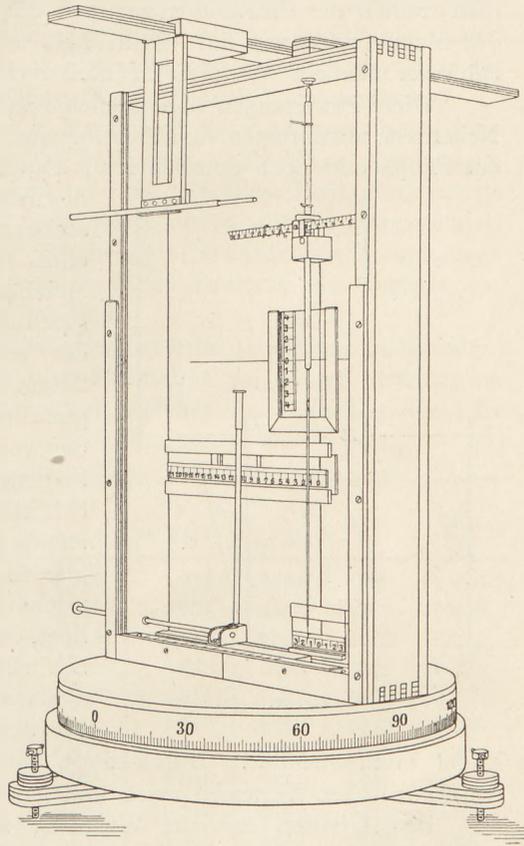


Fig. 9.

sehl den einen Pol in den Unterstützungspunkt legt, um ihn unschädlich zu machen, während bei unserer Magnetwaage der Indifferenzpunkt mit der Mittelschneide zusammenfällt. Das ist aber in doppelter Hinsicht ein Vorteil, denn einmal fällt der prinzipielle Fehler weg, der infolge der Unsicherheit der Pollage schon in der Konstruktion der Polwaage liegt, und dann ist, wie man aus einer Vergleichung der Figuren 10a und b, leicht erkennt, bei der Grimsehl'schen Anordnung, gleiche Magnetlänge vorausgesetzt, die störende Einwirkung des unteren Pols S wegen der kleineren Entfernung und wegen des größeren Hebelarms ganz erheblich größer als bei der Magnetwaage, während die Wirkungen der beiden anderen Polpaare N_s und S_n auch bei der letzteren wegfallen, weil sie entgegengesetzt gerichtet sind. Als Nachteil steht dem freilich der Umstand gegenüber, daß die wirksame Abstoßung der Innenpole bei der Magnetwaage nur an einem halb so langen Hebelarm wirkt; durch die Wahl stärkerer Magnete ist dieser Nachteil mehr als ausgeglichen (man sehe Tabelle S. 20).

Diese Erwägungen haben mich veranlaßt, bei der Magnetwaage die erforderlichen Nebenteile anzubringen, um dieselbe auch als Polwaage benutzen zu können. Wie man aus Fig. 8 und noch deutlicher aus Fig. 9 erkennt, gleitet zwischen Nuten am Boden

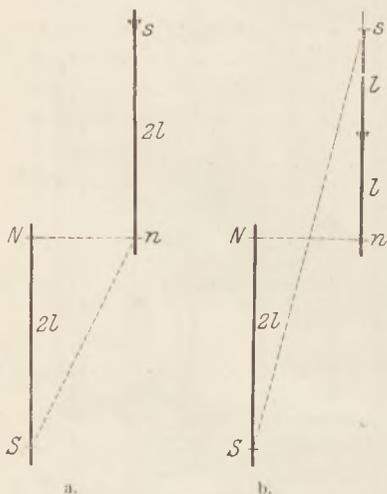


Fig. 10.

des Wagekastens ein Schlitten, der von außen verschoben werden kann; an diesen Schlitten ist mittels eines Fußes, der die senkrechte Lage sichert, ein Messingrohr von 4 mm innerem Durchmesser angeschraubt, in dem mittels einer Klemmhülse einer der schon mehrfach benutzten Magnetstäbe von 24 cm Länge befestigt und in jeder Höhenlage eingestellt werden kann. Eine Millimeterteilung auf der vorderen Nutenleiste, deren Nullpunkt dem des Zeigers der Waage entspricht, und eine Marke am Schlitten gestatten die Messung des jeweiligen Abstands der Magnete; eine wagrechte Skala auf Spiegelglas in $\frac{2}{3}$ der Höhe der Magnethülse, deren Nullpunkt hinter dem Zeiger der einspielenden Waage liegt, ermöglicht eine Kontrolle der richtigen Stellung. Schließlich ist an der Rückwand noch eine senkrechte Skala auf Spiegelglas angebracht, deren Nullpunkt mit dem unteren Ende des Wagemagnets oder der

Nadel zusammenfällt. Durch diese Zusatzteile ist die Möglichkeit gegeben, die Grimsehl'schen Versuche rasch und genau auszuführen.

Das Arbeiten mit der Waage als Polwaage geschieht am besten in folgender Weise: Nachdem man sich durch einen Vorversuch von den Grenzwerten des Drehmomentes für die extremen Abstände des Magnets von der Nadel unterrichtet hat, erteilt man der Waage ein beliebiges Drehmoment aus diesem Intervall, sagen wir 660 Dyn-cm, und sucht diejenige Stellung des Magnetes, es sei $r = 9,22$ cm, bei der die Waage im Gleichgewicht ist; alsdann verfährt man ebenso mit dem Drehmoment 165 Dyn-cm und findet $r = 18,47$ cm; es ist $660 : 165 = 4$; $18,47 : 9,22 = 2,003$.

Bei einiger Übung gelingt es spielend leicht, den Zeiger durch Verschieben des Schlittens ganz aperiodisch auf den Nullpunkt zu bringen, und die Ausführung der Messungen vollzieht sich in dieser Weise überraschend schnell und sicher. Das Spiel der Waage ist bei einer Zeigerlänge von 37,5 cm weithin sichtbar, und wenn man in dieser Beziehung noch höhere Anforderungen stellt, so braucht man nur die Rückwand des Wagekastens aus Glas zu machen und kann dann das Ganze durch Schattenprojektion auf dem Schirm abbilden.

Das Einstellen der Pole einander gegenüber auf gleiche Höhe kann unter der Annahme eines Polabstands von $\frac{5}{6}$ der Stablänge, d. h. einer Polentfernung vom Ende

gleich $\frac{1}{12}$ mit Hilfe der an der Rückwand angebrachten Spiegelskala geschehen; man kann aber die Aufgabe auch ganz voraussetzungslos in folgender Weise behandeln: Die Enden von Magnet und Nadel werden auf gleiche Höhe gebracht (Nulllinie der Teilung), der Schlitten nahe herangeschoben, etwa bis auf 2 oder 3 cm Abstand der Magnete und die Wage durch passende Reiterbelastung ins Gleichgewicht gebracht; dann wird der Magnet um kleine Beträge, z. B. $\frac{1}{3}$ cm gehoben und der Schlitten jedesmal verschoben, bis der Zeiger wieder einspielt. Es zeigt sich, daß die abstoßende Kraft erst wächst und dann wieder abnimmt; das Maximum der Wirkung, das man einer graphischen Darstellung der Resultate mit großer Genauigkeit entnehmen kann, entspricht der Gegenüberstellung der Pole, wenn man von dem Einfluß der Außenpole absieht, der bei diesem kleinen Abstand der Innenpole praktisch vollkommen verschwindet. Er macht sich aber durch ein Abwandern des Maximalpunktes im Sinn einer Verkleinerung des Polabstands bemerklich, wenn man die Messung bei größeren Entfernungen der Magnete bis zu 6 oder 7 cm wiederholt.

Sehr wesentlich für das Gelingen solcher Messungen ist eine vorsichtige Auswahl der Magnetstäbe, denn es sind nur solche brauchbar, bei denen magnetische und geometrische Achse möglichst genau zusammenfallen. Ob diese Bedingung erfüllt ist, läßt sich leicht in der Weise prüfen, daß man den Schlitten mit dem eingesetzten Magnet der Nadel auf eine kleine Entfernung nähert und das ausgeübte Drehmoment durch passende Reiterbelastung ausgleicht; dann darf eine Drehung des Magnets um seine Achse keine Änderung der Einstellung bewirken.

Es sei mir nun gestattet, eine größere Beobachtungsreihe in extenso mitzuteilen, weil sich daraus leicht erkennen läßt, was man überhaupt von dieser Methode zu erwarten hat, was sie nicht zu leisten vermag und welches die Ursachen des Versagens sind.

D c. g. s.	Vorderseite		Hinterseite		Mittel r		r cm	r_2 r. K.	$\mu \mu_2$	d cm
	Abst.	Anz.	Abst.	Anz.	Abst.	Anz.				
3900	2,92	3,10	2,92	3,10	2,920	3,100	3,010	3534	3536	0,480
2635	3,90	4,04	3,91	4,05	3,905	4,045	3,975	4163	4167	0,426
1880	4,91	5,02	4,90	5,02	4,905	5,020	4,963	4630	4639	0,375
1415	5,90	5,99	5,89	6,01	5,895	6,000	5,948	5006	5022	0,321
1090	6,92	6,99	6,91	7,00	6,915	6,995	6,955	5272	5299	0,276
860	7,93	7,98	7,93	8,00	7,930	7,990	7,960	5449	5492	0,233
695	8,94	8,97	8,93	8,98	8,935	8,975	8,955	5575	5633	0,202
575	9,91	9,93	9,90	9,94	9,905	9,935	9,920	5659	5739	0,175
480	10,91	10,92	10,89	10,93	10,900	10,925	10,913	5715	5821	0,150
410	11,84	11,83	11,82	11,86	11,830	11,845	11,838	5747	5880	0,135
345	12,92	12,90	12,90	12,94	12,910	12,920	12,915	5755	5927	0,115
295	13,96	13,96	13,95	13,97	13,955	13,965	13,960	5749	5964	0,110
255	14,99	14,97	14,96	15,00	14,975	14,985	14,980	5722	5979	0,105
225	15,92	15,91	15,90	15,93	15,910	15,920	15,915	5699	6002	0,100
200	16,85	16,83	16,82	16,86	16,835	16,845	16,840	5670	6022	0,090
170	18,20	18,16	18,16	18,20	18,180	18,180	18,180	5618	6045	0,080
155	19,00	18,98	18,97	18,99	18,985	18,985	18,985	5686	6063	0,065
135	20,25	20,20	20,21	20,26	20,230	20,230	20,230	5525	6083	0,055

Die erste Kolonne enthält die angewendeten Drehmomente in c.g.s. (Dyne-Reiter), die zweite und dritte die beobachteten Abstände von Magnet und Nadel für Abstoßung und Anziehung, die vierte und fünfte dasselbe nach Umlegen der Wage, die sechste und siebente die Mittel von r_+ bzw. r_- , die achte das Gesamtmittel; die nächste enthält die Produkte $r^2 \cdot k$, wo $k = \frac{D}{l} = \frac{1}{10} D$ ist, wegen $l=10$, und dann folgen unter

$\mu_1 \mu_2$ die unter Berücksichtigung der Außenpole berechneten Werte des Produktes der Polstärken. Von der letzten Kolonne wird sogleich die Rede sein.

Betrachten wir zunächst die Zahlen unter $r^2 \cdot k$, die entscheidend sind für den Wert des Verfahrens für den Unterricht, so finden wir, man kann wohl sagen, wider alles Erwarten, eine brauchbare Konstanz der Resultate mit einem Fehler von nicht über 5% zwischen den Entfernungen $r=8$ cm bis $r=20$ cm, in welchem Intervall auch der Unterschied von Anziehung und Abstoßung vernachlässigt werden darf. E. Grimsehl (*diese Ztschr.* 16, 336) hat die Ursachen, die zu diesem Ergebnis zusammenwirken, durchaus zutreffend angegeben: Der Einfluß der Außenpole bewirkt, daß die Werte von D oder k , also auch die Produkte $r^2 \cdot k$ mit wachsendem r zu klein werden; die Induktion, deren Einfluß Grimsehl wohl überschätzt hat, bewirkt, wie ein Vergleich der Zahlen der sechsten und siebenten Kolonne lehrt, daß für die Abstoßung die gemessenen Werte von r zu klein, für die Anziehung zu groß sein müssen. Berechnet man also mit dem Mittel von $r+$ und $r-$ unter Berücksichtigung der Wirkung der Außenpole die Werte für $\mu_1 \mu_2$, so müßten diese konstant sein; die vorletzte Kolonne zeigt, daß dies nicht der Fall ist. Der Grund liegt, wie E. Grimsehl richtig vermutet hat, darin, daß der Pol nicht mit der magnetischen Achse zusammenfällt, sondern merklich hinter derselben zu suchen ist; dadurch fallen die gemessenen Werte von r zu klein aus, und zwar überwiegend bei den kleinen Abständen.

In der letzten Kolonne sind die Verschiebungen des Pols hinter der Achse berechnet und zwar unter der Annahme eines Grenzwertes von $\mu_1 \mu_2 = 6150$; es wäre interessant, sie mit den Werten zu vergleichen, die sich auf Grund eines Verteilungsgesetzes des freien Magnetismus, etwa des einfachen von F. Kohlrausch (*W. A.* 31, 612) angegebenen, berechnen lassen; die von Fr. C. G. Müller (*diese Ztschr.* 22, 78) mitgeteilte halbelementare Berechnung ist hierfür nicht ausreichend, weil sie gleichförmige Verteilung voraussetzt.

Die in diesen Mitteilungen besprochenen Apparate können von der Firma Ludwig Schmittgall, Mechanische Werkstätten, Gießen, bezogen werden.

Über Gewicht, Kraft und Energie.

Von

Dr. J. Weiß in Ettenheim (Baden).

I. Das Gewicht wird als die Kraft definiert, welche einem freibeweglichen Körper die Fallbeschleunigung erteilt. Hieraus ergibt sich ohne weiteres die Formel $G = m \cdot g$. Andererseits werden Gewichte ausschließlich statisch gemessen und zwar mit Hilfe der Federwage. Da nun häufig versäumt wird, die Übereinstimmung des statischen Maßes mit der Definition experimentell nachzuweisen, entsteht im Verständnis der Schüler eine Lücke, die dann durch langatmige Auseinandersetzungen über den Unterschied der Begriffe Maße und Gewicht ausgefüllt werden soll. Das gewünschte Ziel wird man jedoch sicherer erreichen, wenn man sich entschließt, im Anschluß an die Definition des Gewichts einige Versuche darüber zu machen. Ich benutze dazu folgende Apparate.

Ein möglichst leichter Balken 1 dreht sich in dem Lager 2. Das eine Ende trägt in einer Gabel ein ebenfalls sehr leichtes Schnurrad 3 und ist durch eine Spiralfeder 4 mit einem Stäbchen 5 verbunden, das durch eine Schraube 6 in verschiedener Höhe festgestellt werden kann und zum Ablesen seiner Stellung eine Teilung besitzt. Mit ihm läßt sich die Spiralfeder nach Wunsch spannen; der Anschlag 7 hält dabei den Balken 1 in seiner ursprünglichen Stellung zurück. Der Balken 1 mit dem Rädchen 2 ist ausbalanciert.

Die Versuche werden zum Teil an einer schiefen Ebene angestellt. Als solche benutze ich eine Spiegelglasplatte von 1,5 m Länge, auf der ein Wagen von der Masse m läuft. Die sehr geringe Reibung wird durch ein Übergewicht oder durch geringes Neigen der Glasplatte kompensiert. Das Wägelchen ist an einer Schnur angebunden, welche über die Rolle 3 der Federwage geht. Auf irgendeine Weise, am einfachsten durch ein kleines Gewicht, wird

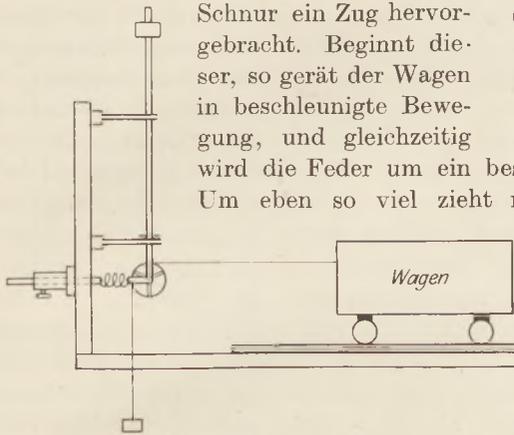


Fig. 1.

am anderen Ende der Schnur ein Zug hervorgerufen. Beginnt dieser, so gerät der Wagen in beschleunigte Bewegung, und gleichzeitig wird die Feder um ein bestimmtes Stück l verlängert.

Um eben so viel zieht man das Stäbchen, an dem

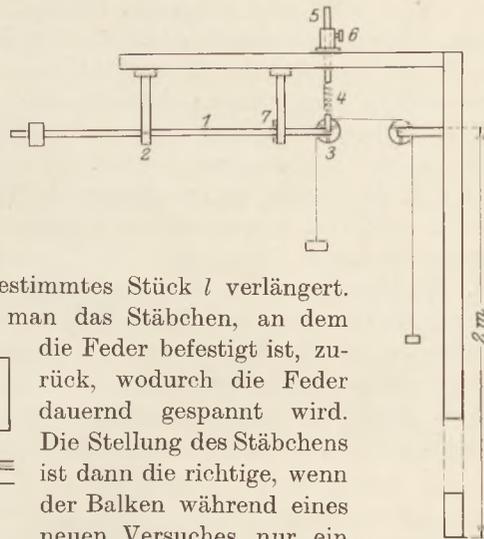


Fig. 2.

die Feder befestigt ist, zurück, wodurch die Feder dauernd gespannt wird. Die Stellung des Stäbchens ist dann die richtige, wenn der Balken während eines neuen Versuches nur ein ganz klein wenig vom Anschlag losgelöst wird.

Es läßt sich nun zeigen:

1. Der vom Wagen zurückgelegte Weg ist proportional dem Quadrat der Zeit; die Beschleunigung w ist konstant (wird berechnet).
2. Die Verlängerung der Spiralfeder l ist proportional der jeweils erteilten Beschleunigung, sowie
3. der in Beschleunigung versetzten Masse m .

Hieraus ergibt sich, daß l proportional $m \cdot w$ ist. Da man $m \cdot w$ gleich der wirkenden Kraft setzt, hat man somit die Feder als Dynmesser geacht.

4. Die schiefe Ebene, mit der die Federwage fest verbunden ist, wird darauf so geneigt, daß der Wagen trotz des Zuges in der Schnur in Ruhe bleibt. Die Schnur bleibt dabei der Spiegelglasplatte parallel, und der Neigungswinkel derselben sei α . Man findet, daß der von der Feder angezeigte Zug durch die Bahnkomponente des Gewichts des Wagens kompensiert wird (Kosinussatz der Mechanik).
5. Man macht $\alpha = 90^\circ$, wobei man eine geeignet große Masse m an die Feder anhängt. Aus der Federverlängerung und m findet man, daß die von der Feder angezeigte Beschleunigung gleich der Beschleunigung beim freien Fall ist.
6. Man mißt die Federverlängerung, die ein vertikal beschleunigter Körper hervorbringt; die Federverlängerung gibt dabei die Auflagerreaktion an. Die Auflagerreaktion wird 0, wenn der Körper mit der Fallbeschleunigung fällt, also frei ist, und ist gleich dem Gewicht, wenn der Körper ruht. Allgemein ist sie $m(g - \gamma)$.
7. Die Gleichung $G = m \cdot g$ wird an der Schwungmaschine nachgeprüft, indem man der Masse m eine Zentripetalbeschleunigung von $981 \frac{\text{cm}}{\text{sec}^2}$ erteilt. Die Zentripetalkraft der Masse m hält dem Gewicht einer gleich großen Masse gerade das Gleichgewicht.

Bei Versuch 1, 2, 3 und 6 genügt die Stoppuhr zur Messung der Zeiten nicht gut. Ich habe auf die im Folgenden angegebene Methode gute Resultate erzielt. Ich beschreibe die Einrichtung zu Versuch 1.

Erforderlich ist eine elektrische Klingel, ein Pendel P , das beim Passieren der Gleichgewichtslage für einen Augenblick einen elektrischen Strom schließt, ein Kontakt K , der durch den Anprall des Wagens geöffnet wird, ein Elektromagnet sowie zwei galvanische Stromquellen (Elemente oder Akkumulatoren).

Die Klingel wird als Relais benutzt. Es werden zwei Stromkreise gebildet, von denen der eine aus einem Akkumulator, dem Elektromagnet der Klingel, dem durch den Wagen zu öffnenden Kontakt K und dem Pendel besteht. Der zweite Stromkreis enthält den zweiten Akkumulator, den Unterbrecher der Klingel und den Elektromagnet. Letzterer muß so stark sein, daß er den Wagen trotz des Zuges in der Schnur festzuhalten vermag. Wird dieser zweite Stromkreis unterbrochen, so setzt sich der Wagen in Bewegung; dies geschieht, sobald das in Schwingungen versetzte Pendel bei seinem ersten Durchgang durch die Gleichgewichtslage für einen Moment den ersten Stromkreis schließt; natürlich muß dabei der Kontakt K geschlossen sein. Gleichzeitig ertönt ein Schlag auf die Glocke. Der Wagen läuft nun auf der Spiegelglasplatte hin, wobei von Zeit zu Zeit weitere Glockenschläge erfolgen. Dies geht so lange, bis der Wagen den Kontakt geöffnet hat; hierauf ertönt die Glocke nicht mehr. Man kann den Kontakt K längs der Bahn so lange hin- und herschieben, bis man die Stelle findet, von wo ab die Glocke bei den Ver-

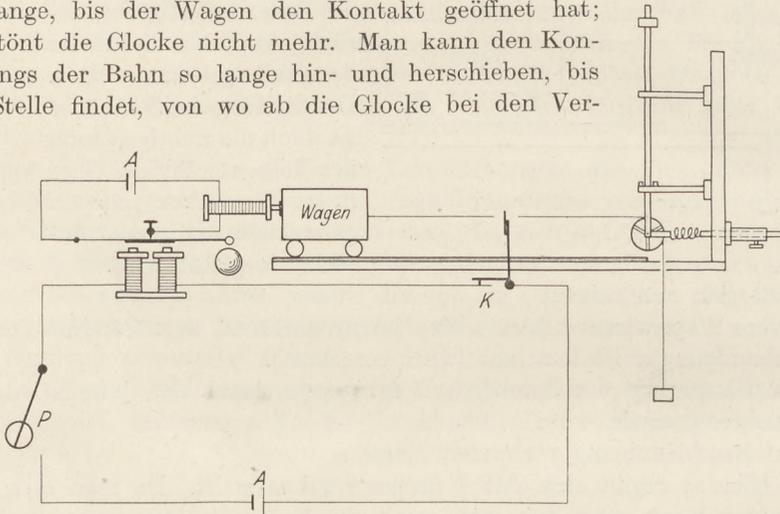


Fig. 3.

suchen einmal mehr ertönt. Man braucht dann nur die Zahl der Pendelschwingungen zu zählen, die erfolgen, während der Wagen vom Elektromagnet bis zum Kontakt K läuft, und erhält so die gesuchte Zeit.

Das Pendel schließt den Strom, indem es einen Quecksilbertropfen mit seiner untersten Spitze beim Passieren der Gleichgewichtslage streift; die Stromzuführung kann durch die Pendelaufhängung geschehen. — Nebenbei sei bemerkt, daß ich mit dieser Anordnung sogar die Beschleunigung beim freien Fall hinlänglich genau messen konnte.

Bei Versuch 5 und 6 wird die Federwaage so aufgestellt, daß die Feder senkrecht hängt. Die Schnur geht dann über ein zweites Rädchen, das in der aus dem ersten Bild ersichtlichen Weise angebracht ist. Der Versuch 6 verläuft entsprechend dem von NOACK, *diese Zeitschrift* 1915, S. 154, angegebenen. Zum gleichen Zweck benützt MÜLLER eine Federwaage (*Technik des physikal. Unterrichts*, S. 59). Dadurch, daß die Feder an einem Ende festgeklemmt ist, wird die Beobachtung ihrer Deformation leichter, wie wenn sie sich mit der Schnur zugleich verschiebt.

II. Die Ableitung des Newtonschen Gesetzes aus den Keplerschen Gesetzen ist neben anderen ein klassisches Beispiel für die Aufstellung des Ausdruckes der Kraft aus den beobachteten Bewegungsgrößen. Es scheint mir, daß man in Übereinstimmung

mit dem CGS-System mindestens auf der Oberstufe besser von dem Begriff der Masse ausgeht als von dem der Kraft und nicht umgekehrt den Begriff der Masse aus dem der Beschleunigung und der Kraft ableitet, wie es häufig geschieht. Die Trägheit ist den Schülern gewiß ebenso gut bekannt wie die Kraft. Ferner sind die dem Schüler geläufigen Kräfte, die durch Maschinen erzeugt werden, von der Natur des beschleunigten Körpers unabhängig. Daher gilt für sie der Satz, daß die erteilten Beschleunigungen sich umgekehrt wie die beschleunigten Massen verhalten. Im Gegensatz dazu besitzen alle Körper die gleiche Fallbeschleunigung. Das Gewicht ist also auch von der Natur des beschleunigten Körpers (nämlich von seiner Masse) abhängig und nimmt demnach eine Sonderstellung in der Mechanik ein. Dieser fundamentale Unterschied wird häufig nicht genügend betont. Hieraus dürfte sich manche Schwierigkeit beim Unterricht erklären lassen.

Die Gravitation macht bekanntlich sogar der Wissenschaft noch die größten Schwierigkeiten. Im Vergleich zu anderen Kräften ist sie dem Experiment recht wenig zugänglich, so daß wir über die Art ihrer Wirksamkeit so viel wie nichts wissen. Dies hängt damit zusammen, daß sie eine unvermittelt in die Ferne wirkende und sich mit unendlich großer Geschwindigkeit ausbreitende Kraft zu sein scheint, während alle anderen Kräfte in der Mechanik durch Vermittelung eines Trägers wirken und sich mit endlicher Geschwindigkeit ausbreiten (z. B. der Schall). Man wird daher gut tun, im Unterricht nicht von dem Gewicht, sondern von den durch mechanische Vorrichtungen erzeugten Kräften (z. B. Feder, Dampfmaschine usw.), die nicht unvermittelt in die Ferne wirken und anschaulicher sind, auszugehen; ihnen entspricht unsere mechanistische Betrachtungsweise.

Entsprechend den Kräften verhalten sich auch die Energien verschieden. Die uns geläufigste Energieform ist die kinetische Energie, die wir durch den Ausdruck $\frac{mv^2}{2}$ darstellen. Zugleich mit der Masse m erhält bei unserem Apparat die Feder Energie mitgeteilt in Form von elastischer Deformationsenergie. Wird die Federverlängerung $l = \frac{1}{\epsilon} \cdot mw$ gesetzt, so hat man als Energie der Feder $\frac{\epsilon l^2}{2}$. Während die kinetische Energie des Wagens (der Masse m) wächst, solange eine Beschleunigung besteht, nimmt die Feder bei einer bestimmten wirkenden Kraft nur ein ganz gewisses maximales Energiequantum auf. Ferner zeigt sich ein Unterschied zwischen beiden Energiearten beim Aufhören der Kraft: Die Masse m behält ihre einmal erlangte kinetische Energie, während die Feder ihre elastische Energie sofort wieder abgibt und sich entspannt. Die Energie der Feder ist also „potentielle“ Energie.

Bewirkt eine Kraft einen Zufluß von Energie in einen Körper, so tritt diese als kinetische Energie in Erscheinung, soweit dies möglich ist. Jedes Bewegungshindernis bewirkt eine Umwandlung von kinetischer Energie in eine andere Form. So wird die Feder durch ihre einseitige Befestigung gehindert, die ihrer Masse bei der gegebenen äußeren Einwirkung zukommende kinetische Energie aufzunehmen und erhält dafür elastische Energie.

Feder und Masse m erweisen sich so als Senken einer „Energiströmung“, deren Quelle der ziehende Körper ist. Der hier angedeutete Vergleich der Energie mit einer Flüssigkeit erweist sich bekanntlich als äußerst fruchtbar bei der Behandlung der Strahlungserscheinungen.

Die Parallele zwischen der Energie und einer Flüssigkeit, also von Materie, geht noch weiter. Dem Gesetz von der Erhaltung der Energie entspricht das Gesetz von der Erhaltung der Materie. Im mechanistischen Weltbild ist Energie an eine Masse als ihren Träger geknüpft. Der leere Raum, den die Mechanik fordert, kann keine Energie in sich aufnehmen, kann daher auch keine Energie übertragen. Eine Fernübertragung von Energie entsprechend der Fernwirkung von Kräften gibt es dem

nach nicht. Ganz das gleiche wie für die Masse gilt so auch für die Energie, die nicht irgendwo verschwinden kann, um gleichzeitig an entferntem Ort unter Überspringen des dazwischenliegenden Raumes aufzutauchen. Dies deutet darauf hin, daß für die Materie und die Energie nur endliche Ausbreitungsgeschwindigkeiten angenommen zu werden brauchen, wohingegen Kräfte wie die Gravitation sich scheinbar unendlich rasch im Raume ausbreiten können.

Wenn ein Körper kinetische Energie verliert, ohne Energie an einen anderen Körper abzugeben, so müßte man, da der leere Raum keine Energie aufnehmen kann, in der Mechanik entweder die Hypothese von der Erhaltung der Energie verlassen oder aber, wie es tatsächlich geschieht, annehmen, daß er seine kinetische Energie in eine andere Form, nämlich in die latente „potentielle Energie der Lage“ umwandelt. Das Verständnis einer solchen Energie erfährt ähnliche Schwierigkeiten wie das der Fernwirkungskräfte. Die potentielle Energie ist eben nur eine Rechnungsgröße, um das Gesetz von der Erhaltung der Energie beibehalten zu können. Die Nahewirkungstheorie sucht darum die „Energie der Lage“ auf Spannungen zurückzuführen und gibt deshalb die Vorstellung eines „leeren Raumes“ im alten Sinne auf, indem sie gerade den „leeren Raum“ als Sitz der potentiellen Energie betrachtet. Die Grundlage für diese Auffassung bildet die Hypothese der „dielektrischen Verschiebung“; sie entspricht der elastischen Deformation einer Feder.

In der Verschiedenheit der Behandlung von Kraft und Energie liegt in gewissem Sinne eine Inkonsequenz der Mechanik vor, deren Beseitigung eine Aufgabe der Elektronentheorie darstellt. Dort wird dann auch der Begriff der Masse auf die der Elektrodynamik eigentümlichen begrifflichen Elemente zurückgeführt und schließlich in der Relativitätstheorie der Parallelismus zwischen Masse und Energie in ein überraschendes Licht gerückt.

III. Zum Schluß möchte ich noch einige Zahlen mitteilen, die sich auf einen von mir selbst angefertigten Apparat beziehen. Die Masse m des Wagens war 372 g. Als Räder waren die Unruhen von alten Weckeruhren verwendet; da ihre Massen verhältnismäßig gering sind, konnten ihre Trägheitsmomente vernachlässigt werden. Das Pendel war so reguliert, daß die Schwingungsdauer $t_0 = 0,447$ und daher $t_0^2 = 0,2$ war. Die Reibung bei Versuch 1 kompensierte ich zunächst durch geringe Neigung der Spiegelglasplatte, darauf band ich als treibende Kraft ein 25-g-Stück an die Schnur und erhielt nun folgende Wege:

t	s beobachtet	s berechnet
$2 t_0$	21,5	21,6
$3 t_0$	48	48,6
$4 t_0$	87	86,4

Die einzelnen Messungen von s schwankten etwa um 2⁰/₁₀₀. Legt man die Formel $s = \frac{\gamma}{2} t^2$ zugrunde, so findet man hieraus für γ den Wert 54; die dritte Spalte enthält zum Vergleich die nach der Formel für $\gamma = 54$ berechneten Wege.

Die am Wagen angreifende Kraft war demnach $m \cdot \gamma = 372 \cdot 54 = 20100$ Dyn, dabei ergab sich während der Bewegung des Wagens eine Federverlängerung von 2,5 cm.

Bei einer zweiten Messung mit einem Treibgewicht von 50 g war $s = 44,5$ für $t = 2 t_0$, daher $\gamma = 111$. Die am Wagen angreifende Kraft ist hier $372 \cdot 111 = 41300$ Dyn zu setzen und brachte während der Bewegung eine Federverlängerung von 5 cm hervor. Hieraus ergibt sich 1 cm Federverlängerung für 8260 Dyn. Durch weitere Versuche finden wir, daß die Federverlängerung proportional zu γ und umgekehrt proportional zu m ist; 1 cm entspricht etwa 8300 Dyn, womit die Feder geeicht ist.

Es wurde nun die Federverlängerung bei festgehaltenem Wagen gemessen, die von verschiedenen als Gewichten benutzten Massen hervorgerufen wurde. Die Resultate sind in der Tabelle zusammengestellt und es ist ferner ausgerechnet, wieviel Dyn die Feder dabei jeweils auf Grund ihrer Eichung angibt.

Massen	Federverlängerung	Dyn
10 g	0,9 cm	7640
20 g	2,1 cm	17420
30 g	3,35 cm	27800
40 g	4,5 cm	37300
50 g	5,7 cm	47300

Einer Zunahme der Belastung von 10 g entspricht eine Federverlängerung von 1,2 cm oder 10000 Dyn. Aus der Gleichung $10 \cdot \gamma = 10000$ folgt für γ ein Wert von rund $1000 \frac{\text{cm}}{\text{sec}^2}$. Wir finden hierdurch, daß das vermittels der Feder in Dyn ge-

messene Gewicht einer Beschleunigung nach oben von angenähert $981 \frac{\text{cm}}{\text{sec}^2}$ entspricht. Das Gewicht eines Körpers ist also eine Kraft, gleich dem Produkt aus seiner Masse mal der Fallbeschleunigung.

Aus der letztmitgeteilten Tabelle geht hervor, daß die Federverlängerung für die ersten 10 g Gewichtszunahme kleiner war wie für die folgenden. Es liegt hier ein Fehler meines selbstangefertigten Apparates vor, den andere Federwagen natürlich nicht besitzen.

Übrigens kann man bereits aus diesen Versuchen die Änderung der Auflagerreaktion bei vertikaler Beschleunigung erkennen. Als das 50-g-Gewicht den Wagen antrieb, war während der Bewegung die Federverlängerung nur 5 cm, wodurch eine Kraft von 41300 Dyn angezeigt wird. Hieraus würde für eine 50-g-Masse eine Beschleunigung von 830 folgen, während tatsächlich eine nach oben gerichtete Beschleunigung von $981 - 111 = 870 \frac{\text{cm}}{\text{sec}^2}$ vorhanden war. Ähnlich erlitt das 25-g-Stück

eine scheinbare Gewichtsverminderung, als es mit einer Beschleunigung von $54 \frac{\text{cm}}{\text{sec}^2}$ abwärts sank; denn die Federverlängerung war während der Bewegung nicht 2,7 cm wie im Zustand der Ruhe, sondern nur 2,5 cm. Die Auflagerreaktion einer Masse m ist demnach $m(g - \gamma)$.

Die Ausführung der schiefen Ebene geschah nach dem Vorschlag von Friedrich C. G. Müller (Technik des phys. Unterrichts S. 59). Ebenda findet man eine zum Zentrifugalversuch geeignete Zentrifugalwage angegeben.

Chemische Schülerübungen.

Von

Prof. R. Winderlich in Oldenburg i. Gr.

Geleitwort: „Nur die, welche Theorie und Praxis sich gründlich aneignen, haben die volle Rüstung.“ Vitruv.

Vom Werte chemischer Schülerübungen zu reden ist in dieser Zeitschrift nicht mehr nötig, aber es ist wünschenswert, daß die Aussprache über die Ausdehnung und Ausgestaltung der Übungen nicht so bald zur Ruhe kommt; denn hierüber herrscht durchaus noch keine befriedigende Klarheit.

Van't Hoff hatte in Amsterdam einen Vorlesungsdienner, dem er scherzend den Ehrennamen „Siemon der Zauberer“ gab. Die Studenten grüßten den Vielgewandten sogar mit leichtem Spott als „Herr Professor“. Wollten wir aus unsern Schülern solch gewiegte Arbeiter machen, dann würden wir etwas tun, was nicht unseres Amtes ist, und wir würden unserer wahren Aufgabe der Erziehung und Bildung nicht gerecht werden; wir würden über der Geschicklichkeit des Arbeitens die Einsicht in das Wesen der Vorgänge vernachlässigen. Unmöglich sind solche Verirrungen im Unterricht nicht. KERSCHENSTEINER hat gegen die Leitfäden für Schülerübungen den Vorwurf erhoben, daß sie keine Fragensammlungen, sondern Befehlssammlungen seien, „Sammlungen von Anweisungen, die um so sicherer jede Vermutung ausschließen, je peinlicher sie angelegt und je gehorsamer und genauer sie befolgt werden.“¹⁾ SCHEID hat in seiner „Methodik“ die Frage aufgeworfen, „ob überhaupt eine theoretische Unterweisung zum Ergänzen des praktischen Unterrichts notwendig ist.“²⁾ BRÜSCH will auf die wahlfreien Übungsstunden ganz verzichten und alle Übungen in den verbindlichen Klassenunterricht verlegen: „Besondere Stunden für die Übungen sind nicht nötig!“³⁾ Eine Zusammenstellung solcher Äußerungen erleuchtet blitzartig die Gefahrmöglichkeit, daß jemand dem Moloch Pensum zuliebe unter Preisgabe aller Erkenntniswerte die Kochvorschriften eines Anleitungsbüchleins abarbeiten läßt und damit dem Buchstaben Genüge leistet, den Geist aber tötet. Mit dem Nachweise, daß dies wirklich geschieht, wäre dann den verbindlichen Übungen das Todesurteil gesprochen.

Gegen die Anklage KERSCHENSTEINERS läßt sich zunächst einwenden, daß man einen Unterricht, der etwas Lebendiges, stets sich Veränderndes, äußerst Bewegliches ist, nicht nach Büchern beurteilen kann, die ihrer Natur nach ein starres Gepräge besitzen. Es muß ferner betont werden, daß sich ein Anleitungsbüchlein überhaupt nicht ohne Befehlsform schreiben läßt. Man kann höchstens dem Befehl eine andere Form geben, die ihn nicht sogleich als engumgrenzten Auftrag erkennen läßt: was geschieht, wenn du verdünnte Schwefelsäure auf Magnesium, Aluminium, Zink, Eisen usw. einwirken läßt? In dem Bedingungssatz: wenn du das und das tust, liegt die Forderung eingeschlossen: tu das und sag mir, was dann geschieht. Schließlich muß man sich bewußt bleiben, daß der Unterricht im Laboratorium im Grunde auch nur auf Mitteilungen beruht und beruhen kann. Wer dem widerspricht, der huldigt der Ansicht, daß die Schüler selbst entdecken und erfinden, und versündigt sich damit an dem Andenken großer Forscher, die bei all ihrer Sorgfalt, bei all ihrem Scharfsinn vieles nicht bemerkt und benutzt haben, was uns heute geläufig und alltäglich ist. Wir müssen erst zahllose Erfahrungen sammeln, bevor wir imstande sind, eine Aufgabe einigermaßen selbständig zu lösen. Der Sinn der beanstandeten Befehlsform ist lediglich das Streben nach Vermittlung brauchbarer Erfahrungen und nach Anleitung zu scharfer Beobachtung. Erhitze Bleisuperoxyd im Versuchsgläschen und prüfe mit einem glimmenden Holzspan, ob ein Gas entweicht! Obwohl hier ein engumgrenzter Auftrag vorliegt, bleibt noch genug ungesagt. Man muß eben dafür sorgen, daß der Schüler sich gewöhnt, auf alle Begleitumstände zu achten. Seine Antwort reicht nicht hin, wenn er bloß meldet: es entwickelt sich Sauerstoff, der Span entflammt. Wer gewissenhaft arbeitet, wird auch die Farbänderungen beachten; der erhitze Stoff wird erst rot und endlich gelb, unterbricht man die Erhitzung bei Eintritt des Rotwerdens, so bleibt die rote Farbe bestehen, wie das Gelb bleibt, wenn die Erhitzung bis zu seinem Erscheinen gegangen ist, der rote Stoff gibt noch Sauer-

¹⁾ Kerschesteiner: „Wesen und Wert des naturgeschichtlichen Unterrichts“, S. 49.

²⁾ a. a. O. S. 108.

³⁾ Brüsche: „Die Einführung und Durchführung der in den Unterrichtsgang eingefügten chemischen und physikalischen Schülerübungen“. Beilage zum Jahresbericht des Johanneums in Lübeck. 1913. Prg. Nr. 1023, S. 23.

stoff ab, bevor er gelb wird. Diese Farbänderung ist völlig anderer Art als beim roten Quecksilberoxyd, das in der Hitze fast schwarz, beim Erkalten aber wieder rot wird. Hier ist die Farbe eine Funktion der Temperatur des ursprünglichen Stoffes, dort das Kennzeichen eines neugebildeten. Es ist ferner nicht unnütz, beim Quecksilberoxyd die eigenartige Beweglichkeit des erhitzten Pulvers sich melden zu lassen, die auf der Entstehung der Gashülle beruht. So ausgeführt liefern die „Befehle“ eine Summe von schätzbaren Erfahrungen, die später von Vorteil sind, und vor allem schärfen sie allmählich die Beobachtung.

Für sich allein bedeuten jedoch all die Versuche, auch die eindrucksvollsten, nicht viel, wenn sie nicht ausgedeutet und ausgewertet werden. Unser Ziel kann nicht das bloße Sammeln von Erfahrungen, das Auffinden von eigenartigen Tatsachen sein. Wir wollen das Hirn der Jugend nicht zu einem Kuriositätenkabinett mißbrauchen. Im günstigsten Falle werden die reinen Tatsachensammler geschickte Zauberlehrlinge. Unsere Schüler sollen zu einem Verständnis der Naturvorgänge gelangen und zur Klarheit über die Bedeutung chemischer Forschungen für die Entwicklung der Kultur. Gleichzeitig muß ihnen die Fähigkeit richtig zu urteilen anezogen werden. Hierzu läßt sich der theoretische Unterricht nicht entbehren. SCHEID bejaht darum auch seine Frage nach der Notwendigkeit theoretischer Unterweisungen. Was aber der Meister bejaht, das kann unter Umständen sein Jünger verwerfen. Es gab vor dem Kriege genug Männer in Deutschland, die nach Nordamerika und England hinüberschiften, weil sie von dem reinen Arbeitsbetrieb in einzelnen Musteranstalten das Heil erwarteten. Jetzt ist es vielleicht anders, dennoch wird es nicht unnütz sein, auf den Bericht RIEBESELS hinzuweisen, „Der mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht in England“⁴⁾, der zu dem Schlusse kommt: „Hüten wir uns davor, Methoden eines anderen Landes einfach auf unser System zu übertragen, und die Forderungen der verschiedenen Volkscharaktere zu vernachlässigen. Bewahren wir uns vor allem den Vorsprung, den wir in der wissenschaftlichen Ausbildung unserer Oberlehrer und der wissenschaftlichen Grundlegung unseres Unterrichts besitzen.“ Mit der Betonung der wissenschaftlichen Grundlegung ist der Kern der Sache berührt. Wissenschaftliche Grundlegung ist ohne theoretische Erörterungen gar nicht möglich, sie fordert gebieterisch besondere Stunden außerhalb der Laboratorien.

Wissenschaftliche Grundlegung fordert auch Zeit, viel Zeit, so daß die angeführte Äußerung von BRÜSCH einfach unverständlich ist. Ganz im Gegensatz zu BRÜSCH gesteht KERSCHENSTEINER, daß in einer Schulorganisation, wie sie ihm vorschwebt, „dem naturwissenschaftlichen Unterricht zwecks Auswertung seiner Erziehungskraft sehr viel mehr und damit dem übrigen Unterricht sehr viel weniger Zeit eingeräumt“ werden müsse.⁵⁾ Von einer solchen Schulorganisation sind wir noch sehr weit entfernt. Eingedenk des Bismarckwortes, daß Politik die Kunst des Möglichen ist, müssen wir in gesunder Schulpolitik das Erreichte festhalten und nicht nutzlos um eines vermeintlichen Ideals willen preisgeben. Statt auf die wahlfreien Übungen zu verzichten, um alle Schüler im verbindlichen Unterricht zu den Übungen heranziehen zu können, müssen wir den maßgebenden Stellen die unbedingte Notwendigkeit solcher Übungen immer und immer wieder vorstellen. Das ist besonders von OHMANN betont worden, auf dessen umfassende Originalberichte über die chemischen Schülerübungen und ihre Entwicklung⁶⁾ nachdrücklichst hinzuweisen ist.

Von allen Gründen, aus denen heraus man Schülerübungen fordern kann, sind zwei ganz besonders bemerkenswert: die Schüler erwerben sich ein reiches Maß

⁴⁾ *Zeitschr. f. math. u. nat. Unt.* (1913) **43**, 530.

⁵⁾ a. a. O. S. 84.

⁶⁾ *Diese Zeitschr.* **26**, 54, 191; **28**, 342; **29**, 44.

praktischer Erfahrungen, und die Erkenntnisse des Übungsunterrichts haften besser im Gedächtnis als die im gewöhnlichen Klassenunterricht erworbenen. Über andere Vorteile, welche der Übungsunterricht, der physikalische sowohl wie der chemische, mit sich bringt, hat H. HAHN in Norrenbergs Sammelwerk „Die höhere Schule nach dem Weltkrieg“ auf S. 181 ein Hoheslied angestimmt. Der erste dieser Hauptgründe ist ganz unzweifelhaft richtig; man braucht nur ein paar Jungen zu vergleichen, von denen der eine zum ersten Male praktisch arbeitet, der andere schon längere Zeit an Übungen gewöhnt ist. Dieser besitzt eine Schulung von Auge und Hand und weiß etwas über seine Versuche zu sagen, jener steht ratlos vor seiner Aufgabe. Es gibt noch genug Erwachsene, die sich nicht getrauen, einen neuen Glühstrumpf auf die Gaslampe zu setzen, und es sind Klagen genug aus dem Felde gekommen, daß gerade gebildete Leute sich bei den einfachsten praktischen Aufgaben entsetzlich ungeschickt angestellt haben. Wer praktischen Unterricht genossen hat, wird zu solcher Klage nur selten, bei ganz absonderlicher Veranlagung, Anlaß geben.

Praktische Erfahrungen werden sicherlich durch die Übungen erworben, anders steht es mit den Erkenntnissen. Wer ohne Einschränkung behauptet, daß die Erkenntnisse des praktischen Unterrichts an sich besser im Gedächtnis haften als andere Erkenntnisse, der irrt gewaltig. Nicht die äußere Form des Unterrichts ist maßgebend für die Dauerhaftigkeit der Erkenntnis, sondern der Geist des Unterrichts. Werden die Erkenntnisse nicht durch gründliche Wiederholungen und fortwährende Verknüpfung mit anderen Erkenntnissen, also durch die unterrichtende Tätigkeit des Lehrers, dem Gedächtnis der Schüler eingehämmert, so wird bei beiden Unterrichtsverfahren, Übungsunterricht sowohl wie Schauunterricht, bald alles vergessen. Eine briefliche Äußerung von einem Fachgenossen, der unter günstigen Umständen — kleine Schülerzahl; geräumiges, wohlausgestattetes Laboratorium — arbeitet, bestätigt die Erfahrungen, die ich unter sehr ungünstigen Verhältnissen — sehr große Schülerzahl, entsetzlich beengter Raum ($3,80 \times 8,20$), überaus kümmerliche Ausstattung (kein Abzug, kein Ventilator, kein Wasser, kein Ausguß im Arbeitsraum; äußerst geringe Geldmittel) — gewann: „Wie man behaupten kann, der Unterricht solle sich nur oder auch nur hauptsächlich auf Schülerübungen aufbauen, ist mir nach meiner Erfahrung unbegreiflich. Damit würde man überhaupt nichts erreichen, aber auch gar nichts. Ich habe es ausprobiert, indem ich ein Gebiet, Chrom und Mangan, nur im Praktikum behandelte. Der Erfolg war, daß nach 14 Tagen kein einziger (vom Briefschreibenden zweimal unterstrichen) von 11 Mann eine Ahnung mehr davon hatte, aber auch nicht die geringste Ahnung, trotzdem sie alle Reaktionen, Oxydationen und Reduktionen selbst ausgeführt hatten, sogar zweimal in verschiedenen Stunden. Das ist mir Beweis genug. Als Wiederholung und Ergänzung des Unterrichts, ja da sind die Übungen gut.“ Nicht die äußere Form des Unterrichts kann man für Erfolge oder Mißerfolge verantwortlich machen, sondern das Lehrgeschick oder -ungeschick des Unterrichtenden. Wer sich damit begnügt, einfach Tatsache an Tatsache zu reihen und nur immer rasch fortschreitet, um ja den vorgeschriebenen Lehrstoff zu bewältigen, der wird auf keine Weise besondere Ergebnisse erzielen. Ob Schauunterricht oder Übungsunterricht, für jeden ist die geistige Durcharbeitung des Beobachteten die Hauptsache. Hinreichendes Lehrgeschick vorausgesetzt, wird allerdings der Übungsunterricht immer im Vorteil sein, weil er an eigene Erfahrungen der Schüler anknüpfen kann.

Damit ergibt sich sofort eine Antwort auf die Frage, wann denn der Arbeitsunterricht einzusetzen habe: so früh wie möglich, damit der Lehrgang sich auf den Erfahrungen der Schüler aufbauen kann, auf dem Selbsterlebten, im Feuereifer der Jugend für alles Neue, Unbekannte mit heißem Herzen Erlebten. Die lodernde Flamme der ersten Begeisterung wird dann vor dem Erlöschen bewahrt. Es ist viel ersprißlicher und erfolgreicher in Untersekunda und Obersekunda einen Teil der

Pflichtstunden zum praktischen Arbeiten zu verwenden und in der Prima sich auf wahlfreie Übungen zu beschränken, als vielleicht erst in der Prima mit Übungen zu beginnen und diese in den verbindlichen Klassenunterricht zu verlegen. In der Prima wird die Hauptaufgabe darin bestehen, den Stoff geistig zu durchdringen, ihn philosophisch zu vertiefen und nach allen Seiten hin gründlich zu durchleuchten, damit die Kulturwerte der Wissenschaft den Schülern zum Bewußtsein kommen. Wir dürfen um keinen Preis unsere Aufgabe etwa darin sehen, die Jugend für das Studium der Naturwissenschaften oder der Heilkunde vorzubereiten, wir haben vielmehr die jungen Leute mit den Grundlagen *unserer* Kultur bekannt zu machen und sie geistig so zu schulen, daß sie imstande sind, sich in jeden Beruf einzuarbeiten. Für das Eindringen in die Kulturwerte der Naturwissenschaften brauchen wir notwendig einen sorgfältigen, theoretischen Klassenunterricht, dem wir ohne die Gefahr der Verzettelung keine Stunden für zeitraubende praktische Übungen abnehmen können. Wer's nicht glaubt, der mache sich einmal das Vergnügen, auszuwählen, wieviel z. T. recht umfangreiche Abschnitte aus der organischen Chemie die Unterrichtskommission Deutscher Naturforscher und Ärzte zur Durchnahme empfohlen hat. Wie kann man auch nur einen Augenblick daran denken, daß die Schüler in so lächerlich kurzer Zeit, wie sie uns zur Verfügung steht, die ungeheure Arbeit noch einmal tun sollen, die unter unsäglichen Anstrengungen von zahllosen fleißigen Männern in vielen Jahrzehnten geleistet worden ist? Wieviel Verbrennungen wird denn ein Schüler ausführen können? Wieviel Molekulargewichtsbestimmungen? Und gar Konstitutionsbestimmungen? Es bleibt also nur übrig, die praktischen Übungen der Prima in besonderen wahlfreien Stunden zu betreiben. Damit kommen wir auch der Gabelung der Interessen entgegen. Wir wollen doch nicht etwa in den Fehler verfallen, dessen die einseitigsten, unduldsamsten Vertreter des humanistischen Gymnasiums geziehen wurden. Ist es wirklich nötig, Jünglinge, denen die sprachlich-geschichtliche Seite unserer Schule mehr Teilnahme erregt als die mathematisch-naturwissenschaftliche, vier lange Jahre ins Laboratorium zu sperren? Warum sollen wir uns nicht damit begnügen, sie zwei Jahre lang in Sekunda, wo die ersten bedeutsamen chemischen Erfahrungen gesammelt werden, im Übungssaal zu beschäftigen, um in Prima nur mit denen wahlfreie Übungen zu betreiben, die wirklich Sinn und Neigung für die Naturwissenschaften haben? Diese werden dann ungehemmt von den Unwilligen und Ungeschickten den größten Vorteil haben. Für die außerhalb des Laboratoriums Bleibenden ist damit nicht gesagt, daß sie nur auf eine passive Aufnahme des Wissensstoffes beschränkt sind, denn man kann sie sehr leicht zur Tätigkeit veranlassen: sie haben Vorträge zu halten, geschichtliche (Entdeckungsgeschichte einzelner Stoffe, Entwicklungsgeschichte einzelner Industrien, Lebensbeschreibungen), volkswirtschaftliche (Bedeutung einzelner Entdeckungen, einzelner Industrien) und philosophische (Atom- und Molekulartheorie, Grenzen unserer Erkenntnis). Solche Besprechungen bilden ein sehr nützlich Gegengewicht zu der rein fachlichen Ausbildung im Übungssaal, sie werden zu einer Warnung vor übertriebener Schätzung der materiellen und technischen Errungenschaften, zu einer Warnung vor einer „Kultur, über deren Verwandlungen die Ingenieure und Geschäftsleute, nicht die Künstler und Philosophen bestimmen. Kein Wunder daher, daß sie nicht zum wenigsten in England um sich greift, wo die soziale Rolle der Künstler und Philosophen stets tief unter derjenigen der Ingenieure und der Geschäftsleute gestanden hat.“⁷⁾ Wenn DOERMER zur Verteidigung der verbindlichen Übungen im „Jahresbericht über das höhere Schulwesen“ ([1914] 29, XIII, 55) den Vergleich mit dem Schwimmenlernen benutzt, wobei die Theorie nichts, die Praxis alles ist, so hat er sich vergriffen, denn Schwimmen lernt man, um Schwimmer zu werden, Chemie

⁷⁾ Steffen: „Die Demokratie in England“, S. 10.

lernt man auf der Schule aber nicht, um Chemiker zu werden. Wir haben uns vor allen Übertreibungen zu hüten.

Eine Übertreibung ist es auch, wenn gefordert wird, daß bei den Übungen von Anfang an der Hauptnachdruck auf die quantitative Seite der Vorgänge zu legen sei. Das widerspricht aller psychologischen Entwicklung der Schüler und nicht minder der geschichtlichen Entwicklung der Wissenschaft. Wägende und messende Versuche erfordern bedeutende Vorkenntnisse und große Geduld. Beides fehlt den Anfängern. Wie nötig die Einsicht in das Wesen der chemischen Vorgänge ist, um gewichtsmäßige Versuche richtig auszuführen, beweisen uns die Vorschriften alter Chemielehrbücher. BOERHAVE schreibt z. B. zur Darstellung der Salzsäure vor: „*Salis marini purissimi, sicci, partibus tribus, admisce in retorta Aquae Pluviae purissimae partes duas, olei dein Vitrioli quam optimi partem unam.*“⁸⁾ Wie diese Anweisung, die auf drei Teile Kochsalz nur einen Teil Schwefelsäure verlangt, sind alle älteren Vorschriften, die auf Maß und Gewicht Rücksicht nehmen. Es sind Kochrezepte, nichts weiter. Für Anfänger in der Chemie sind die Aufgaben der Leitfäden zunächst auch nichts anderes, d. h., mögen die Angaben auch quantitativ richtig sein, — sie sind nicht immer quantitativ richtig und können es nicht sein, weil die Vorgänge nicht so einfach verlaufen, wie die Gleichungen es darstellen —, so faßt der Anfänger sie doch nur qualitativ auf, weil ihm das Verständnis für das Quantitative noch abgeht. Mithin ist es Zeitvergeudung, in der ersten Zeit wägende oder messende Übungen anstellen zu lassen. Quantitative Versuche sind zunächst Sache des Lehrers.

Man kann sich drei Ziele stecken, die stufenweise bei den Übungen erreicht werden sollen: 1. der Schüler soll scharf beobachten lernen und einen Einblick in das Eigenschaftliche der Stoffe gewinnen (Eigenschaften, Verbindung, Grundstoff, Gemenge, Oxydation, Reduktion, Salzbildung, Wechselersetzung zwischen Säuren, Basen und Salzen)⁹⁾; 2. er soll wägen und messen lernen und damit die Erkenntnis vertiefen, die er inzwischen im Vortragsunterricht erworben hat, daß alles nach Maß und Zahl geordnet ist (spezifisches Gewicht, Schmelzpunkt, Siedepunkt, Äquivalentgewicht); 3. er soll bis zur eigenen mehr oder minder selbständigen Lösung einfacher Aufgaben gebracht werden (Darstellung von Präparaten mit Prüfung der Ausbeute, Analyse von Mineralien und anderen Stoffen, Maßanalyse). Gegen „die oft gehörte Forderung, Schülerübungen müssen quantitativ sein, sonst arten sie in Spielereien aus“, wendet sich BREMER¹⁰⁾ mit scharfen Worten: „Ich bin der Ansicht, daß diese Forderung schon viel Unheil gestiftet hat und vielen Schülerübungen einen geradezu scholastischen Anstrich erteilt.“ Für die Chemie insbesondere läßt sich noch die Frage hinzufügen, ob die Extremen vielleicht behaupten wollen, daß Scheele, Schönbein und tausend andere vorwiegend qualitativ arbeitende Forscher gespielt haben, und ob BERZELIUS ein Stümper war, der von seinen Arbeiten über die chemischen Proportionen bekannte: „Meine ersten Versuche in dieser Richtung schlugen nicht gut aus. Ich hatte keine Erfahrung, weder eine wie große Genauigkeit der Resultate erfordert wurde, noch auf welchem Wege eine solche durch Wiegen gewonnen werden könne“¹¹⁾

Aus dem Gesagten folgt ohne weiteres, daß die Übungen anfänglich in gleicher

⁸⁾ Boerhave: „Elementa Chemiae“. Tomus secundus, p. 409. (Lugduni Batavorum MDCCXXXII.)

⁹⁾ Hierher gehören auch Schüler-Werkarbeiten, wie sie Ohmann empfiehlt. *Diese Zeitschr.* 29, 64.

¹⁰⁾ *Zeitschr. f. math. u. nat. Unt.* (1916) 47, 133. Nachtrag bei der Korrektur: In der genannten Zeitschrift 47, 282 hat neuerdings Bräuer interessante Angaben über quantitative chemische Schülerübungen gemacht.

¹¹⁾ Berzelius: „Selbstbiographische Aufzeichnungen“ in Kahlbaum „Monographien aus der Geschichte der Chemie“ VII, 46.

Front stattfinden müssen, und daß sich allmählich die Begabteren und Geschickteren heraussondern zu einer Arbeitsweise in einzelnen Gruppen. Es ergibt sich ferner, daß die Übungen in innigem Zusammenhang mit dem theoretischen und Schauunterricht stehen müssen, daß sie für diesen Unterricht die Grundlage liefern müssen. Erst in der Prima werden die Übungen infolge der Gabelung der Interessen teilweise lose neben dem verbindlichen Unterricht herlaufen, aber auch nur teilweise, denn es ist fortgesetzt von den Übenden vor der gesamten Klasse Bericht zu erstatten. Bloßes Abfragen dessen, was die Schüler getan und gesehen haben, bringt wenig Gewinn. Es ist empfohlen worden, eine kurze häusliche Niederschrift über die Vorgänge der Übungsstunde zu verlangen. Das ist jedoch eine zweischneidige Sache, weil sehr viele Schüler trotz aller Umsicht und Aufsicht des Lehrers sehr lange Zeit — manche immer — falsch hören, d. h. die Aufgaben nicht richtig auffassen, falsch sehen und falsch arbeiten. Sie berichten Wunderdinge und, was das Schlimmste ist, sie prägen den Unsinn ihrem Gedächtnis ein. Hier gibt es einen guten Ausweg: sofort nach beendeter Übung berichten die einzelnen noch während der Stunde über das, was sie beobachtet haben, nötigenfalls führen sie den Versuch noch einmal vor; aus der Summe der Mitteilungen wird dann durch geeignete Fragen der Kern, das eigentlich Wesentliche herausgeschält und sofort nach Diktat einzelner, besonders Befähigter niedergeschrieben. Diese Niederschrift ist dann ein geeignetes Material für die häusliche Wiederholung oder Ausarbeitung und für den Aufbau des theoretischen Lehrgebäudes.

Neben diesen Hauptfragen über die Ausgestaltung der chemischen Schülerübungen (verbindlich oder wahlfrei, für alle Klassen oder nur für einzelne, eng mit dem theoretischen Unterricht verbunden oder lose neben ihm hergehend, in gleicher Front oder in Einzelarbeiten, qualitativ oder quantitativ) gibt es ungezählte Einzelfragen von weniger durchgreifender Bedeutung, wenn auch nicht ohne Wichtigkeit. Über keine der Fragen herrscht völlige Einigkeit, von der reinen, unverhohlenen Abneigung gegen alle Übungen bis zur Abschwörung des theoretischen Unterrichts zugunsten des nur praktischen sind alle Meinungen in allen Schattierungen vertreten, und in Einzelfragen, in Kleinigkeiten wandeln sich in kurzer Zeit die Ansichten eines und desselben Mannes. In seinem Vorbereitungsbuch (1911) verlangt SCHEID bei Erwähnung der Glühröhrchen: „die Schüler machen sich dieselben ausschließlich selber“¹²⁾ und in seiner „Methodik“ (1913) ist er zu anderer Überzeugung gekommen: „Der Verfasser läßt, wenn im Unterricht zum erstenmal ein Glühröhrchen gebraucht wird, dasselbe von jedem Schüler anfertigen. Später wird es geliefert, sogar schon meistens mit einer geeigneten Menge des Reagenzes gefüllt.“¹³⁾ So ist alles bei uns in Fluß. Das ist ein gutes Zeichen, die lebhafteste Bewegung läßt einen dauernden Fortschritt erhoffen.

Oldenburg i. Gr., Oberrealschule.

Kleine Mitteilungen.

Ein Kolbenapparat zur Veranschaulichung und Messung hoher Dampfdrucke.

Von Prof. Dr. **Friedrich C. G. Müller** zu Brandenburg a. d. H.

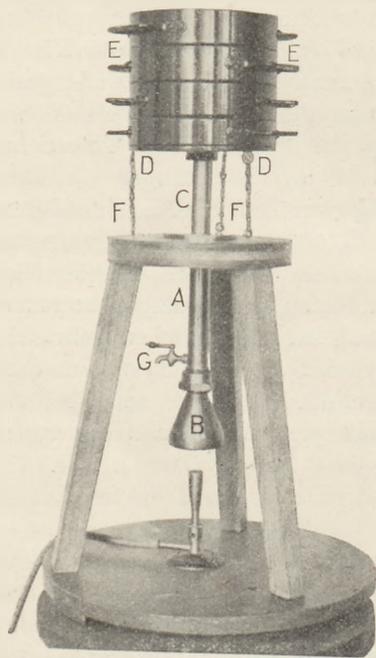
Dampfdrucke werden wohl selten als solche, sondern mittels Quecksilbersäulen oder Federmanometern zur Beobachtung und Messung gebracht. Besonders bei den Instrumenten der letztgenannten Art ist der Zusammenhang zwischen Zeigerstellung und dem Druck auf die Flächeneinheit ganz unsichtbar. Man muß auf guten Glauben hinnehmen, daß, wenn der Zeiger auf 10 Atm. einsteht, der gesamte Dampf einen daumen-

¹²⁾ Scheid: „Vorbereitungsbuch für den Experimentalunterricht in der Chemie“. S. 34.

¹³⁾ Scheid: „Methodik des chemischen Unterrichts“. S. 113.

dicken Kolben mit der Kraft eines Zentners zu heben vermag. Diese so errechnete staunenswerte Leistungsfähigkeit wird jeder Schüler aber auch sehen, und jeder Lehrer gern zeigen wollen. Indessen bietet der seitherige Bestand des Schulapparates dazu keine Möglichkeit. Diesem Mangel abzuhelpen, bezweckt die nachfolgende Neukonstruktion. Ihr Wesen ist ohne weiteres aus der auf photographischem Wege erhaltenen Abbildung (siehe Figur) zu ersehen. Der 25 cm lange Messinghohlzylinder *A* von 5 qcm innerem Querschnitt bzw. 2,52 cm Innendurchmesser wird mittels eines kräftigen Flantsches von einem Holzdreifüß getragen. An dem Zylinder sitzt unten mittels Überwurfschraube und Bleiliderung ein kupfernes Kesselchen *B*. In den Hohlzylinder ist ein hohler Tauchkolben *C* von 20 cm Länge so genau eingeschliffen, daß er sich fast reibungslos, aber doch ziemlich dampfdicht auf- und abbewegt. Er trägt den aufgeschraubten runden Gußeisentisch *D* von 20 cm Durchmesser und 0,8 cm Dicke. Auf diesen lassen sich die mit Handgriffen versehenen runden Gußeisenplatten *E* zentrisch festlegen, von denen die drei oberen jede genau 10 kg wiegen, während das Gewicht der unteren mit der Platte *D* und dem Kolben *C* zusammen 10 kg ausmacht. Tisch und Platten haben eine zentrale Bohrung von 2 cm und auf der Oberseite eine flache nabenartige Erhöhung von 5 cm Durchmesser, während auf der Unterseite die vier Platten mit entsprechenden Ausdrehungen versehen sind, so daß sie genau zentrisch auf den Tisch und aufeinander passen.

Am Zylinder *A* ist unten noch ein Hahn *G* angeordnet und 8 cm darüber eine Bohrung von 2 mm. Zur Begrenzung des Hubes dienen die Ketten oder Riemen *F* von 12 cm Länge.



Die zu jeder Vorführung erforderliche Kessel-füllung geschieht bei herausgezogenem Kolben von oben, bis das Wasser aus dem Hahn zu fließen beginnt. Nachdem der Kolben wieder eingesetzt, die Halteketten eingehakt und die Gewichte aufgebracht worden, wird eine kräftige Bunsenflamme unter den Kessel gestellt. Nach wenigen Minuten steigt der Kolben mit seiner Last empor bis zur Grenzhöhe. Dann entweicht für einen Augenblick aus dem erwähnten Loch ein Dampfstrahl unter starkem Zischen und der Kolben sinkt zurück. Aber gleich darauf hebt er sich von neuem, und das Spiel wiederholt sich. Es macht einen packenden Eindruck, wenn der mächtige Eisenklotz durch den zwergenhaften Dampfkolben auf und abgewippt wird.

Nun nimmt man die Flamme fort und die Last sinkt herab. Aber wenn alsbald die obere Platte abgenommen wird, heben sich die übrigen 30 kg sehr energisch. Bald erschöpft sich auch diese Kraft, aber nach Fortnahme der zweiten Platte schnellen die verbleibenden 20 kg wieder in die Höhe. So kommt die der Überhitzung des Wassers entsprechende Energie gut zur Anschauung.

Es ist einleuchtend, wie man den jeder Belastung entsprechenden Druck festhalten kann. Ein in den hohlen Kolben durch das Loch der Platten eingesenktes Thermometer zeigt den jeweiligen Siedepunkt an.

Selbstverständlich ist zu beachten, daß der Kessel nicht völlig leer wird. Kleine Dampfverluste sind ja unvermeidlich. Indessen lassen sich bei exakter Anfertigung von Zylinder und Kolben alle die angedeuteten Versuche ohne Hast mit einer Kessel-füllung erledigen. Die Firma Max Kohl A.-G. liefert den beschriebenen Apparat in guter Ausführung für 140 M.

Versuche über die Wärmeausdehnung von Drähten und Stäben.

Von J. Friedrich in Aachen.

Die Wärmeausdehnung von Drähten läßt sich auf folgende Weise sehr einfach zeigen. Man stelle aus dem betreffenden Draht und einer schweren Kugel ein Pendel her und hänge dieses so über einer Tischplatte auf, daß zwischen Platte und Kugel ein geringer Zwischenraum bleibt. Nun versetze man das Pendel in nicht allzu starke Schwingungen. Erwärmt man den Draht während des Schwingens mit der Bunsenflamme, so wird die Kugel bald die Tischplatte streifen und zur Ruhe kommen¹⁾. Nach Wegnahme der Flamme wird sie sich wieder abheben und noch weitere, natürlich schwächere Schwingungen ausführen.

Die Ausdehnung von Metallstäben auch geringerer Länge kann leicht wie folgt, über 10000 mal vergrößert, zur Anschauung gebracht werden. Das eine Ende des Stabes *St* (Fig. 1a und b) ruhe auf dem Klötzchen k_1 und stoße fest auf K_1 . Zur Auflagerung des anderen Endes stelle man mittels der Klötze k_2, K_2, K_3 (Fig. 1a und b) 2 Glasplatten G_1 und G_2 vertikal und lege darüber ein Stück von einer sehr dünnen Stricknadel *N*. Auf diese lege man das zweite Ende des Metallstabes. Bei Längenänderung des Stabes wird sich die Nadel drehen, und zwar wird bei der Kleinheit des Radius der Drehungswinkel verhältnismäßig groß sein. Diese Drehung wird nun durch die Methode der Spiegelablesung vergrößert sichtbar gemacht. Über das eine Ende der Nadel streift man ein Stückchen schwarzes Papier und klebt darauf ein Deckgläschen, wie sie zum Mikroskopieren gebräuchlich sind. Nachdem so ein mit der Nadel drehbarer Spiegel hergestellt ist, wirft man mit seiner Hilfe die von einer passend aufgestellten Lichtquelle her kommenden Strahlen an die Decke des Zimmers, wo sie einen hellen Lichtfleck hervorrufen. Damit ist die Versuchsanordnung fertig. Erwärmt man jetzt den Stab mit der Bunsenflamme, so sieht man den Lichtfleck sich rasch und bedeutend verschieben. Bei meinen Versuchen — ich verwandte Kupfer-, Zink- und Eisenstäbe von etwa Stricknadellänge — erzielte ich mit Leichtigkeit Verschiebungen des Lichtflecks um 2 bis 3 m. Läßt man auf den erhitzten Stab Wasser auftropfen, so sieht man den Lichtfleck sprungweise zurückgehen. Ist λ die Längenänderung des Stabes, r der Radius der Nadel, R ihr

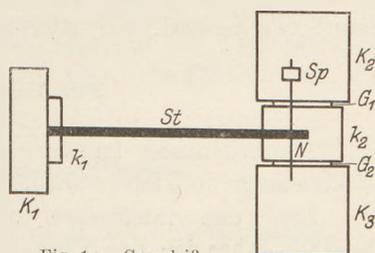


Fig. 1a. Grundriß.

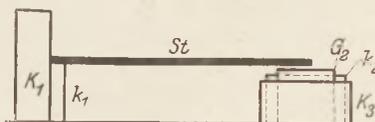


Fig. 1b. Aufriß.

Abstand von der Decke, so ist die Verschiebung des Lichtflecks immer größer als $2\lambda \frac{R}{r}$.

Um die Verschiedenheit des Ausdehnungskoeffizienten zweier Metalle, etwa von Eisen und Messing, zu zeigen, klemme man eine lange Stricknadel und einen gleichlangen Messingdraht, wie Fig. 2 zeigt, in 2 Klemmschrauben ein. Erhitzt man nun Stricknadel und Messingdraht über einer Bunsenflamme, so erscheint erstere ungeändert, während der Draht sich verbiegt und krümmt. Läßt man das eine Ende des Messingdrahtes frei, so zeigt sich beim Erhitzen keine Verbiegung. Klemmt man aber jetzt das bisher freie Ende fest, so bleibt bei der Abkühlung der Messingdraht gerade, während die Stricknadel sich biegt.



Fig. 2.

¹⁾ Anm. der Redaktion: Eine zweckmäßige Abänderung des Versuchs besteht darin, daß man durch den Draht einen Strom schiebt und unter der Kugel mit Spitze einen Quecksilbertropfen anbringt, so daß beim Kontakt eine Klingel oder eine Glühlampe eingeschaltet wird. — Die im folgenden Abschnitt beschriebene Versuchsanordnung schließt sich an die früher von K. Fuchs und von Merkelbach angegebenen an.

Mit derselben Vorrichtung läßt sich noch auf andere Art die Verschiedenheit der Ausdehnungskoeffizienten nachweisen. Man lasse den Messingdraht M und die Stricknadel S etwas aus der Klemmschraube K_1 hervorragen und klemme in dieser nur M fest (Fig. 3). Dann befestige man K_1 so in einem Stativ, daß K_2 senkrecht über K_1 steht. K_2 wird dabei nur von M getragen, während K_2 ihrerseits S trägt. Bei Erwärmung von M und S wird sich also M nach oben, S nach unten ausdehnen. Die Anordnung erinnert etwas an das Kompensationspendel. Daß nun die Ausdehnung von M die entgegengesetzt gerichtete von S überwiegt, wird folgendermaßen sichtbar gemacht. Man schicke durch die noch nicht erwärmte Vorrichtung den Strom eines Trockenelementes mittels des Drahtes d_1 , des Metallstückes T , welches die Spitze der kalten Stricknadel S gerade berührt, und des Drahtes d_2 . In den Stromkreis sei ferner ein Galvanoskop (auch Klingel oder Glühlampe) eingeschlossen. Beim Erhitzen von M und S wird S sich von T abheben, das Galvanoskop zeigt, daß der Strom unterbrochen wird, bei Abkühlung wird er wieder geschlossen.

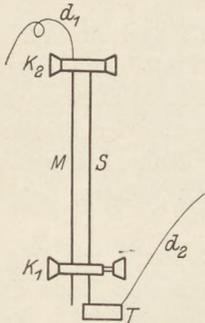


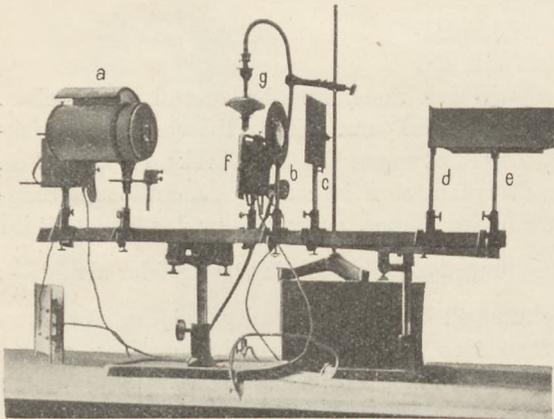
Fig. 3.

Zur Umkehrung der Spektrallinien.

Von Georg Weidhaas in Greiz.

Als Ergänzung zu dem Aufsatz von W. Merkelbach über Umkehrung der Spektrallinien in Heft 2 d. J. möchte ich folgendes bemerken:

Nach den Anleitungen zu dem von mir konstruierten Volksschul-Projektionsapparate führe ich den Versuch über die Umkehrung der Natriumlinie so aus, daß ich den Lichtkegel der das Spektrum erzeugenden Lampe den Lichtbogen einer zweiten, mit salzdurchtränkter Kohle versehenen Bogenlampe, passieren lasse, bevor er den Spalt trifft. In der Figur ist a das Lampengehäuse mit Bogenlampe und kleiner Sammellinse, b eine Sammellinse von etwa 8 cm Brennweite, c der Spalt, d die den Spalt



abbildende achromatische Sammellinse, e das Geradsichtsprisma. Bei Ausführung des Versuches wird die Lampe im Gehäuse so weit zurückgezogen, daß das Bild des Kraters auf der Sammellinse b erscheint, der Spalt in eine solche Entfernung vor diese Sammellinse gestellt, daß der von der Sammellinse erzeugte Lichtkreis den Spalt deckt, Linse d und Geradsichtsprisma e in der üblichen Weise aufgestellt. In den Brennpunkt der Sammellinse b kommt die Hilfsbogenlampe f so, daß einmal der Strahlenkegel der Hauptbogenlampe den Licht-

bogen der Hilfsbogenlampe passieren muß, zum anderen die Hilfsbogenlampe selbst den Spalt voll beleuchtet. Schaltet man die Hauptbogenlampe, die zweckmäßig mit etwas größerer Stromstärke als die Hilfsbogenlampe betrieben wird, ein, so erscheint auf dem Schirm das reine kontinuierliche Spektrum. Beim Einschalten der Hilfsbogenlampe f tritt die Umkehrung der Spektrallinien ein.

Die Anordnung hat den Vorteil, daß man jederzeit das Spektrum des betreffenden Metalles für sich, wie auch in Verbindung mit dem kontinuierlichen Spektrum hervorrufen kann. Man braucht nur die Linse am Lampengehäuse durch Vorhalten eines Pappkartons ganz oder zum Teil zu verdecken. Im ersten Fall erhält man

auf dem Schirm das Spektrum des Metallampfes, im letzteren beide zu gleicher Zeit, so daß die dunkeln Linien die Fortsetzung der hellen bilden. Nach dem angegebenen Verfahren kann man mit Sicherheit das Natrium- und Strontiumspektrum umkehren.

Außerordentlich glänzend verläuft nun dieser Versuch, wenn man nach Angaben des Herrn Prof. Merkelbach das Verdampfen im Gasstrom vor sich gehen läßt. Eine einfache Anordnung dazu ist aus nebenstehender Figur ersichtlich. *G* ist ein Brenner für Hängegaslicht, in der Abbildung ein Acetylenbrenner, dessen Gasdüse sehr wenig erweitert ist und der mit Leuchtgas betrieben, eine kurze und sehr heiße Bunsenflamme liefert. Dieser Brenner ist in ein Bunsenstativ gespannt und unmittelbar über den Lichtbogen der Hilfsbogenlampe gestellt. Der Versuch wird so ausgeführt, daß man nach dem Einschalten der Hilfsbogenlampe den Gashahn aufdreht. Das Gas entzündet sich und wird durch die Metallämpfe intensiv gefärbt. Auf dem Schirme tritt sofort die Umkehrung der Spektrallinien ein. Alle von Merkelbach angegebenen Spektren lassen sich auf diese Weise mit Leichtigkeit umkehren.

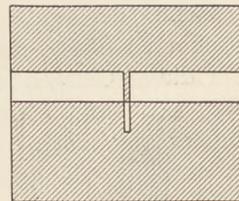
Die Hilfsbogenlampe *f* hat rechtwinklige Kohlenstellung, die positive steht bei dem Versuche senkrecht. Sie ist eine Dochtkohle von 8 mm Durchmesser, deren Kern ausgebohrt ist. Die Kohle wird mit dem betr. Salz getränkt, indem man die Lampe einige Minuten brennen läßt, dann ausschaltet und auf die noch glühende Kohle das Salz aufträgt. Sehr hübsche Umkehrungsbilder geben die Effektkohlen von Gebr. Siemens, Marke gelb und rot.

Über die Darstellung von Komplementärfarben.

Von **Paul Hanck** in Pasewalk.

Komplementärfarben werden im Unterricht gewöhnlich dadurch hergestellt, daß man die Spektralfarben durch eine zylindrische Linse zu Weiß vereinigt und dann eine bestimmte Farbe des Spektrums durch ein Prisma mit kleinem brechenden Winkel ablenkt. Im folgenden will ich ein Verfahren beschreiben, das zwar nicht direkt die Vereinigung der Farben zu Weiß zeigt, aber die Komplementärfarben sehr gut erkennen läßt.

Auf eine in den Bildträger des Projektionsapparats passende Glasplatte vom Format $8\frac{1}{2} \times 10$ cm klebt man ein Stück Stanniolpapier, aus dem man die in der Figur nicht schraffierten Teile ausschneidet. Es entsteht dadurch in dem unteren Teil ein „heller Spalt“ und in dem oberen Teil ein „dunkler Spalt“. Setzt man die Glasplatte in den Bildträger und entwirft von ihr ein Bild, so zeigen sich, wenn ein Schwefelkohlenstoffprisma in den Strahlengang gebracht wird, zwei Spektren. Durch den hellen Spalt entsteht auf dunklem Grunde das natürliche Spektrum und durch den dunklen Spalt auf hellem Grunde das dazu komplementäre Spektrum. Bei dem ersten fallen hauptsächlich die Farben Rot, Grün und danach Blau in die Augen, bei letzterem das zu Rot komplementäre Grünblau, das zu Grün komplementäre Purpur und das zu Blau komplementäre Gelb. Durch Vergleichen beider Spektren erkennt man, daß die Farben des komplementären Spektrums in dem natürlichen Spektrum enthalten sind mit Ausnahme von Purpur. Diese Farbe hebt sich deutlich von dem Rot ab.



Um zu zeigen, daß die einzelnen Farben beider Spektren komplementär sind, bringt man in den Strahlengang zwischen Schwefelkohlenstoffprisma und Projektionschirm ein Prisma mit kleinem brechenden Winkel, dessen brechende Kante horizontal liegt, und bringt zwei übereinanderstehende Farben zur Deckung. Man erhält so ein reines Weiß. Schiebt man das Prisma durch die Farben des einen Spektrums, so wandert das Weiß durch das andere Spektrum. Dabei ist es natürlich gleichgültig, ob man die Farben des komplementären Spektrums auf die des natürlichen wirft oder umgekehrt verfährt.

Bei diesen Versuchen wählte ich anfangs die Breite der beiden Spalte gleich 3 mm. In diesem Falle gelang die Vereinigung der Komplementärfarben zu Weiß gut, aber die Farben des komplementären Spektrums waren wenig gesättigt. Um einen satteren Farbenton zu erhalten, machte ich den dunklen Spalt 4 mm breit. Am besten erscheint das komplementäre Spektrum, wenn der dunkle Spalt eine Breite von 6—8 mm hat. Bei dem Versuch, Weiß herzustellen, wird man dann allerdings die Beobachtung machen, daß eine helle Mischfarbe in dem Farbenton der betreffenden Farbe des komplementären Spektrums entsteht. Das günstigste Ergebnis erzielt man also, wenn der helle Spalt etwa 3 mm und der dunkle Spalt 4 mm breit ist. Es sind dann beide Spektre gut zu sehen, und auch das Weiß erscheint sehr kräftig. Will man außerdem das komplementäre Spektrum noch deutlicher hervortreten lassen, so kann man vor den dunklen Spalt einen Bleistift halten, aber für die Vereinigung zu Weiß wäre das so entstehende Spektrum nicht zu benutzen.

Wenn man diese Versuche im Unterricht ausführt, wird man nicht umhin können, eine Erklärung für das Zustandekommen des Komplementärspektrums zu geben. Wäre der dunkle Spalt nicht vorhanden, so hätte man in diesem Teil der Glasplatte einen breiten hellen Spalt, den man sich aus vielen einzelnen Spalten zusammengesetzt denken kann. Es entstehen also bekanntlich auf dem Schirm viele gegeneinander verschobene Spektre, deren Farben sich gegenseitig überdecken und Weiß ergeben. Bei unserm Versuch wird aber durch den dunklen Spalt das Entstehen eines Spektrums verhindert, so daß an den einzelnen Stellen dieses Bereiches sich nicht alle Farben mischen können, es müssen also für die durch den dunklen Spalt nicht zustande kommenden Farben die Komplementärfarben auftreten. Man kann also kurz sagen: das komplementäre Spektrum kommt dadurch zustande, daß die Entstehung des natürlichen Spektrums verhindert wird. Näher beweisen könnte man dies durch folgenden Versuch. Man bezeichnet auf dem Projektionsschirm die Lage einer bestimmten Farbe, z. B. des Rot, durch eine davorgestellte Marke. Schaltet man dann in den Strahlengang eine Gelatinefolie ein, die nur Rot hindurchläßt, so erscheint das natürliche Spektrum rot, bei dem komplementären Spektrum dagegen erscheint unmittelbar darunter oder darüber an der durch die Marke festgelegten Stelle ein dunkler Streifen auf rotem Grunde. Bringt man dagegen andere Gelatinefolien, die nur Licht einer Farbengattung hindurchlassen, in den Strahlengang, so erscheint der dunkle Streifen an einer andern Stelle. An der durch die Marke bezeichneten Stelle entstehen also alle Farben außer Rot, sie erscheint daher grünblau. Bei dieser Gelegenheit wird man auch darauf aufmerksam machen, daß dieses Grünblau sich äußerlich nicht von dem Grünblau des natürlichen Spektrums unterscheidet, daß es aber doch auf eine andere Art zustande gekommen ist, es ist eine Mischfarbe, es enthält, wie gesagt, alle Farben außer Rot, während das Grünblau des natürlichen Spektrums eine reine Farbe ist. Zum Schlusse könnte man dann noch mittels eines Prismas mit vertikaler brechender Kante und kleinem brechenden Winkel zeigen, daß auch diese reine Farbe mit dem Rot zur Deckung gebracht Weiß ergibt.

Etwas störend wirkt bei der Vorführung der genannten Versuche, daß das weiße Feld, auf dem das komplementäre Spektrum erscheint, an den Rändern farbig umsäumt ist. Will man dies vermeiden, so muß man die Farben durch seitlich aufgestellte kleine Schirme abblenden.

Die experimentelle Bestätigung des Lenzschen Gesetzes.

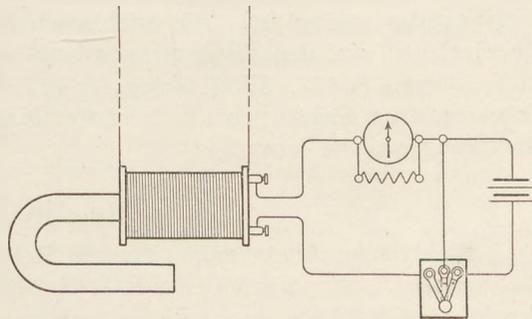
Von **Paul Hanck** in Pasewalk.

Die Behandlung des Lenzschen Gesetzes in den Schullehrbüchern der Physik ist sehr verschieden. Einzelne verzichten auf jeden experimentellen Nachweis und folgern das Gesetz aus dem Energieprinzip. Andere weisen die Richtung der beim Öffnen und Schließen eines Stromes entstehenden Induktionsströme durch Vergleich

des Galvanometerauschlages mit dem durch ein Element hervorgerufenen nach und leiten das Gesetz ab auf Grund des Satzes: Parallele und gleichgerichtete Ströme ziehen einander an, parallele und entgegengesetzt gerichtete Ströme stoßen einander ab. Eine dritte Gruppe geht von der Magnetoinduktion aus, bestimmt die Stromrichtung wieder mit Hilfe eines Elementes und kommt dann durch verschiedenartige Betrachtungen zum Ziele. Eine vierte Gruppe endlich läßt einen stromdurchflossenen Leiter durch einen Magneten in Bewegung setzen, schaltet durch eine mechanische Umschaltvorrichtung den Strom aus und läßt den darauf durch die Kraftlinien des Magneten zu führenden Leiter einen Induktionsstrom hervorrufen. Aus dem Vergleich der jeweiligen Bewegungsrichtung eines eingeschalteten Galvanometers ergibt sich das Lenzsche Gesetz.

Diese in den Lehrbüchern von BOHN und ROSENBERG angewandte Methode halte ich für die anschaulichste, da sie sich nicht auf andere Sätze und Versuche stützt. Während man aber z. B. bei der Polarisation durch einfache Umschaltung zeigt, daß die durch den Strom hervorgebrachte chemische Energie einen Strom von entgegengesetzter Richtung hervorruft und bei der Thermoelektrizität ebenso nachweisen kann, daß die durch den Strom bewirkte Erwärmung oder Abkühlung der Lötstellen einen entgegengesetzten Strom erzeugt, wird hier der Leiter durch die Hand bewegt, und nicht, wie es wohl wünschenswert wäre, die kinetische Energie, die er vorher durch den Strom erlangt hat, benutzt. An und für sich wäre dies ja allerdings möglich, da aber die Bewegung des Leiters nach der Umschaltung nicht in demselben Sinne erfolgt, wird der Ausschlag des Galvanometers gerade nach derselben Seite gerichtet sein, das Lenzsche Gesetz tritt infolgedessen nicht so klar zutage. Außerdem ist ein Lamettafaden für derartige Versuche nicht recht brauchbar. Ich wählte deshalb folgende ein wenig abgeänderte Versuchsanordnung.

Eine Drahtspule wird durch zwei längere Fäden an einem Rahmengestell aufgehängt. In die Spule schiebt man einen auf einem niedrigen Tischstativ hochkant stehenden Hufeisenmagneten und stellt dann einen Stromkreis nach Angabe der Figur her. Die Verbindung der Spule erfolgt durch dünne Drähte. Den Magneten dreht man so, daß bei Stromschluß die Bewegung der Spule und des Galvanometerzeigers nach derselben Seite etwa nach links erfolgt. Kehrt man dann durch Vertauschen der vom Akkumulator ausgehenden Drähte den Strom um, so bewegen sich beide wieder in demselben Sinne und zwar nach rechts. Bringt man dagegen unter gleichzeitiger Entfernung des Galvanometernebenschlusses den Umschalter in die zweite Stellung, so daß die Akkumulatoren ausgeschaltet sind, so pendelt die Spule längere Zeit hin und her, die Ausschläge des Galvanometers sind jedoch jetzt der Bewegungsrichtung der Spule immer entgegengesetzt.



Die Schüler erkennen so sehr gut, daß in der Spule beim Durchschneiden der magnetischen Kraftlinien Induktionsströme entstehen, die die Bewegung zu hemmen suchen, und daß die durch den Strom hervorgerufene Energie der Bewegung sich wieder in elektrische Energie umsetzt. Aufmerksam zu machen wäre auch darauf, daß diese Vorrichtung eine Wechselstrommaschine einfachster Art vorstellt.

Durch das beschriebene Verfahren wird natürlich nichts Neues gezeigt, aber ich glaube, daß man dadurch den Versuch übersichtlicher und wirkungsvoller gestalten kann.

Zur Übung kann darauf mit derselben Anordnung ein zweiter, ähnlicher Versuch angestellt werden. Man bringt den Umschalter wieder in die ursprüngliche Stellung, so daß die Spule abgelenkt wird, und beobachtet den Galvanometerausschlag. Zieht man

nun die Spule mit der Hand zurück, so tritt infolge der geleisteten Arbeit ein Induktionsstrom von gleicher Richtung auf, und der Ausschlag wird vorübergehend größer, bewegt man die Spule aber in entgegengesetzter Richtung, so wird der Ausschlag kleiner.

Einen sehr geeigneten Apparat zum Nachweis des Lenzschen Gesetzes beschreibt auch GRIMSEHL in seinem Lehrbuch der Physik (Zweite Auflage, S. 1044 und 1048). Leider ist der Preis hierfür so hoch (175 M.), daß in der Regel von einer Anschaffung abgesehen werden wird. Dasselbe kann man aber mit zwei Drehspulgalvanometern erreichen. Man taucht eine Zink- und eine Kupferplatte in Leitungswasser und stellt aus diesem Element und den beiden Galvanometern einen Stromkreis derart her, daß die Ausschläge der Galvanometer gleichgerichtet sind. Schaltet man dann das Element aus (am besten wieder durch eine mechanische Umschaltvorrichtung) und bewegt den Zeiger des einen Galvanometers, so zeigt das andere einen Ausschlag von entgegengesetzter Richtung. Dieser Versuch ist bei seiner Einfachheit so überzeugend, daß man ihn meiner Meinung nach, wenn zwei Drehspulgalvanometer zur Verfügung stehen, unbedingt vorführen sollte.

Indirekt kann das Lenzsche Gesetz auch durch die Dämpfung eines Drehspulgalvanometers nachgewiesen werden. Auf die starke Dämpfung dieser Instrumente wird ja in den meisten Lehrbüchern aufmerksam gemacht. Ich habe jedoch nirgends, selbst nicht in dem reichhaltigen Experimentierbuch von ROSENBERG, eine Bemerkung darüber gefunden, daß man sich hiervon bei Galvanometern mit ausziehbarer Spule durch einen Versuch überzeugen kann. Infolgedessen mag ein kurzer Hinweis hierauf nicht unangebracht sein. Bringt man nämlich den Zeiger aus der Ruhelage, so kehrt er nach wenigen Schwingungen in diese zurück. Zieht man dagegen die Spule aus dem Magnetfelde heraus und lenkt den Zeiger ab, so pendelt er längere Zeit hin und her. Schiebt man die Spule wieder zurück, so hört die Bewegung plötzlich auf. Bei diesem Versuch ist es ziemlich gleichgültig, ob das Galvanometer geschlossen ist oder nicht, denn für die Dämpfung kommen die in der Spule des Galvanometers entstehenden Induktionsströme kaum in Betracht, da ihre Stärke wegen des großen Widerstandes gering ist. Die wirksamen Ströme entstehen in einem rechteckigen Metallrahmen, auf den die Spule gewickelt ist. Sollte sich bei den in *dieser Zeitschrift* (XXV. Jahrg., S. 357, XXVI. Jahrg., S. 351 und XXVII. Jahrg., S. 177) beschriebenen Galvanometern nicht auch durch Verwendung eines solchen Rahmens eine bequemere Dämpfung erzielen lassen?

Für die Praxis.

Elektrische Abstoßung. Von H. Rebenstorff. In *ds. Zeitschrift* 22, 81 (auch Rebenstorff, Experimentierbuch I, S. 201) wurde mitgeteilt, daß ein Bausch der Fruchthaare der Schwarzpappel, den man mit einem umgewundenen Coconfaden etwas festigen kann, ein besonders leichter Körper für elektrische Abstoßung ist. Es verdient erwähnt zu werden, daß an Stelle des nicht überall erhältlichen Materials ein Bausch von Haaren eines weichen Katzenfells allenfalls einen Ersatz abgeben kann. Das Schwebenderhalten des Bausches in der Luft über dem geladenen Elektrophordeckel gelingt freilich nicht so leicht. Eine Anzahl gefallender Versuche gelingen auch mit einem kleinen Abschnitt des Felles selbst. Besonders wenn die Haut (vom Füßchen) recht dünn und das Haar lang ist, wird ein winziges oder größeres Fellstückchen (bis Fingerlänge) sehr hübsch vom Elektrophordeckel in die Luft hineingestoßen, wenn man diesen geladen emporhebt. Auch sieht man das auffallende Sträuben der Haare, wenn das Fellstück durch eine Beschwerung festgehalten ist, und kann damit sehr wirksam die Notwendigkeit des ableitenden Berührens des Deckels zeigen. Inmitten einer offenen Metalldose liegend, die auf elektrisierter Unterlage steht, bemerkt man erst am Sträuben des Haares am kleinen Fellstücke das Vorhandensein der Ladung, wenn es nicht tief am Boden, sondern bis zur Ebene der Dosenöffnung erhöht gelagert wurde.

Berichte.

1. Apparate und Versuche.

Der Tripelspiegel für den Unterricht.

Nur von einzelnen der Neuheiten, die von der Technik für den gegenwärtigen Weltkrieg geschaffen worden sind, ist die Schule imstande, Modelle zu beschaffen. Ein solches liefert die Firma Carl Zeiß in Jena von ihrem Signalgerät, dem „Tripelspiegel“. In weiteren Kreisen machte wohl zuerst die Physik im Kriege von F. Auerbach, 3. Aufl., Jena, 1915, Gust. Fischer, S. 67 ff. mit der Vorrichtung bekannt, die einen Ersatz für ein Leuchtfeuer darstellt, ohne selbst eine Lichtquelle zu enthalten. Der Tripelspiegel ist auf Stationen der Küste, schwimmenden Bojen oder befreundeten Schiffen angebracht zu denken und wirft Licht nach einem fernen Scheinwerfer zurück, der ihn anspiegelt. Daraus ergeben sich eine Reihe besonderer Anwendungen.

Stellt man die Öffnung eines einfachen Winkelspiegels (z. B. Weinhold, Demonstrationen, 3. Aufl., S. 327), den man auch durch Aufkitten zweier Spiegelglasquadrate auf biegsames Bleiblech leicht selbst herstellen kann, auf 90° , so geht ein Lichtstrahl nach dem Auftreffen denselben Weg in entgegengesetzter Richtung zurück. Im abgedunkelten Zimmer wird dies am parallelen Licht einer Bogenlampe sehr deutlich, wenn man neben den Lampenkasten einen weißen Schirm aufstellt und den Öffnungswinkel des am entgegengesetzten Tischende erhöht aufgestellten Winkelspiegels so weit von 90° abweichend ändert, bis ein heller Lichtfleck auf dem Schirm erscheint. Man kann nun durch einiges Drehen des ganzen Winkelspiegels um eine senkrechte Achse zeigen, wie die Zurückwerfung des Lichtstrahls von der

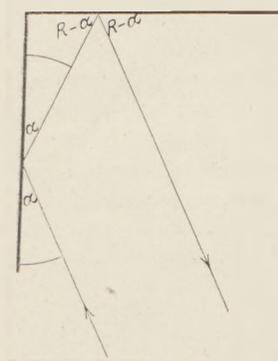


Fig. 1.

jeweiligen Lage des Spiegels unabhängig ist, solange nur die gemeinschaftliche Reflexionsebene unverändert bleibt. (Weinhold erläutert dies für den Winkelspiegel mit der Öffnung von 45° .) Fig. 1 zeigt, daß der Lichtstrahl, der unter dem Winkel α auf den ersten Spiegel fällt, von dem zweiten, senkrecht dazu stehenden Spiegel parallel der Anfangsrichtung zurückgeworfen wird. Wenn man entgegen der gebräuchlichen Bedeutung des Einfallswinkels die Winkel zwischen Strahl und Spiegel selbst beachtet, so leakt ein

um α geneigter Spiegel den Strahl um 2α ab. Kommt dieses nun gleich darauf an den um $R-\alpha$ geneigten zweiten Spiegel, so wird der Strahl weiter um $2(R-\alpha)$, im ganzen also um $2R$ abgelenkt.

Ebenso wie zwei Spiegel mit unveränderter Einfallsebene wirken nun drei aufeinander senkrechte Spiegel. Man kann den Strahlengang hierfür leider nicht an einer sehr einfachen Zeichnung erweisen. Die Zurückwerfung des Strahls ist bei dem „Tripelspiegel“ auch von der jeweiligen Lage der Einfallsebenen unabhängig. Schon drei, wie an einer Würfecke verbundene Brettchen, auf die je eine Spiegelglasplatte gekittet wurde, zeigen die Wirkung des Tripelspiegels einigermaßen. Entsprechend dem Ersatz spiegelnder Platten durch Prismengläser besteht der patentierte Spiegel der Firma Zeiß aus einem Stück dieses farblosen Materials, an dem drei ebene Schlitze in Richtung der Flächen des Würfels an einer Ecke hergestellt sind, während eine vierte ebene Fläche die körperliche Ecke nach vorn begrenzt. Weitere Schlitze machen das ganze Prismenglas sechseckig.

Bei der Größe für den eigentlichen Gebrauchszweck (Durchmesser 85 und 100 mm) sind diese Stücke für den Unterricht zu teuer. Die Firma lieferte aber dafür einen Tripelspiegel von 40 mm,¹⁾ der die Wirkung ausgezeichnet erkennen läßt, für 25 *M.* Blickt man in die große Eintrittsfläche, so sieht man ein Bild des Auges unverändert, wenn auch dabei der Spiegel innerhalb ziemlich weiter Winkelgrenzen („Wirkungsbereich“) beliebig gedreht wird. Da nun die Beobachtung des aus dem fern aufgestellten Spiegel zurückkehrenden Strahles nur neben der Lichtquelle möglich ist, so sind ein oder mehrere der drei Winkel des Spiegels ein klein wenig von 90° abweichend hergestellt. Der Strahl kehrt dann nicht genau in den Ausgangspunkt zurück, sondern es werden je zwei ein wenig daneben verlaufende Strahlen zurückgeworfen. Für den Unterrichtszweck wurde diese Abweichung größer gemacht als für den praktischen Gebrauch. Das als „Verhältniszahl“ bezeichnete Verhältnis des seitlichen Abstandes des Punktes von der Lichtquelle, in dem man die Spiegelung des fernstehenden Gerätes beobachtet, zur Entfernung der beiden Stationen beträgt sonst $1/10000$. Auf 5 km Entfernung sieht man also je 50 cm beiderseits der Lichtquelle den Lichtpunkt im

¹⁾ Die einzelne Spiegelfläche hat diese Ausdehnung.

Tripel Spiegel. Für den Gebrauch im Zimmer ist eine Verhältniszahl von etwa $1/1000$ gewählt worden. Man stellt den Spiegel am besten auf ein Tischchen über ein zusammengelegtes Leinentuch in einem etwas entfernten Raume auf, zu dem die Türen nach dem Unterrichtszimmer hin geöffnet bleiben. Blickt man dann einige cm neben einer vor das Gesicht gehaltenen Kerzenflamme gegen den Spiegel, so sieht man in diesem das Licht, sobald der seitliche Abstand der richtige ist. Deutlich erkennt man die Kerzenflamme, wenn man am Orte des Beobachtens ein Fernrohr gegen den Spiegel richtet, und der Einzelne die Lichtflamme bis fast vor das Objektiv bewegt. Auch hierbei bemerkt man die Umkehrung des Bildes im Tripel Spiegel. In wagerechter Ebene verlaufen die beiden aus dem Spiegel tretenden Lichtbündel, wenn die im Glase eingravierte Verhältniszahl sich unten befindet. Bei einem Vortrage konnte jeder Zuhörer die Wirkung des entsprechend aufgestellten Tripel Spiegels mittels einer kleinen von Hand zu Hand gehenden Kerzenflamme erkennen, in dem er nahe hinter ihr, ganz wenig seitwärts in den Spiegel blickte.

Beim Beobachten neben dem die Ferne absuchenden Scheinwerfer kann man also durch das Aufblitzen des beleuchteten Tripel Spiegels von der See aus erkennen, daß man sich unweit des der Führung bekannten Ortes befindet, weiter

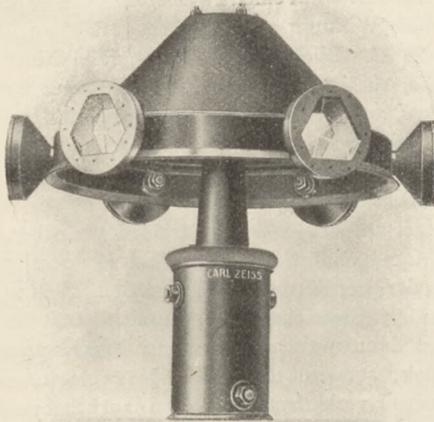


Fig. 2.

ergibt sich aus dem Seitenabstande neben der Lichtquelle und der Verhältniszahl, wenn auch nur als rohe Annäherung die Entfernung des durch den Spiegel gekennzeichneten Ortes. Fig. 2 zeigt eine Anseglungstonne mit 6 Tripel Spiegeln, die ebenfalls nach grundlegenden Ideen Straubels vom Zeißwerk in Jena gebaut wurde und

offenbar eine „Leuchtboje ohne Licht“ darstellt. Weitere Anwendung erhält der Apparat für die Signalgebung. Der Spiegel der Fig. 3 ist mit Klappen versehen, die beim Drücken auf einen Tasterknopf die Spiegelung aufheben bzw. freigeben,



Fig. 3.

so daß kürzere oder längere Lichtzeichen nach Morseschrift erhältlich sind. Ersichtlich Vorteil gewährt diese Verwendung auch insofern, als die Lichtsignale nicht durch unberufene Augen er-

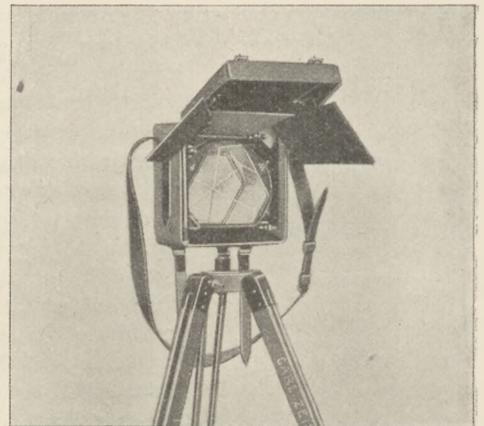


Fig. 3a.

kannt werden. Die Reichweite dieser Signalgebung beträgt nach der Schrift (T. 93) des Zeißwerkes für den 85-mm-Spiegel mit 50 Amp. Scheinwerfer bei Tage 7,5, bei Nacht 22 km. Der 100-mm-Spiegel erhöht diese Entfernungen auf 10 und 30 km.

Einer großen Zuhörerschaft zeigt man die Wirkung des Tripelspiegels auch mittels einer unbelegten Spiegelglasscheibe, die man in der Mitte des Tisches senkrecht, aber unter 45° gegen dessen Längsrichtung aufstellt. Vom einen Tische enden her fallen parallele Strahlen durch die Glasplatte auf den am anderen Ende des Tisches

befindlichen Tripelspiegel. Ein Teil des von ihm entgegengesetzt zurückgeworfenen Lichtes wird von der Spiegelplatte in der Querrichtung des Tisches reflektiert und wird auf einer weißen Schirmfläche im abgedunkelten Zimmer sichtbar.

H. Rebenstorff.

2. Forschungen und Ergebnisse.

Die Bahn der Schallstrahlen in der Luft.

Von verschiedenen Seiten ist diese Frage sowohl durch Beobachtungen als durch theoretische Betrachtungen zu entscheiden gesucht worden. W. MEINARDUS sammelte die Beobachtungen über die Hörweite des Kanonendonners bei der Belagerung von Antwerpen (28. Sept. bis 9. Okt. 1914¹⁾). Die normale Hörbarkeit erstreckte sich bis auf etwa 100 km von der Schallquelle; diese bilden das innere Schallgebiet. Jenseits dieser 100 km folgte bis 160 km eine Zone, in der man den Kanonendonner nicht hörte: die Zone des Schweigens. Dann begann das Gebiet der abnormalen Hörbarkeit (das äußere Schallgebiet), das sich bis etwa 230 km von der Schallquelle ausdehnte. Die Beobachtungen erstreckten sich nur auf Holland und Deutschland, fehlten aber aus den südlichen und südwestlichen Gebieten. Es scheint aber doch, daß das äußere Schallgebiet sich vorwiegend nach NO ausgedehnt hat. E. VAN EVERDINGEN bestätigt die Angaben von Meinardus und fügt hinzu, daß auch an anderen Tagen im Oktober und November 1914 und im Januar 1915, an denen ebenfalls bedeutende Kriegereignisse in Belgien und Nordfrankreich stattfanden, das Auftreten des zweiten Gebietes abnormaler Hörbarkeit in einer Entfernung von 160 km von der Schallquelle beobachtet wurde²⁾. Gerade an dieser Grenze war die verstärkte Hörbarkeit von Fensterklirren u. dgl. begleitet. A. DE QUERVAIN sammelte in gleicher Weise die Beobachtungen, welche während der Weihnachtstage 1914 über die Ausbreitung des Kanonendonners aus dem Sundgau gemacht waren³⁾. Er erhielt 600 Berichte aus der Schweiz, Baden, Württemberg, Bayern, aus Straßburg und Besançon. Das Gebiet der abnormalen Hörweite war gegen N bis NW, sowie gegen SO bis S 160 km, gegen NO bis O 210 km; vom Sektor W bis N fehlen die Nachrichten. Die Zone des Schweigens war nicht so scharf ausgebildet, aber doch deutlich

erkennbar: sie schob sich wie ein Keil von SW her bis zum Feldberg. Auffallend ist die Asymmetrie der Erscheinung. Der Schall hatte die Eigentümlichkeit nicht nur mit den Ohren, sondern scheinbar mit dem ganzen Körper wahrgenommen zu werden; in verschiedenen Fällen haben ganz oder fast ganz taube Personen stark reagiert.

Von J. N. DÖRR wird darauf hingewiesen, daß die abnorme Hörbarkeit des Kanonendonners unter Umständen für die Kriegführung von großer Bedeutung sein kann⁴⁾. So erhielt bei Wörth das II. bayrische Korps Weisung, falls Kanonendonner von dort hörbar sei, vorzurücken, und konnte so in die Schlacht eingreifen. Andererseits rückten in der Schlacht bei Liegnitz am 15. August 1760 Daun und Lacy nicht weiter vor, da sie „wegen eines eben entstandenen widrigen Windes“ den vom Angriff des Königs stammenden Kanonendonner nicht mehr hörten. Ebenso rückte bei Spichern die 13. Division, die dem ganzen Kampf ein Ende hätte machen können, nicht vor, weil der Kanonendonner „im Waldgelände“ nicht mehr hörbar war und man den Kampf für beendet hielt. Natürlich war man beide Male in die Zone des Schweigens geraten. Wie wichtig der militärische Grundsatz „Marschieren auf den Kanonendonner“ oft gewesen ist, einen wie hohen moralischen Einfluß er auf die Truppe ausgeübt hat, zeigen die Schlachtberichte von Gitschin, Königgrätz (1866) und Weißenburg, Wörth, Sedan (1870). Dem Kanonendonner kommt daher als Angriffs- und Richtungssignal eine außerordentlich hohe Bedeutung zu, seine Hörbarkeit ist von großem Einfluß auf Führer und Mannschaften. Daß auf diese aber nicht immer zu rechnen ist, zeigen eben die neuesten Beobachtungen.

Zur Erklärung der Eigentümlichkeiten der Schallausbreitung muß man die Frage beantworten, ob die Schallwellen etwa in große Höhen von 60 und 100 km emporzudringen vermögen und hier durch Reflexion an der Wasserstoffatmosphäre zur Erde zurückgeleitet werden oder ob sie ihren Weg nur durch verhältnismäßig niedrig gelagerte Schichten neh-

¹⁾ *Meteorologische Zeitschrift* 32, 199 (1915), vgl. *diese Zeitschrift* 28, S. 210.

²⁾ Versl. K. Ak. van Wet. Amsterdam 24, 820 (1915); *Die Naturwissenschaften* 4, 213 (1916).

³⁾ *Die Umschau* 1915, S. 524.

⁴⁾ *Meteorologische Zeitschrift* 32, 207 (1915).

men und durch Wind oder Temperatureinflüsse zur Umkehr gegen die Erdoberfläche gezwungen werden. Die erste Theorie wurde namentlich von von dem Borne vertreten. E. VAN EVERDINGEN glaubt, daß die Antwerpener Beobachtungen mit ihr in Übereinstimmung stehen. Nach den bisherigen Rechnungen müßte freilich bei der Reflexion an der über 60 km hohen Wasserstoffatmosphäre die Rückkehr zur Erde in einer Entfernung von 100—116 km von der Schallquelle erfolgen, während bei Antwerpen der äußere Radius der Zone des Schweigens 160 km betrug. Rechnungen des Verf. zeigten aber, daß ein Radius von 160 km vorhanden ist, wenn man in der Atmosphäre einen Gehalt von 0,0001 % Wasserstoff annimmt. Da dieser Gehalt fast genau mit den neuen Bestimmungen von Claude und Erdmann übereinstimmt, so wäre darin eine Stütze für die von dem Bornesche Theorie zu finden. Trotzdem muß diese aus anderen Erwägungen heraus doch wohl abgelehnt werden. W. SCHMIDT berechnete die Energieabnahme, die eine ebene Schallwelle erfahren muß, wenn sie von der Erdoberfläche (762 mm Druck) in eine Höhe von etwa 50 km (0,5 mm Druck) gelangt und fand, daß die Energie dann nur weniger als $\frac{1}{1100}$ der Ausgangsenergie sein kann⁵⁾. Sieht man selbst von mehrfachen Beugungen und Reflexionen ab, so verbleiben mehr als $\frac{10000}{1100}$ der Schallenergie in den Schichten unter 50 km, weniger als $\frac{1}{1100}$ dringt darüber hinaus, und nur ein Bruchteil dieser letzten Menge kann die Reflexion an der höher liegenden Wasserstoffatmosphäre erfahren. Die aus der Höhe zurückkehrende Welle müßte aber dieselben Schwächungen erleiden, d. h. es käme weniger als der millionste Teil der Intensität der direkten Schallwelle zum Erdboden. Damit wäre aber die gerade sehr intensive Hörbarkeit am inneren Rande des abnormalen Gebiets nicht vereinbar. Die von der Bornesche Theorie würde ferner eine gleichmäßig ringförmige Ausbreitung der Schallbewegung, konzentrisch zur Schallwelle, voraussetzen, was den meisten Beobachtungen einer sehr exzentrischen Ausbreitung widerspricht. Somit müßte man also die zweite Theorie annehmen, daß die Schallstrahlen durch Wind- oder Temperatureinflüsse schon in niedrigen Schichten zur Umkehr gezwungen werden. W. SCHMIDT glaubt, daß vertikale Windverschiedenheiten allein zur Erklärung ausreichen. Eine Zunahme des Windes nach oben genügt, um die Schallstrahlen im Lee nach abwärts, im Luv nach aufwärts zu bringen; bei Abnahme des Windes in höheren

Luftschichten werden sie im Luv nach abwärts gebogen und können den Erdboden wieder erreichen. Die Exzentrizität der Erscheinung wäre dann selbstverständlich. Örtlich kann auch eine sammelnde Wirkung zustande kommen, es können sich »Brennflächen« bilden, in denen der Schall dann sogar stark vernommen werden kann.

Eine Theorie, welche die besprochenen Erscheinungen auf verschiedene Temperatur der von den Schallwellen durchsetzten Luftschichten zurückführt, hatten auch v. d. Borne und de Quervain ausgearbeitet, später aber aus verschiedenen Gründen wieder aufgegeben. FR. NÖLKE zeigt, daß die Erscheinungen dadurch doch gut erklärt werden können, wenn dabei gleichzeitig die Beugung der Schallstrahlen berücksichtigt wird⁶⁾. Der Verf. bestimmte die Bahn eines wagrecht ausgehenden Schallstrahls ohne Berücksichtigung der Beugung und fand, daß jene von parabolischer Form ist, so daß der Schallstrahl schon in 14 km Entfernung 1 km hoch, in 10 km Entfernung 500 m hoch und in 1 km Entfernung 5 m hoch über unseren Köpfen hinstreichen würde, so daß man am Erdboden schon in geringer Entfernung nichts mehr hören würde. Daß die Zone der normalen Hörbarkeit die Schallquelle bis zu 160 km umgibt, wäre hiernach allein der Beugung zuzuschreiben. Es werden nun auch stets kräftige abgebeugte Schallstrahlen vorhanden sein, die, wenn sie unter kleinen Winkeln der Erdoberfläche nahe Luftschichten von höherer Temperatur treffen, von diesen zur Umkehr gezwungen werden können. So wird ein Schallstrahl, der mit einer Neigung bis zu $3\frac{1}{2}^{\circ}$ an die Grenze einer nur 1° C wärmeren Luftschicht gelangt, schon total reflektiert. Solche Temperaturumkehrungen findet man aber infolge von Luftströmungen oft schon in geringen Höhen, und die ungleichmäßige Ausbildung der Inversionsschicht gibt eine Erklärung für alle beobachteten Unregelmäßigkeiten der Schallausbreitung. Auch innerhalb der Zone des Schweigens muß jemand, der sich über die Inversionsschicht erhebt, den Schall wieder hören, wie tatsächlich de Quervain den Kanonendonner aus dem Sundgau an hoch gelegenen Stellen des Jura wieder hörte.

Eine allgemeine Berechnung der Bahn eines Schallstrahls in verschieden temperierten Luftschichten gibt W. KOMMERELL⁷⁾. Für eine Wellenbewegung, deren Geschwindigkeit proportional der Quadratwurzel aus der Höhe ist, ist die Bahn eine Zykloide. Die Zykloide ist nach unten konvex, wenn die Temperatur mit der Höhe gleich-

⁵⁾ *Meteorologische Zeitschrift* **32**, 366 (1915).

⁶⁾ *Phys. Zeitschrift* **17**, 31 (1916).

⁷⁾ *Phys. Zeitschrift* **17**, 172 (1916).

mäßig abnimmt (normaler Zustand); sie ist nach oben konvex, wenn die Temperatur mit der Höhe zunimmt (Temperaturumkehr). Alle diese Zykloiden können erzeugt gedacht werden dadurch, daß die Kreise, welche durch den Ausgangspunkt der Schallstrahlen gehen, und die Horizontale des absoluten Nullpunktes berühren, auf dieser abrollen: die Ebenen der Kreise bleiben hierbei stets vertikal. Um die Zone abnormer Hörbarkeit zu erklären, nimmt der Verf. an, daß in einer gewissen Höhe bei Temperaturumkehr die nach oben konkave Zykloide in die nach oben konvexe Form umgebogen und zur Erde zurückgeleitet wird. Da er aber die Umkehrschichten nur in sehr bedeutenden Höhen annimmt, so stimmen die Beobachtungen nicht recht mit der Theorie; will man die Erscheinungen auf Temperatureinflüsse zurückführen, so dürfte wohl die NÖLKEsche Annahme der Beugungswirkung zutreffender sein. *Schk.*

Die Gesetze des radioaktiven Zerfalls und eine Anordnung zu ihrer Veranschaulichung.¹⁾
Von Dr. P. LUDEWIG in Freiberg i. S. (Originalbericht.)

I. Der Zerfall einer radioaktiven Substanz geht in der Weise vor sich, daß von der in jedem Augenblick vorhandenen Anzahl von Atomen immer ein bestimmter Bruchteil der Umwandlung unterworfen wird. Die Zahl der Atome nimmt daher nach einem Exponentialgesetz ab, und zwar besteht die Beziehung

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

wenn man mit N_0 die zur Zeit Null, mit N_t die zur Zeit t vorhandene Atomzahl bezeichnet. Die Größe λ ist eine für jede radioaktive Substanz charakteristische Größe, die man als Zerfallskonstante bezeichnet. Sie hängt mit der Zahl der zur Zeit t vorhandenen Atome N_t und der Zahl der zur Zeit t zerfallenden Atome n_t durch die Gleichung

$$N_t \cdot \lambda = n_t \quad (2)$$

zusammen. Aus ihr ergibt sich, daß die Zahl der zerfallenden Atome um so größer ist, die Substanz also um so schneller zerfällt, je größer die Zerfallskonstante λ ist.

Um die Zerfallsgeschwindigkeit noch besser zu veranschaulichen, hat man die sogenannte Halbwertszeit T eingeführt, d. h. die Zeit, nach der eine bestimmte Substanzmenge bis auf die

Hälfte zerfallen ist. Zwischen T und λ besteht die Beziehung

$$T = \frac{\log \text{nat } 2}{\lambda} \quad (3)$$

Bei dem Zerfall einer Substanz wird eine andere neu gebildet. Hat die zweite Substanz gegenüber der ersten eine sehr große Halbwertszeit, so lassen sich die in jedem Zeitpunkt vorhandenen Mengen der beiden Substanzen in einfacher Weise aus dem Exponentialgesetz ableiten. Es ergibt sich (siehe Fig. 1), daß ent-

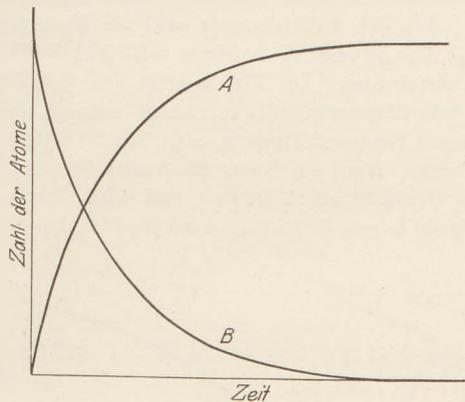
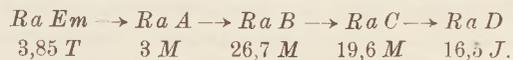


Fig. 1.

sprechend dem Abfall der Substanz A die Zahl der Atome der Substanz B ansteigt und nach dem Verschwinden der Substanz A einen konstanten Wert erreicht.

II. Wesentlich komplizierter liegen die Verhältnisse, wenn die Halbwertszeit der Substanz B gegenüber der Halbwertszeit A nicht unendlich groß, sondern von etwa der gleichen Größenordnung ist, oder wenn ganz allgemein mehrere radioaktive Substanzen mit Halbwertszeiten von etwa derselben Größenordnung aufeinander folgen. Als Beispiel wählen wir aus der Uran-Radium-Zerfallsreihe den Zerfall zwischen RaA und RaD , also die Zerfallsfolge, für die folgenden Halbwertszeiten gelten:



Wir wollen den Fall annehmen, daß wir uns auf irgendeine Weise eine Menge RaA hergestellt haben, die zur Zeit Null nur aus RaA besteht und wollen fragen, in welcher Weise die Atomzahlen von RaA , RaB , RaC und RaD sich mit der Zeit ändern. Bezeichnen wir mit $\lambda_A, \lambda_B, \lambda_C, \lambda_D$ die vier zugehörigen Zerfallskonstanten und mit N_A, N_B, N_C, N_D die Atomzahlen, so gelten nach Gleichung 2 ohne weiteres die Beziehungen

$$\frac{dN_A}{dt} = -\lambda_A N_A \quad (4)$$

¹⁾ Der am Schluß dieses Berichtes erwähnte Demonstrationsapparat wurde zuerst in der *Physikalischen Zeitschrift* **17**, S. 145 (1916) beschrieben.

$$\frac{dN_B}{dt} = \lambda_A N_A - \lambda_B N_B \quad (5)$$

$$\frac{dN_C}{dt} = \lambda_B N_B - \lambda_C N_C \quad (6)$$

$$\frac{dN_D}{dt} = \lambda_C N_C \quad (7)$$

Die Gleichung 7 gilt für den Fall, daß die Halbwertszeit für *RaD* im Vergleich zu den anderen Halbwertszeiten so groß ist, daß man von einem Zerfall dieser Substanz in der betrachteten Zeitdauer absehen kann. Das ist tatsächlich der Fall.

Aus den 4 Gleichungen sind die Werte von N_A , N_B , N_C und N_D in ihrem zeitlichen Verlauf zu bestimmen. Die Fig. 2 zeigt das Resultat dieser Rechnung. *RaA* nimmt schnell nach einem Exponentialgesetz ab, *RaB* hat ein scharfes, *RaC* ein flachverlaufendes Maximum, *RaD* nimmt allmählich zu, und nach einer genügend langen Zeit ist nur noch *RaD* vorhanden.

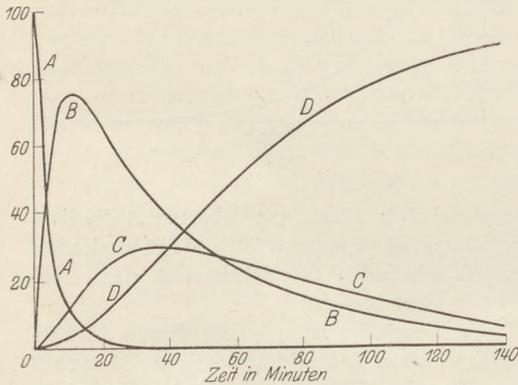
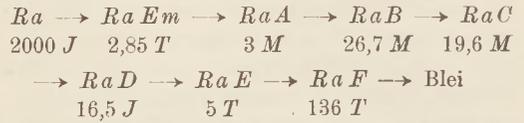


Fig. 2.

Das ausgewählte Beispiel läßt sich experimentell ohne weiteres verwirklichen. Stellt man in einem Raum, in welchem sich das radioaktive Gas Radium-Emanation befindet, einen Körper, so setzt sich (siehe die obige Zerfallsreihe) auf ihm das aus dem Gas zerfallende *RaA* ab. Sorgt man dafür, daß diese Exposition nur sehr kurze Zeit dauert, daß also *RaA* inzwischen nicht zu einem merklichen Teil zerfallen ist, so hat man nach der kurzen Expositionszeit auf dem Körper nur *RaA* angesammelt. Bringt man ihn in ein Elektroskop, so kann man die Bildung der radioaktiven Substanzen *RaB*, *RaC* und *RaD* an dem zeitlichen Verlauf der ausgesandten Strahlung messend verfolgen.

III. Ein besonderer Fall ist beim radioaktiven Zerfall dann vorhanden, wenn eine Substanz von sehr langer Lebensdauer eine Anzahl von aufeinanderfolgenden Substanzen bildet, deren Halbwertszeiten gegen die der Ausgangssubstanz relativ kurz sind, und wenn man den Zerfall eine

genügend lange Zeit vor sich gehen läßt. Dies würde z. B. dann eintreten, wenn man eine bestimmte Menge Radium in ein kleines Glasröhrchen einschließt und so dafür sorgt, daß von dem radioaktiven Gas, der Radium-Emanation, nichts verloren geht, sondern von ihm und von allen folgenden Substanzen alles innerhalb der Röhre zum Zerfall kommt. Entsprechend der Zerfallsreihe



wird nach einer gewissen Zeit in dem Glasröhrchen nicht nur Radium, sondern es werden zugleich alle anderen radioaktiven Produkte vorhanden sein. Es stellt sich ein Gleichgewichtszustand ein, der dadurch charakterisiert ist, daß von einer Substanz gerade so viel zerfällt, wie von ihr gebildet wird. Sind $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots$ die Zerfallskonstanten der aufeinanderfolgenden Substanzen und N_1, N_2, N_3, \dots die Atomzahlen, so gilt nach Gleichung (2) für dieses Gleichgewicht die Beziehung

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \lambda_3 N_3 \dots \quad (8)$$

Dabei ist vorausgesetzt, daß die Ausgangssubstanz so langsam zerfällt, daß ihre Menge in dem betrachteten Zeitabschnitt nicht merklich abgenommen hat. Das ist für unser Beispiel tatsächlich der Fall.

Aus der Formel 8 folgt, daß im Gleichgewichtszustand von einer Substanz um so mehr Atome vorhanden sind, je größer ihre Zerfallskonstante ist, d. h. je langsamer die Substanz zerfällt.

IV. Wir haben unter 2 den Fall besprochen, daß wir in ein Gefäß mit Radiumemanation einen Körper eine sehr kurze Zeit hineinsetzten, so daß zunächst nur *RaA* gebildet wird, und haben den zeitlichen Verlauf der Mengenverhältnisse der am Zerfall beteiligten Substanzen verfolgt. Ein zweiter Fall ist daneben von Interesse: der Körper soll so lange in der Radiumemanation exponiert werden, daß sich die auf ihm niederschlagenden Substanzen im Gleichgewichtszustand befinden. Dann soll der Körper aus dem Gefäß entfernt und es soll bestimmt werden, in welcher Weise die Mengenverhältnisse der gebildeten Substanzen zeitlich abnehmen. Auch dieser Fall ist der Rechnung zugänglich. Fig. 3 zeigt das Resultat an einem Kurvenbild, und zwar sind die Kurven nur für die drei ersten Zerfallsprodukte *RaA*, *RaB* und *RaC* gezeichnet. Die anderen sind fortgelassen, weil ihre Zerfallsgeschwindigkeit zu klein ist, um in

einem übersichtlichen Kurvenbild mit den genannten Substanzen vereinigt zu werden.

Die zur Zeit Null vorhandenen Mengen der drei Substanzen entsprechen dem Zustand des radioaktiven Gleichgewichtes; von *RaA* ist, seiner kleinen Halbwertszeit entsprechend, nur wenig, von *RaC* und von *RaB* mehr vorhanden. Die Mengen aller drei Substanzen nehmen ab, *RaA* nach einem einfachen Expo-

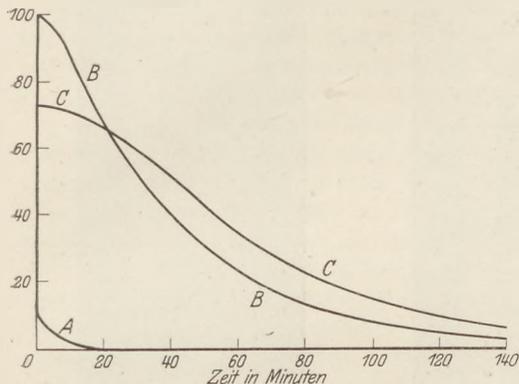


Fig. 3.

ponentialgesetz, *RaB* und *RaC*, der Neubildung der Substanzen entsprechend, nach einem komplizierteren Gesetz. Nach genügend langer Zeit sind alle drei vollkommen zerfallen.

V. Bei der Vorbereitung zu einem Vortrag über die im vorigen besprochenen Gesetze legte sich der Verfasser die Frage vor, ob es nicht möglich sei, an einem Modell die Vorgänge beim Zerfall nachzuahmen und so im Unterricht die Kurvendarstellung durch unmittelbare Anschauung zu ergänzen. Im folgenden soll die endgültige Anordnung²⁾ beschrieben werden, mit der es gelang, diesen Gedanken zu verwirklichen. Um die sich auf die grundlegende Formel 1 gründenden Gesetze zu demonstrieren, braucht man eine Anordnung, bei der die zu verschiedenen Zeitpunkten vorhandene Substanzmenge dem gleichen Gesetze gehorcht. Sie wurde in einfacher Weise dadurch hergestellt, daß aus einem Glaszylinder durch ein im Boden befindliches Loch Wasser ausfließen gelassen wurde. Die Höhe der Wassersäule gibt dann ein Maß für die vorhandene Substanzmenge. Fig. 4 zeigt die Abhängigkeit der Flüssigkeitshöhe von der Zeit bei einem Lochdurchmesser von 2 mm. Die entstehende Kurve entspricht nicht genau dem Exponentialgesetz. Die ganze Anordnung vermag daher die Gesetze nicht quantitativ genau wiederzugeben, die qualitative Übereinstimmung

²⁾ Der Apparat kann von der Modellwerkstatt der Kgl. Bergakademie zu Freiberg i. Sa. bezogen werden.

ist aber so gut, wie sie bei einem Demonstrationsapparat nur verlangt werden kann.

Die verwendeten Glasröhren (Fig. 5) hatten einen lichten Durchmesser von 3,7 cm und eine Länge von 18 cm. Sie sind oben etwas geweitet, um sie bequem in Holzgabeln einhängen zu können. Die untere Öffnung der Röhren ist mit einer Hartgummiplatte geschlossen, und zwar

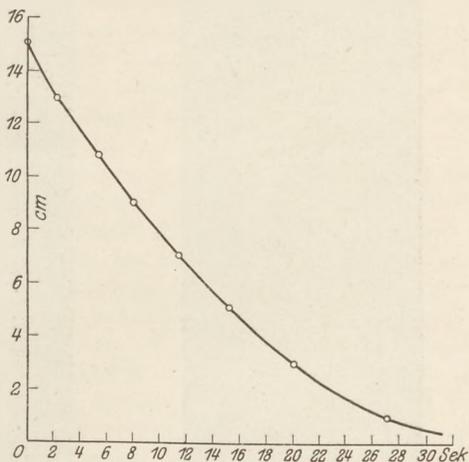


Fig. 4.

sind die Röhren in die Hartgummiplatte mit Siegelack eingekittet. Die Hartgummistücke sind auf der Unterseite ein wenig gewölbt, damit das Wasser immer in der Mitte abtropft. Um den unter II besprochenen Fall zu veranschaulichen, daß also zur Zeit Null nur eine bestimmte Menge von *RaA* vorhanden ist, und daß sich daraus dann die Zerfallsprodukte *RaB*, *RaC* und *RaD* bilden, dient die Anordnung, wie sie die Figuren 6—8 zeigen.

Aus einem aufrechtstehenden Holzbrett ragen 4 Holzgabeln heraus, in welche die 4 Glasröhren eingehängt werden. Die Glasröhre *RaA* besitzt im Boden ein relativ weites, *RaB* ein enges und *RaC* ein mittelgroßes Loch, während der Boden von *RaD*, der großen Halbwertszeit entsprechend, geschlossen ist.

Vergleicht man die Kurven der Figur mit den Flüssigkeitshöhen in den Figuren 6—8, so sieht man die gute qualitative Übereinstimmung. Fig. 6 ist aufgenommen kurz nach dem Beginn des Versuchs, Fig. 7 als *RaA* fast verschwunden ist, und Fig. 8 etwas nach dem Maximum

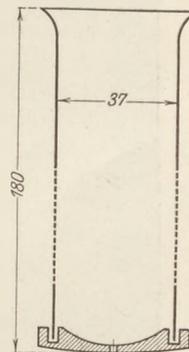


Fig. 5.

von *RaC*. Man sieht wie *RaA* sehr schnell ausfließt, *RaB* ein scharf ausgeprägtes, *RaC* ein flaches Maximum hat und wie allmählich *RaD*

die ganze Flüssigkeitsmenge in sich aufnimmt. Die ganze Dauer des Versuchs beträgt etwa 3 Minuten. Das Wasser ist mit Kaliumpermanganat gefärbt.

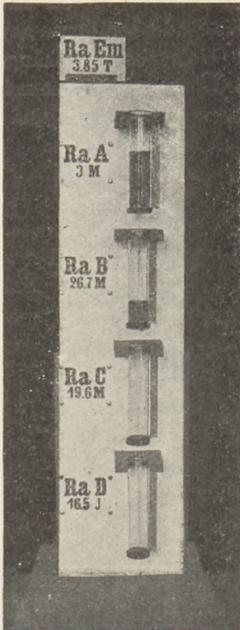


Fig. 6.

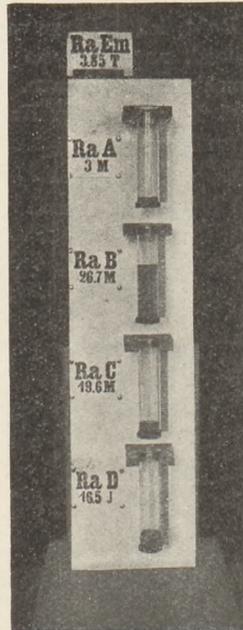


Fig. 7.

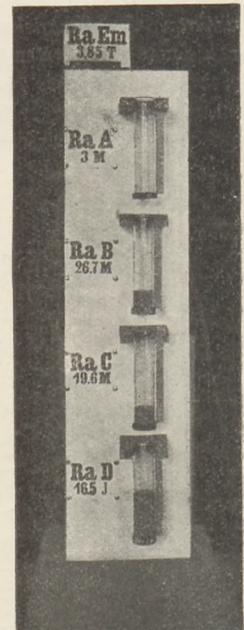


Fig. 8.

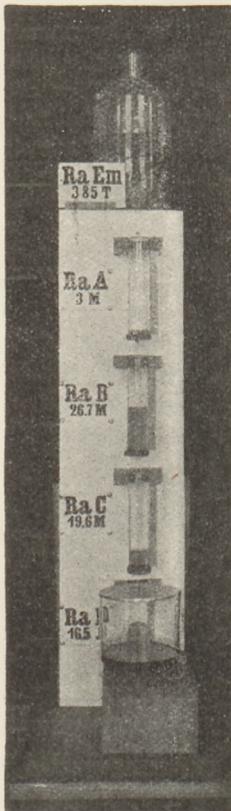


Fig. 9.

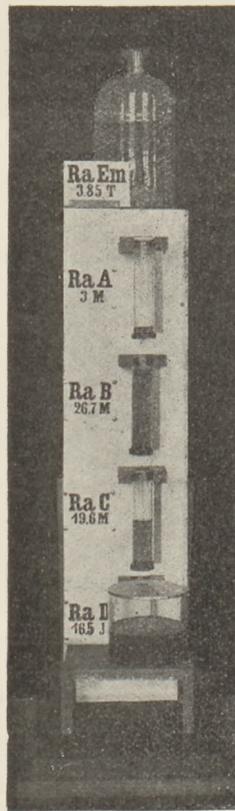


Fig. 10.

Die Anordnung nach Fig. 9 und 10 dient zur Demonstration des unter III besprochenen Begriffs des radioaktiven Gleichgewichts. Es ist unmöglich, im Apparat die lange Zerfallsreihe zwischen *Ra* und Blei nachzubilden, da in ihr Substanzen mit gar zu weit voneinander abweichenden Halbwertszeiten vorkommen. Aus ihr wurde vielmehr der Abschnitt zwischen der *RaEm* und *RaD* ausgewählt und damit eng an den vorigen Versuch angeknüpft.

Eine Flasche mit Ablaufhahn stellt eine große Menge *RaEm* dar. Da ihre Halbwertszeit sehr groß im Vergleich zu derjenigen von *RaA*, *RaB* und *RaC* ist, so kann man annehmen, daß die Menge von *RaEm* während der Dauer des Versuchs nicht merklich abnimmt. Man muß daher das Wasser in dieser Flasche durch Zugießen immer auf demselben Niveau halten. Durch einen Vorversuch stellt man fest, wie weit man den Hahn zu öffnen hat, um im Gleichgewichtszustand brauchbare Flüssigkeitshöhen zu erhalten. Vor dem Beginn des Versuchs hat man das Wasser aus *RaA*, *RaB* und *RaC* vollkommen ausfließen zu lassen. An Stelle der Glasröhre bei *RaD* ist ein

größeres Gefäß eingesetzt, welches nach hinten einen Ablauf hat.

Fig. 9 zeigt den Zustand nicht lange Zeit nach dem Öffnen des Hahnes. Das Gleichgewicht ist hier noch nicht erreicht. Es entspricht dieser Zustand dem eines unreifen Radiumpräparates.

Bei Fig. 10 ist das Gleichgewicht eingetreten. Man sieht, wie von *Ra A* mit seiner kurzen Halbwertszeit nur wenig, von *Ra B* mit seiner langen Halbwertszeit viel Substanz vorhanden ist, während *Ra C* seiner mittelgroßen Zerfallszeit entsprechend eine Substanzmenge von mittlerer Größe anzeigt.

Auch der dritte oben behandelte Fall läßt sich mit dem Apparat zeigen, der Fall, daß zunächst die primäre Quelle *Ra Em* die Materie *Ra A* in konstantem Betrage so lange liefert, bis Gleichgewicht eingetreten ist, und daß dann die primäre Quelle plötzlich entfernt wird. Die Rechnung ergibt, daß die Mengen von *Ra A*, *Ra B* und *Ra C* zeitlich den Kurven der Fig. 3 entsprechend abnehmen. Beim Versuch wartet man, bis (s. Fig. 10) das Gleichgewicht eingetreten ist und schließt dann den oberen Hahn. Der zeitliche Verlauf der Flüssigkeitshöhen entspricht den Kurven in Fig. 3.

Neuere Vorstellungen über die Konstitution der Atome. Originalbericht von Harry Schmidt.

I. Das Thomsonsche Atommodell.

Die Frage nach der Struktur der chemischen Atome hängt aufs innigste zusammen mit dem Problem des Wesens der Materie. In der Tat tritt uns ja die Materie, so mannigfaltig sie sich auf den ersten Blick auch in ihren Erscheinungsformen darzubieten pflegt, letzten Endes immer in Gestalt von chemischen Elementen entgegen, und diese werden in ihren Eigenschaften durch die der entsprechenden chemischen Atome charakterisiert. Die Vielzahl der Elemente steht im Widerspruch mit der altgewohnten Vorstellung von der Einheitlichkeit der Materie. Wir finden jene Vorstellung vertreten in den Weltanschauungen der bedeutendsten philosophierenden Geister aller Zeiten; die chemische Wissenschaft aber schien sie seit Beginn des 19. Jahrhunderts mit der ganzen erdrückenden Macht ihres gewaltigen Tatsachenmaterials untergraben zu wollen. Und doch machten sich auch aus ihren Reihen nicht gar zu selten gewichtige Stimmen geltend, die an der Vorstellung von der Einheitlichkeit der Materie festhielten und sich bemühten, sie mit den Ergebnissen der chemischen Forschung in Einklang zu bringen. Man suchte in den Atomgewichten der einzelnen Elemente ganze Vielfache des Atomgewichts irgend eines

Urelements zu erkennen, und glaubte zum Beispiel gelegentlich einmal, in dem Wasserstoff jenes Urelement vor sich zu haben. Zwar scheiterten jene Versuche sämtlich, aber der leitende Gedanke blieb und wuchs aufs neue mächtig empor, als man durch Aufstellung des periodischen Systems die Eigenschaften der chemischen Elemente als eine periodische Funktion ihres Atomgewichts aufzufassen lernte. Die Spekulationen über das Urelement, die Urmaterie, mußten hier Hand und Fuß gewinnen. Aber noch vieles fehlte, was ihnen den Charakter einer wohlbegründeten naturwissenschaftlichen Hypothese hätte verleihen können.

Ausschlaggebende Fortschritte in bezug auf jene Kernfrage der chemischen Wissenschaft wurden durch Entdeckungen physikalischer Natur angebahnt. Bis gegen Ende des vorigen Jahrhunderts blieb die Gravitation die einzige Eigenschaft, die sämtlichen Stoffen durchaus allgemein zuzuschreiben ist, deren Größe sich lediglich durch das Maß der Masse bestimmt und die durch die spezielle chemische Natur nicht beeinflusst zu werden vermag. Die Auffindung des Elektrons schuf darin eine große Wandlung. Dieses Elementaratom der negativen Elektrizität erwies sich ganz allgemein als Bestandteil der Materie. Mit einem Schlage war so die Möglichkeit gegeben, sich speziellere Vorstellungen über die Struktur der chemischen Elemente zu bilden, die Einheitlichkeit aller Materie zu erweisen, ja sogar der Natur der Materie selbst auf den Grund zu gehen. Und die Forschungen der wenigen letzten Jahre haben uns hier ein Bild entrollt, wie es erhebender und von gewaltiger Schönheit selbst die astronomische Wissenschaft mit ihrer kosmischen Unendlichkeit und ihrem ewigen Weltgeschehen nicht darzubieten vermag.

Es kann nicht Aufgabe dieses Referates sein, eine nach irgend einem Prinzip disponierte Darstellung jener Erfahrungstatsachen zu geben, welche zu der Erkenntnis von der elektrischen Struktur des chemischen Atoms und damit der Materie überhaupt geführt haben. Die meisten derselben werden unseren Lesern hinreichend bekannt sein. Auch haben wir durchaus nicht die Absicht, in der Beschreibung der heutzutage gebrauchten Atommodelle irgendwie Vollständigkeit anzustreben. Uns liegt vielmehr lediglich daran, einige der wichtigsten von ihnen zu besprechen und dabei zu zeigen, auf welchen Wegen man zu ihrer Vorstellung gelangt ist.

Einen wunden Punkt, der sämtlichen bisher aufgestellten Atommodellen gemeinsam ist, wollen wir gleich hier nachdrücklich hervorheben. Während nämlich zahlreiche experimentell durchaus erwiesene Tatsachen uns wertvolle Aufschlüsse

darüber geben, in welcher Form, ja zum Teil auch in welcher Anordnung sich die negative Elektrizität im Atom vorfindet, können wir von der positiven Elektrizität keineswegs das Gleiche behaupten. Von dieser wissen wir nur, daß sie im Atom vorkommen muß; es folgt das nicht nur aus der Existenz von Elektronen im Atom einerseits und der elektrischen Neutralität desselben andererseits, sondern auch aus zahlreichen Beobachtungen experimenteller Natur. Über ihre Form und ihren Sitz aber wissen wir so gut wie gar nichts anzugeben; hier müssen hypothetische Erwägungen versuchen, der Sache auf den Grund zu kommen. Und die Art der Lösung dieses Problems ist es zumeist, was den wesentlichen Unterschied zwischen den einzelnen Atomtheorien ausmacht. —

Einer der ersten Forscher, die sich ernstlich bemühten, auf Grund des modernen Tatsachenmaterials sich ein spezielleres Bild von der Struktur des chemischen Atoms zu bilden, war wohl der Engländer J. J. Thomson.¹⁾ Er geht aus von der Hypothese, daß jedes Atom ein Aggregat einer Anzahl einfacher Systeme darstellt, wobei das einzelne System als ein elektrisches Duplet gedacht wird, mit einer negativen Korpuskel an dem einen und einer gleich großen positiven Ladung an dem anderen Ende. Das Volumen der positiven Ladung wird wesentlich größer angenommen als das des negativen Elektrons. Die Verbindung zwischen beiden wird vermittelt durch Faradaysche Kraftlinien, denen eine materielle Existenz zugeschrieben wird. Wegen des kleinen Volumens des Elektrons erscheinen die Kraftlinien in seiner Nähe erheblich stärker zusammengedrängt als an anderen Stellen; die Masse des Systems entspringt daher fast ausschließlich der Masse des in der Nähe des Elektrons gebundenen Äthers. Diese Masse beträgt für jedes Elektron, wie aus gewissen mathematischen Überlegungen hervorgeht, $\frac{2e^2}{3a}$, wenn e die Ladung und a den Radius des Elektrons bedeuten.

Infolge der wechselseitigen Anziehungskräfte werden die einzelnen derartigen Elementarsysteme bestrebt sein, sich einander zu nähern. Wären sie in Ruhe befindlich, so würde diese Anziehung eine einfache Zusammenlagerung bewirken. Besitzen sie aber eine gewisse Eigengeschwindigkeit, so hängt es von der Größe der dadurch ihnen innewohnenden kinetischen Energie ab, ob bei einer gelegentlich erfolgenden Annäherung

ein dauerndes Aggregat gebildet wird. Ein Zusammenschluß je zweier Systeme wird nur dann erfolgen können, wenn ihre kinetische Energie auf einen bestimmten Mindestbetrag herabgesunken ist. Ist sie größer als dieser Betrag, so trennen sich die Systeme wieder. Ihre Annäherung war aber mit einer Geschwindigkeitsänderung verbunden; infolgedessen verloren dabei die beiden Systeme eine gewisse Energiemenge, da jede Geschwindigkeitsänderung eines elektrisch geladenen Körpers zur Ausstrahlung elektrischer Wellen führt. Wir müssen daher annehmen, daß infolge wiederholter gegenseitiger Annäherung zweier Systeme ihre kinetische Energie abnimmt und schließlich so klein wird, daß ein dauerndes Aggregat zwischen ihnen sich bilden kann. Später werden sich dann auch Aggregate bilden, die eine größere Anzahl von Einheitssystemen umfassen.

Die Gestalt eines solchen Aggregates wird kugelförmig angenommen. Das ganze Volumen der Kugel ist gleichmäßig positiv elektrisch; in ihrem Innern bewegen sich die negativen Elektronen, deren Anzahl gleich der der Elementarsysteme ist, welche das Aggregat gebildet haben. Infolge ihrer Geschwindigkeit besitzen also die Elektronen innerhalb der Kugel eine gewisse kinetische Energie, die als korpuskulare Temperatur des Atoms bezeichnet wird. Ein Atom wird demnach nur so lange stabil erscheinen, als seine korpuskulare Temperatur einen gewissen Wert nicht überschreitet.

Wir betrachten nun die Vereinigung zweier Aggregate A und B zu einem neuen Aggregat. Infolge ihrer Annäherung aneinander erfahren ihre Elektronen eine Zunahme an kinetischer Energie; diese Zunahme kann so groß werden, daß ein oder mehrere Elektronen ihre Aggregate verlassen. Dann werden aber A und B positiv elektrisch, stoßen sich also ab. Ihre Anziehung auf die freigewordenen Elektronen veranlaßt diese zur Rückkehr, so daß wir wieder die beiden neutralen Aggregate A und B voneinander getrennt erhalten. Soll dagegen eine permanente Vereinigung derselben erreicht werden, so darf die korpuskulare Temperatur dieser Verbindung einen gewissen Grenzwert nicht überschreiten. Das besagt aber, daß für die Bildung komplexer Aggregate eine hinreichend niedrige korpuskulare Temperatur ihrer Bestandteile vor der Vereinigung erforderlich ist.

Da nun die korpuskulare Temperatur der einfachsten Aggregate, die wir uns denken können, nämlich der binären, gleich nach ihrer Bildung aus den Elementarsystemen recht beträchtliche Werte besitzt, so müssen wir danach fragen, welche Vorgänge imstande sind, diese kinetische

¹⁾ J. J. Thomson, Elektrizität und Materie. Braunschweig 1909.

J. J. Thomson, Die Korpuskulartheorie der Materie. Braunschweig 1908.

Energie der Elektronen im Atom zu verringern. Dafür kommen wiederum Größen- oder Richtungsänderungen der Geschwindigkeit der Aggregate in Frage. Bedenken wir dann noch, daß die Elektronen eines jeden Atoms von den anderen Atomen in der angedeuteten Weise erzeugte Strahlung erhalten und so durch Absorption ihren Energieinhalt teilweise wieder erhöhen, so kommen wir zu dem Schluß, daß die Abfallgeschwindigkeit der korpuskularen Temperatur bei den einzelnen binären Systemen sehr verschieden sein wird. Daraus folgt, daß sich nicht alle binären Systeme gleichzeitig zu höheren Aggregaten werden zusammenschließen können, daß vielmehr zu jeder Zeit Aggregationen verschiedenster Größenordnung, d. h. verschiedene Atomarten, sich nebeneinander vorfinden werden. Im Laufe der Zeit werden aber die leichten Elemente mehr und mehr verschwinden (eben durch die geschilderte Polymerisation ihrer Atome), und je älter daher etwa unsere Erde wird, desto mehr werden sich Elemente mit höherem Atomgewicht bilden.

Interessant ist die folgende rechnerische Überlegung. Enthält ein Aggregat vom Radius a insgesamt n Elektronen mit der Ladung e , so ist die Arbeit, die erforderlich ist, um das Atom in seine Einheitssysteme zu zerlegen, vergleichbar mit $\frac{(ne)^2}{a}$. Enthält ein Gramm eines Elementes N Atome von der Masse M , so wird, da $NM = 1$ ist, diese Arbeit:

$$\frac{N(ne)^2}{a} = \frac{1}{M} \frac{(ne)^2}{a};$$

oder, wenn m die Masse eines Elektrons, mithin $nm = M$ ist,

$$N \frac{(ne)^2}{a} = \frac{e}{m} \frac{ne}{a}.$$

Nun ist, in elektrostatischen Einheiten gemessen,

$$\frac{e}{m} = 5,25 \cdot 10^{16}$$

und

$$e = 4,71 \cdot 10^{-10}.$$

Also wird (abgerundet):

$$N \frac{(ne)^2}{a} = 2,5 \cdot 10^7 \cdot \frac{n}{a}.$$

Nehmen wir als Beispiel den Wasserstoff, so haben wir bei diesem, entsprechend den obigen Darlegungen über den Ursprung der Masse eines Atoms, für n die Zahl 2000 einzusetzen, da die Masse eines Elektrons rund 2000 mal kleiner als die eines Atoms Wasserstoff ist. Und den Wert von a geben uns die folgenden Betrachtungen: Das Volumen eines Atoms

beträgt $\frac{4}{3} a^3 \pi$ ccm; 1 ccm Wasserstoff wiegt

0,00008952 g, ein Wasserstoffatom $1,63 \cdot 10^{-24}$ g.

Also gilt:

$$\frac{4}{3} a^3 \pi \cdot 89,52 \cdot 10^{-6} = 1,63 \cdot 10^{-24};$$

mithin:

$$a = \sqrt[3]{\frac{1,63 \cdot 10^{-18}}{4\pi \cdot 29,84}} = 1,6 \cdot 10^{-7}.$$

Also ist:

$$N \frac{(ne)^2}{a} = 2,5 \cdot 10^7 \cdot \frac{2000}{1,6 \cdot 10^{-7}} = 3 \cdot 10^{17} \text{ Erg.}$$

Oder mit anderen Worten: Würden sämtliche Atome eines Gramms Wasserstoff spontan in ihre Einheitssysteme zerfallen, so würden wir dabei eine Arbeit von rund $3 \cdot 10^9$ oder dreitausend Millionen Meterkilogramm gewinnen können.

Nun gibt es bekanntlich eine Anzahl chemischer Elemente, die beständig freiwillig unter Aussendung korpuskularer Strahlung zerfallen, nämlich die Radioelemente. Das weist darauf hin, daß im Innern der Atome dieser Elemente gewisse Vorgänge stattfinden müssen, welche einzelne Elementarsysteme zerstören und deren Bestandteile als Strahlung ausstoßen. Infolgedessen wird aus einem Atom mit höherem Gewicht ein solches mit niedrigerem hervorgehen.

Haben wir uns somit im Vorhergehenden eine Vorstellung davon gebildet, wie die Atome sich aus ihren Elementarsystemen haben aufbauen können und wie es andererseits möglich ist, daß ein Atom, wie dasjenige eines Radioelements, unter Abgabe von korpuskularer Strahlung sich in ein anderes, leichteres, verwandeln, mithin wie der Abbau der Atome vor sich gehen kann, so müssen wir uns nunmehr der Frage zuwenden, in welcher Anordnung sich die negativen Elektronen innerhalb der gleichmäßig positiv elektrisierten Sphäre bewegen, wenn das Atom als ganzes sich in einem stabilen Zustand befindet. Dieses Problem ist selbstverständlich ein durchaus mathematisches, und es fällt auch keineswegs schwer, die von Thomson gegebenen Lösungsansätze zu verfolgen²⁾. Aus Raumangel müssen wir das hier aber unterlassen. Wir wollen uns damit begnügen, ganz allgemein den beschrittenen Weg zu charakterisieren, zumal eine vollständige analytische Lösung des Problems bisher noch nicht gelungen ist und außerdem eine praktische Lösung, wenigstens bis zu einem gewissen Grad, durch ein leicht anzustellendes und daher hier näher auseinanderzusetzendes Experiment gewonnen werden kann.

Angenommen wird, daß die Elektronen im Innern der positiven Sphäre in kreisförmigen

²⁾ J. J. Thomson, Phil. Mag. (6) 7, S. 237, 1904.

Tabelle 3.

Elektronenzahl im Atom:	59	60	61	62	63	64	65	66	67
Elektronenzahl in den einzelnen Ringen:	20 16 13 8 2	20 16 13 8 3	20 16 13 9 3	20 17 13 9 3	20 17 13 10 3	20 17 13 10 4	20 17 14 10 4	20 17 14 10 5	20 17 15 10 5

Zur Veranschaulichung der im Vorhergehenden dargelegten Atomkonstitutionstheorie von Thomson kann ein hübscher Versuch von Mayer benutzt werden. Man fertigt aus gleich großen Stahlnadeln von ca. 5 cm Länge eine Anzahl gleich starker Magnete an und steckt sie durch je ein kleines Korkscheibchen hindurch. Über der Mitte einer genügend großen Wasserfläche wird ein starker Magnet angebracht, dessen Nordpol etwa der Wasserfläche zugerichtet ist. Auf dem Wasser läßt man die kleinen Magnete schwimmen, alle den Nordpol unter Wasser führend. Die aus dem Wasser herausragenden Südpole stoßen sich mit einer Kraft ab, die dem Quadrat ihres gegenseitigen Abstandes umgekehrt proportional ist. Die von dem über ihnen schwebenden Nordpol auf sie ausgeübte Anziehungskraft ist in der Richtung parallel zu der Oberfläche des Wassers, also radial nach der Projektion *O* dieses Pols auf die Wasserfläche hin, ungefähr proportional ihrer Entfernung von *O*. In der Tat realisiert also diese Anordnung bis zu einem gewissen Grad die Verhältnisse, wie wir sie uns nach Thomson im Atom zu denken haben; der Hauptunterschied besteht darin, daß sich die Elektronen im Atom nach allen Richtungen im Raum frei bewegen können, während die Pole der kleinen Magnete gezwungen sind, sich in einer zur Oberfläche des Wassers parallelen Ebene zu bewegen.

Die Konfigurationen, welche die schwimmenden Magnete unter den geschilderten Umständen bilden, wenn man 2, 3, . . . 18 Magnete benutzt, sind in der Figur 2 wiedergegeben. Weitere Daten liefert die Tabelle 4, die, ebenso wie die Figur 2, von Mayer stammt. In dieser Tabelle bedeutet z. B. die Formel 3·7·12·13, daß sich 35 Magnete zu vier Ringen anordnen, von denen der innerste 3, der folgende 7, der nächstfolgende 12 und der äußerste 13 Magnete enthält.

Wir gehen nun dazu über, die Brauchbarkeit des Thomsonschen Atommodells an einigen wenigen Beispielen darzutun. Zunächst können wir uns vorstellen, wie die Periodizität

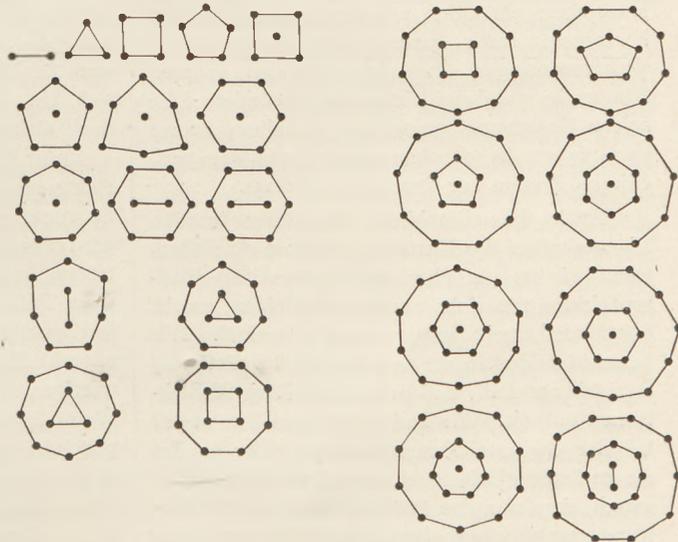


Fig. 2.

zahlreicher Eigenschaften gewisser Elemente, die ihren prägnantesten Ausdruck im periodischen

Tabelle 4.

1.	2.	3.	4.	5.
1·5	2·6	3·7	4·8	5·9
1·6	2·7	3·8	4·9	—
1·7	—	—	—	—
1·5·9	2·7·10	3·7·10	4·8·12	5·9·12
1·6·9	2·8·10	3·7·11	4·8·13	5·9·13
1·6·10	2·7·11	3·8·10	4·9·12	—
1·6·11	—	3·8·11	4·9·13	—
—	—	3·8·12	—	—
—	—	3·8·13	—	—
1·5·9·12	2·7·10·15	3·7·12·13	4·9·13·14	—
1·5·9·13	2·7·12·14	3·7·12·14	4·9·13·15	—
1·6·9·12	—	3·7·13·14	4·9·14·15	—
1·6·10·12	—	3·7·13·15	—	—
1·6·10·13	—	—	—	—
1·6·11·12	—	—	—	—
1·6·11·13	—	—	—	—
1·6·11·14	—	—	—	—
1·6·11·15	—	—	—	—

System gefunden hat, sich mit ihrer Hilfe erklären läßt. Sie kann als zusammenhängend betrachtet werden mit dem periodischen Auftreten analoger Elektronenconfigurationen. So besteht z. B. eine Gruppe von 60 Elektronen aus denselben Ringen wie eine solche von 40 Elektronen (vgl. Tabelle 2), nur daß erstere außerdem noch einen äußeren Ring mit 20 Elektronen aufweist. In ähnlicher Weise gehören in dieselbe Folge Anordnungen von 24 und 11 Elektronen. Eine Erweiterung unserer graphischen Darstellung (Figur 1) würde sie nach oben hin beliebig fortsetzen lassen. Wir können demnach ganz allgemein die verschiedenen Atomarten in der Weise in Serien einteilen, daß innerhalb jeder Serie ein Glied aus dem vorhergehenden hervorgeht durch Hinzufügung eines weiteren Elektronenringes, der sich mit den inneren Ringen im stabilen Gleichgewicht befindet. Eine solche Zusammenfassung der einzelnen Atome zu Gruppen ist es aber gerade, was das periodische System zur Darstellung bringt.

Auch die allmähliche Änderung in den Eigenschaften der Elemente, wie wir sie finden, wenn wir im periodischen System einer Horizontalreihe von links nach rechts folgen, macht das Modell recht ungezwungen plausibel. Wir betrachten den in unserer Tabelle 3 vollständig angegebenen Fall, daß der äußere Ring 20 Elektronen enthält. Wir finden einen solchen zuerst bei der Gesamtelektronenzahl 59; hier genügt die im Innern befindliche Anzahl von Elektronen gerade eben, um den äußeren Ring von 20 Elektronen stabil zu erhalten. Dieser Ring wird daher leicht geneigt sein, infolge irgend welcher äußeren Einflüsse ein oder mehrere Elektronen abzuspalten. Oder mit anderen Worten: das betreffende Element wird stark elektropositiven Charakter zeigen. Gehen wir zu $N=60$ über, so wird der äußere Ring etwas stabiler sein, da sich jetzt im Innern ein Elektron mehr befindet; der elektropositive Charakter des betreffenden Elementes ist also geringer als der des vorigen. Je mehr Elektronen das Innere enthält, um so weniger wird das Element geneigt sein, sich elektropositiv zu betätigen; schließlich kann die Stabilität des äußeren Ringes einen solchen Grad erreichen, daß ein oder mehrere Elektronen an der Oberfläche des Atoms verweilen können, ohne den äußeren Elektronenring aufzubrechen. Wir haben es dann mit einem elektronegativen Element zu tun. Mit 67 Elektronen erreicht die Stabilität des äußeren Ringes von 20 Elektronen ihren Maximalwert; gehen wir zu 68 Elektronen über, so bilden den äußeren Ring jetzt 21 Elektronen, und zwar ist diese Anordnung wiederum relativ instabil, neigt zur Abgabe von Elektronen

und stellt somit wiederum ein stark elektropositives Atom dar.

Aber die Analogie mit dem periodischen System geht noch wesentlich weiter. Nehmen wir wieder $N=59$, also das kleinste Atom, das im äußeren Ring 20 Elektronen enthält. Wir sahen, daß es leicht geneigt ist, ein Elektron zu verlieren und sich somit positiv aufzuladen. Aber es kann diese Ladung unmöglich längere Zeit zu behalten imstande sein. Denn nach Verlust eines Elektrons hätte das Atom nur noch 58 Elektronen, mit 19 Elektronen im äußeren Ring. Eine solche Anordnung ist natürlich außerordentlich stabil, und ein weiterer Verlust an Elektronen kann nicht eintreten. Die positive Ladung zieht aber sofort ein Elektron aus der Umgebung an, vervollständigt also den äußeren Ring wieder. Man erkennt, daß ein derartiges Atom weder elektropositiv noch elektronegativ sein wird.

Mit $N=60$ erhalten wir das am stärksten elektropositive Element der betreffenden Serie. Es vermag aber nur ein einziges Elektron dauernd abzuspalten. Verlore es nämlich zwei Elektronen, so hätten wir wieder den eben betrachteten Fall vor uns; ein Elektron würde zur sofortigen Rückkehr gezwungen werden. Ein Atom mit 60 Elektronen entspricht also einem einwertigen elektropositiven Element. In ähnlicher Weise liefert $N=61$ ein zweiwertiges elektropositives Element, $N=62$ ein dreiwertiges elektropositives Element. Das letzte Atom unserer Serie enthält insgesamt 67 Elektronen; sein äußerer Ring mit 20 Elektronen ist im höchsten Maße stabil. Nimmt nun das Atom noch ein Elektron auf, so erhalten wir eine recht instabile Anordnung von 68 Elektronen mit einem äußeren Ring von 21 Elektronen. Diese Anordnung wird sehr leicht das aufgenommene Elektron wieder abgeben. Mithin ist ein Atom mit $N=67$, genau so wie ein solches mit $N=59$, unfähig, sich dauernd elektrisch zu laden. Das bedeutet aber, daß diese Elemente keine Valenzen zu betätigen vermögen.

Eine Anordnung von 66 Elektronen würde das am stärksten elektronegative Element in unserer Gruppe vorstellen, jedoch vermag sie lediglich ein Elektron dauernd im Überschuß zu halten. Erhält sie nämlich zwei Elektronen, so bekämen wir eine Anordnung von 68 Elektronen, die, wie wir eben sahen, sehr unbeständig ist. Ein Atom mit $N=66$ zeigt daher die Eigenschaften eines einwertigen elektronegativen Elements.

In ähnlicher Weise können wir fortfahren und dartun, daß $N=65$ ein zweiwertiges, $N=64$ ein dreiwertiges elektronegatives Ele-

ment liefern würden, wobei die Fähigkeit, den elektronegativen Charakter zu betätigen, ständig geringer wird.

Eine Erinnerung an das periodische System der chemischen Elemente durch das bloße Hersetzen zweier Horizontalreihen aus demselben (Tabelle 5) wird genügen, um am Schluß die Zusammenfassung unserer Darlegungen dahin geben

zu können, daß das Thomsonsche Atommodell imstande ist, die durch das periodische System den chemischen Elementen zugewiesenen Eigenschaften einwandfrei zum Ausdruck zu bringen.

Tabelle 5.

He	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Arg

(Schluß folgt.)

4. Unterricht und Methode.

Die praktische Ausbildung der Lehramtskandidaten für Physik. Gedanken und Erfahrungen hierüber hat Dr. K. ROSENBERG, k. k. Landesschulinspektor in Graz, in der Zeitschrift f. math. und naturw. Unterr. XLVII, Heft 4 (1916) veröffentlicht. Der Gegenstand ist in der letzten Zeit vielfach erörtert worden, erinnert sei namentlich, abgesehen von Zeitschriftaufsätzen, an Grimsehl's Didaktik und an die Vorschläge der Unterrichtskommission der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte. Auch der Verfasser sieht sich genötigt, festzustellen, daß die Vorbildung der künftigen Physiklehrer für die technische Seite ihres Berufs auf der Hochschule in der Regel unzureichend ist. Während die Mehrzahl der Physiklehrer heute dahin neigt, diese praktische Ausbildung der Kandidaten an die höhere Schule oder die an diese angegliederten Seminare zu verlegen, macht der Verfasser auf die hiermit verbundenen mannichfachen Schwierigkeiten aufmerksam und befürwortet, daß mindestens ein Teil dieser Ausbildung auf die Zeit des Hochschulstudiums zurückverschoben wird, zumal in den neuen Prüfungsvorschriften für Österreich für die Zulassung zur Prüfung in Physik als Hauptfach der Nachweis einer praktischen Beschäftigung im physikalischen Laboratorium durch mindestens drei Semester (für die Physik als Nebenfach mindestens zwei Semester) vorgeschrieben ist, „wobei das Schulexperiment besonders zu berücksichtigen ist“. Auch wird für die Prüfung im Hauptfach „eingehende Kenntnis des Gebrauchs und der Konservierung der Apparate und der besten Methoden der Demonstration“, für die Prüfung im Nebenfach „praktische Kenntnis der chemischen und physikalischen Schulexperimente“ gefordert. Damit ist den österreichischen Universitäten geradezu die Verpflichtung, den Hörern Gelegenheit zu der entsprechenden Ausbildung zu geben, auferlegt.

Der Verfasser legt nun des näheren die Einrichtung dar, die an der Grazer Universität auf Anregung des Ordinarius für Experimentalphysik Prof. Dr. H. Benndorf für diesen Zweck getroffen ist. Es wird das erste der drei bzw. zwei für die praktischen Übungen bestimmte Semester (in der Regel also das dritte Studien-

semester) auf das Praktikum für Schulphysik verwendet. Die dafür verfügbare Zeit beträgt wöchentlich drei Nachmittagsstunden, so daß im Wintersemester bestenfalls 16 bis 18, im Sommersemester 10 bis 12 Übungstage herauskommen. Die Teilnehmerzahl betrug durchschnittlich 6; in einem Semester mußten, weil die Zahl auf 17 gestiegen war, Parallelkurse eingerichtet werden. Der Hörerbeitrag belief sich auf 10 Kr. für das Semester und wurde zu kleinen Nachschaffungen und Ankäufen verwendet. Hinsichtlich der zu verwendenden Apparate waren die Kurse hauptsächlich auf die sehr reichhaltige Institutssammlung angewiesen; bei der Benutzung wurde darauf gesehen, daß nichts verwendet wurde, was nicht auch an den Mittelschulen vorgefunden zu werden pflegt. Es fehlte jedoch gerade an neueren mustergültigen Schulapparaten, unseres Erachtens ein empfindlicher Mangel, der durch eine reichliche außerordentliche oder besser laufende Dotation ausgeglichen werden mußte. Andererseits ist auch wichtig, daß die Kandidaten lernen, wie viel sich mit einfachen, selbsthergestellten Vorrichtungen machen läßt; der künftige Lehrer muß den Aufbau einfacher Versuchsanordnungen aus oft verwendbaren Dingen verstehen. Auch hierfür wurde in den Kursen reichlich Gelegenheit geboten.

Als Arbeitsraum diente ein Laboratoriumssaal von 60 m² Bodenfläche, in dem sich außer einem Experimentiertisch von 2,4 × 1,1 m Fläche drei gewöhnliche Tische von 2 × 0,9 m Fläche befanden; Gas und Wasserleitung, Wasserluftpumpe und Wasserstrahlgebläse waren vorhanden, ferner ein Gebläsetisch, ein Arbeitstisch mit chemischen Gerätschaften, ein Abzugsschrank, ein Werkzeughrett, eine Schultafel, einige Schränke mit Apparaten und Geräten. Auch Anschluß an eine Gleichstromleitung fehlte nicht, dagegen war kein Schaltbrett angebracht, dessen Mangel auch nicht störend, ja sogar als ein Vorteil empfunden wurde. Für Projektionszwecke diente ein kleiner leichtbeweglicher Apparat mit leicht auseinandernehmbaren und beliebig zu wertenden Teilen (Apparat Lustro der Bergmann-Industriewerke in Gaggenau-Baden, größere Ausführung, vom Verfasser sehr empfohlen).

Die Übungen selbst erstrecken sich auf den gesamten Inhalt der bekannten Lehrbücher (Ober- und Unterstufe) des Verfassers. Sie beginnen mit den einfachsten Belehrungen über Behandlung von Glasröhren, Brennern, Korken, über Reinigung von Gefäßen und Löten, sowie Herstellung einfacher Apparate aus Glas und Kork. Nachdem jeder Teilnehmer einen solchen Apparat angefertigt und den Versuch ausgeführt hat, werden die nächsten Übungsstunden für den übrigen Stoff aus Mechanik und Wärmelehre, sowie für die Erklärung des Projektionsapparates verwendet und an letzterem eine Reihe von Versuchen (Oberflächenspannung, Kapillarität u. ä.) demonstriert. An den folgenden Übungstagen werden die Versuche fortgesetzt. Besonders erwähnt werden: Versuche mit Rebenstorffschen Tauchern, Nachweis des archimedischen Gesetzes mit Federwage, Nachweis des Torricellischen Ausflußgesetzes nach Schäffer, rotierender Heber, Nachweis des Boyleschen Gesetzes mit der Meldeschen Röhre, einige besondere Heberformen. Aus der Wärmelehre: einige einfache Ersatzformen für das Hebelpyrometer, Erstarrungsverzug, Abkühlung sich expandierender Luft usw. Aus der Mechanik noch: Versuche über das physische Pendel, Anwendungen von Federwagen als Kraftmesser, elastische Schwingungen. Aus Wellenlehre und Akustik: Wellenmaschinen, Meldesche Fadenversuche, Demonstration longitudinaler Wellen an einer Spirale nach Randell, stroboskopische Projektion, Sirenen, empfindliche und mittönende Flammen, Resonanzversuche. Aus der Optik kommen außer den einfachsten Schulversuchen auch schwierigere, z. B. Versuche nach der Schlierenmethode, Umkehrung der Natriumlinie u. a. m. zur Ausführung. Aus dem Magnetismus: Kraftlinienverlauf (mit Projektion), Horizontalkomponente des Erdmagnetismus, Coulombs Gesetz für magnetische und elektrische Ströme. Im Galvanismus wird namentlich auch der Aufbau von Versuchsanordnungen geübt; es wird nach Möglichkeit mit einfachen Vertikalgalvanometern und Drehspulgalvanometern gearbeitet, aber auch verschiedene Formen des Spiegelgalvanometers werden benutzt; auch das Quadrantenelektrometer kommt zur Verwendung.

Der Verfasser verfährt bei schwierigeren Versuchen derart, daß sie erst von ihm vorgeführt und dann von den Übenden nachgemacht werden; vielfach aber ist diesen die Vorbereitung und Ausführung an der Hand des Experimentierbuches auch vollständig überlassen. Dabei werden dann Fehlerquellen, didaktische Vorzüge, kritische Vergleiche erörtert, auch vom Leiter Mitteilungen aus der eigenen Lehrpraxis gemacht.

In der Frage, ob man auch eigene Lehrversuche der Teilnehmer veranstalten soll, hat der Verfasser sich noch kein endgültiges Urteil gebildet. Er gibt den Nutzen solcher „Demonstrationsübungen“ zu, verkennt aber nicht das Gewicht der Bedenken, die von seiten berufener Schulmänner (besonders K. Noack) gegen die Verlegung solcher Lehrversuche an die Hochschule geltend gemacht worden sind. Er unterläßt auch nicht zum Schluß hervorzuheben, daß er sein Demonstrationspraktikum selbst als einen vorläufigen und vielfach verbesserungsfähigen Anfang betrachte. P.

Physikalische Schülerübungen und deren Verwertung im Unterricht. Von F. BREMER. (*Zeitschr. f. d. math. u. naturw. Unterricht* 47, Heft 3, 1916.) Der Verfasser, der in seinem trefflichen Leitfaden der Physik den Schülerübungen einen beträchtlichen Raum zugewiesen hat, macht hier auf Grund langjähriger Erfahrungen eine Reihe beachtenswerter Bemerkungen. Er wendet sich zunächst gegen die Forderung allzugroßer Gründlichkeit; es sei nicht angebracht, die Schüler wochen-, ja monatelang mit dem Messen von Längen, Massen, spezifischen Gewichten und Kräften zu beschäftigen; es sei kein Wunder, wenn dies die Schüler langweile; stets das Interesse rege zu halten und die Schüler zu selbständiger Mitarbeit anzuregen, sei ein besseres Prinzip als Gründlichkeit. Auch die Beschränkung auf quantitative Übungen sei zu verwerfen, dadurch würden weite Gebiete qualitativer Art ausgeschlossen, so einfache Versuche über Luftdruck, Magnetismus und Reibungselektrizität, die auf der Unterstufe eine reiche Quelle der Belehrung bilden. Selbst für die Oberstufe gebe es noch viele sehr lehrreiche Übungen qualitativer Art auf den Gebieten des Elektromagnetismus, der Selbstinduktion, der elektrischen Wellen, der Elektrizitätsleitung in Gasen, der Spektralanalyse, der Physiologie des Auges, der Polarisation des Lichtes usw. Er selbst empfinde beim Anstellen schöner und merkwürdiger qualitativer Versuche immer wieder große Freude, warum solle er diese Freude nicht auch seinen Schülern gönnen!

Im besonderen bestehe im Anfangsunterricht bei fast allen Schülern große Neigung zu manueller Betätigung, alle sind von glühendem Interesse erfüllt, Versuche anzustellen und aus ihnen die Naturgesetze zu erkennen. Auf die Genauigkeit der Resultate komme es nicht so sehr an, es sei sogar lehrreich für die Schüler, den Gründen nachzuforschen, weshalb das eine Resultat mit größerer Annäherung zu erhalten sei als das andere. Für den Unterricht in O III

und U II sei die Frage zu beantworten: Läßt sich der ganze Unterricht auf der Grundlage der Schülerübungen aufbauen? Der Verfasser hat die Überzeugung, daß dies sehr gut möglich sei. Die dadurch bedingte Verminderung des Umfangs des Wissens werde durch intensivere Erfassung der wichtigsten Tatsachen und Gesetze reichlich aufgewogen. Auch der übrige Lehrstoff lasse sich zwanglos dem Fachwerk dieser Übungen, denen die Zukunft gehöre, einfügen.

Ohne die richtige Verarbeitung im Unterricht seien allerdings die besten Übungen ein Schlag ins Wasser. Der Verfasser verfährt folgendermaßen: In einer der Übungsstunde folgenden Unterrichtsstunde haben die Schüler nach häuslicher Vorbereitung aus dem Leitfaden in zusammenhängendem Vortrag zu berichten, was sie gemacht und was sie beobachtet haben. Daraus werden gemeinsam die theoretischen Folgerungen gezogen und diese bei den folgenden Wiederholungen allmählich immer schärfer herausgearbeitet. Der Hauptteil dieser Übungen bestehe gar nicht in der Förderung des physikalischen Wissens, sondern darin, daß es innerhalb des gesamten Schulunterrichts nichts gibt, was die Schüler in bezug auf klare und präzise Ausdrucksweise so fördert wie die erwähnten Vorträge. Die Schüler werden dabei dazu erzogen, das Wesentliche vom Unwesentlichen zu unterscheiden und je nach Wunsch ausführlich oder kurz und präzise zu berichten. Die Grenze zwischen den Übungen und den Demonstrationsversuchen zu ziehen, müsse jedem Lehrer überlassen bleiben. Der Verfasser läßt sogar den Torricellischen Versuch von den Schülern in sechs Gruppen anstellen und erwähnt, daß dies seit Einführung des Leitfadens bereits 84 mal geschehen sei, ohne daß sich der geringste Übelstand herausgestellt habe. Dies ist ein glänzendes Zeugnis nicht nur für die Schüler, sondern auch für die Persönlichkeit des Verfassers, ohne daß man daraus eine Regel wird machen dürfen.

Von dem Demonstrationsunterricht, wie er ihn selbst 20 Jahre lang erteilt hat, ist der Verfasser unbefriedigt und findet, daß dabei den Schülern das Schönste und Lehrreichste an der Physik, die eigene Arbeit, vorenthalten bleibe. Der Lehrer spreche dabei zu viel, treibe leicht die theoretischen Erörterungen zu weit und müsse dabei die Erfahrung machen, daß den Schülern das wahre Verständnis fehle. Der Demonstrationsunterricht biete eben nicht genügend Gelegenheit, schwierige, aber notwendige Begriffe durch häufige Wiederholungen einzuüben, so die Begriffe Stromstärke und elektromotorische Kraft, die erst durch häufige Benutzung eines kombinierten Ampere-Voltmeters sämtlichen Schülern

der Klasse ganz und gar vertraut werden. Das Lehrziel der Unterstufe wird in folgende Forderungen zusammengefaßt: Kenntnis der einfachsten und wichtigsten physikalischen Erscheinungen, Fähigkeit, darüber in zusammenhängender Rede Auskunft zu geben, Verständnis der einfacheren physikalischen Gesetze, Übung des Auges und der Hand in physikalischen Arbeiten, Anregung zu selbständigem physikalischen Denken und zu häuslichen Versuchen.

Auf der Oberstufe hält es der Verfasser nicht für notwendig, alle Schüler mit praktischen physikalischen Arbeiten zu beschäftigen. Er erkennt die Bemühungen einiger Physiklehrer an, Schülerübungen aus so schwierigen Gebieten, wie die theoretische Optik und die elektrischen Maßsysteme, zusammenzustellen, an denen alle Schüler mit großem Interesse teilgenommen hätten, doch könnten dies immer nur Ausnahmefälle sein. Andererseits erklärt er sich als entschiedener Gegner des Systems, die einfachen physikalischen Gesetze mit großer Gründlichkeit auf der Oberstufe in allgemein verbindlichen Übungen zu behandeln; diese Übungen seien mit großem Geschick zusammengestellt, aber es fehle ihnen das pädagogische Gefühl für die Wünsche und Neigungen unserer Primaner. Die Ausführung der Versuche nach genauer Anleitung, die Eintragung der erhaltenen Zahlenwerte in ein vorgeschriebenes Schema schlossen einen Zwang in sich, der dem physikalischen Denken so gut wie keinen Spielraum lasse. Daß durch die genauen Vorschriften der Erfolg zahlenmäßig verbürgt sei, gebe keinen Ersatz dafür, daß das selbständige Denken hierbei zu kurz kommt. Ein zweiter Mangel des in Rede stehenden Systems liege darin, daß die Übungen in gleicher Front ausgeführt werden sollen. Dies passe wohl für die Unterstufe, nicht aber für Primaner, deren Interessen bereits stark differenziert seien. Wenn trotz so verschieden gerichteten Interesses alle Schüler der Klasse mit der Übung gleichzeitig fertig werden, so sei dies der preußischen Disziplin zu danken, es sei aber in Abrede zu stellen, daß solche Übungen nützlich sind. Wo bleibe bei dieser Methode die wichtige Forderung individueller Erziehung? Ja, der Verfasser fürchtet von der obligatorischen Einführung dieses Verfahrens ein Sinken des gesamten Niveaus des Physikunterrichts an den Realanstalten. Hauptaufgabe der Oberstufe sei es, den Schülern einen Einblick in die tieferliegenden großen Probleme zu verschaffen, so das Gesetz von der Energieerhaltung, das absolute Maßsystem auf den verschiedenen Gebieten, die Lehre vom Trägheitsmoment und dem physischen Pendel, die mechanische Wärmetheorie, die Lehre von den elek-

trischen Wellen, der Interferenz, Beugung und Polarisation des Lichtes u. a. m. Diese schwierigen Gebiete würden dem Schüler am besten zum Verständnis gebracht durch Lösung von Aufgaben, Vorträge der Schüler und freie offene Diskussion. Das Experiment spiele hierbei nur die Rolle, eine anschauliche Unterlage für die Erörterung der schwierigen Begriffe abzugeben. Die erwähnten Schülerübungen schüfen hierfür nicht die nötige Grundlage. Wollte man diese Übungen damit stützen, daß durch sie ein Einblick in die Tätigkeit des Forschers gewonnen werden sollte, so werde dadurch doch höchstens das Handwerkzeug des Forschers, nicht aber sein Gedankengang dem Schüler nahegebracht.

Der Verfasser will daher auf der Oberstufe die „bewährte Demonstrations- und Diskussionsmethode“ beibehalten wissen. Es sei gewiß nützlich, zuweilen eine gemeinsame Übungsstunde einzuschalten. Im übrigen aber seien die Schülerübungen als fakultative in den Lehrplan aufzunehmen, die gruppenweise an verschiedenen Aufgaben ausgeführt werden können. Wenn die Schüler schriftliche Anleitungen zur Hand haben und der physikalische Inhalt ihnen nicht zu fern

liegt, könne der Lehrer bequem vier Gruppen beschäftigen. Es sei Geschmackssache, ob man für die Übungen eine bestimmte Reihenfolge vorschreibt oder die Auswahl den Schülern selbst überläßt, wie dies an der Anstalt des Verfassers, der Friedr. Werderschen Oberrealschule in Berlin, geschieht. Ebenso sei die Frage, ob besondere Apparate anzuschaffen seien oder die vorhandene Sammlung zu benutzen sei, nicht allgemein zu entscheiden. Jedenfalls böten diese fakultativen Übungen die Gewähr, daß die Schüler, die sich freiwillig dazu melden, auch einen der aufgewendeten Zeit entsprechenden Nutzen haben; andererseits wirkten die Anregungen, welche die übenden Schüler empfangen, befruchtend auf die ganze Klasse ein und höben das allgemeine Niveau.

Diese Anregungen von seiten eines erfahrenen Schulmannes sind gewiß in hohem Grade erwägenswert. Denn auch hier wird das alte Wort gelten müssen: Nicht, daß ich's schon hätte, aber ich jage ihm nach. Auf diesem noch in der Entwicklung begriffenen Gebiete wird nur aus dem Widerstreit der Meinungen und der Erfahrungen das Bessere geboren werden. P.

5. Technik und mechanische Praxis.

Cellon und Cellonlack. Von H. REBSTORFF. Bei unseren westlichen Feinden sollen Flugzeuge mit ziemlich durchsichtigen Tragflächen im Gebrauch sein, so daß sie von der Erde aus viel schwerer zu entdecken sind. Auch bei uns wird, nicht gerade zu den Tragflächen von Flugzeugen, aber noch zu vielen anderen Zwecken, auch militärischen, seit einigen Jahren ein Erzeugnis der chemischen Technik benutzt, das einen Ersatz des feuergefährlichen Celluloids und anderer Abarten der Nitrocellulose bildet. Es gelang, kinematographische Films herzustellen, die nicht mehr explosionsartig verbrennen konnten, und weiter die Zeppelinfahrzeuge mit Fensterscheiben zu versehen, die nicht wie Glasscheiben gefährliche Scherben beim Zerbrechen entstehen ließen.

Das Material dazu liefert u. a. die Fabrik Bayer & Co. in Elberfeld und in derberen Platten besonders die Rheinisch-Westfälische Sprengstoffabrik in Köln. Es bildet beinahe völlig klar durchsichtige Platten von allen Stärken und hat sich unter dem Namen Cellon bekannt gemacht. Weiter finden Anwendung zu undurchlässigen Überzügen, und so vor allem zum Dichten von Flugzeug-Tragflächen Cellonlacke, die das Cellonlaboratorium von Dr. Eichengrün in Charlottenburg liefert.

Wenn auch manche Einzelheiten von Cellon, besonders die Zubereitung der Platten, wohl

Fabrikgeheimnis sind, so wurde doch in einigen Aufsätzen der Zeitschrift *Kunststoffe*, herausgegeben von Dr. Escales in München, manches Bemerkenswerte über das neue wertvolle Material bekannt. Auch der experimentelle Unterricht wird mancherlei Nutzen daraus gewinnen können. Cellon ist Acetylcellulose, also ein Gegenstück der bekannten Nitrocellulose oder Schießbaumwolle. Im Molekül der Cellulose, die den Charakter eines Alkohols besitzt, befinden sich mindestens vier Gruppen CHOH, deren Hydroxyl bei Einwirkung einer Säure je ein Molekül Wasser bildet, während der Säurerest an dessen Stelle in das Cellulosemolekül eintritt. Von solchen als Ester bezeichneten Verbindungen ist seit Pelouze (1838), besonders aber seit Schönbein (1846) die Nitrocellulose am längsten bekannt und zu ungeheurer Anwendung gelangt. Als Ester der Essigsäure wurde zuerst 1869 durch Schützenberger und Naudin ein Triacetat hergestellt durch Erhitzen von Cellulose mit der 6—8fachen Menge Essigsäureanhydrid auf 180° (*Kunststoffe 1912, S. 21, E. Fischer*). Eichengrün stellte fest, daß man eine ganze Anzahl dieser Ester herstellen könne, je nach der Zahl und Stellung der Acetylgruppen im Molekül. Die Zubereitung des Cellonstoffes erfolgt gegenwärtig bei niederen Temperaturen. Zu große Erwärmung muß vermieden werden.

Der günstigste Wärmegrad liegt etwas über Zimmertemperatur. Die Cellulose wird mit Essigsäureanhydrid und Acetylchlorid neben einer Kontaksubstanz behandelt. Im letzteren Sinne wirken Schwefelsäure, Benzolsulfosäure u. a. Durch Wasser und Neutralisationsmittel, z. B. Ammoniumcarbonat und Anilin, wird der Ester abgeschieden, ausgewaschen und gepreßt, zuletzt kalt getrocknet. Stets erhält man Gemische verschiedener Acetylcellulosen, die meistens in Chloroform, sonst in Aceton löslich sind. Durch Verdunsten entstehen, wie aus Kollodium, dünnere und dickere Überzüge und Platten. Die Lösung, z. B. der Cellonlack von Eichengrün, dringt sehr schnell in die feinsten Vertiefungen einer Unterlage ein und erzeugt eine ausgezeichnete, wasserundurchlässige Abdichtung. Auf nicht besonders vorbehandeltem Glase entsteht ein beinahe nicht loszubringender Überzug im Gegensatz zu dem beim Trocknen abblätternden Anstrichen mit Kollodium. Aus der Lösung werden auch künstliche Textilfasern (Acetatseide) von 30—40 μ Dicke gewonnen. Eine weitere Anwendung ist das Schützen alter Handschriften und Drucke durch den Lack. Die sonst hierfür benutzten Zaponlacke hinterlassen die entzündliche Nitrocellulose. Einer Temperatur von 150° widersteht Cellon lange, dagegen zerstören es überhitzter Wasserdampf, Säuren und Alkalien in höherer Temperatur. Solange keine zu große Wärme eintritt, ist ein Überzug mit Cellonlack ein vorzügliches Isoliermittel, Cellonplatten sind als isolierende Unterlagen vielfach verwendbar.

Die Eigenschaften des Cellons kann man leicht an den von der genannten Sprengstofffabrik gelieferten dünnen Platten erproben. Ein

Probierglas wird zur Hälfte mit Quecksilber gefüllt und mit eingesenktem Thermometer über einer Flamme erhitzt. Durch Andrücken eines schmalen Cellonplattenabschnittes an die Außenwand überzeugt man sich vom Erweichen der Substanz oberhalb 100°. Ein spiralig herumgewundener Streifen behält in der Kälte seine Gestalt. Wird er dann auf der einen Seite mit Harzlack überzogen, so bildet er eine Art Hygroskop. Beim Erhitzen über 150° erweicht Cellon derart, daß ein schmaler Streifen sich nicht mehr in das heiße Quecksilber versenken läßt, sondern oben umbiegt. Bei etwa 160° beginnt ein um die Außenwand gebogener Streifen weißlich zu werden und leicht zu zerreißen.

Cellonplatten, die ein ganz grobmaschiges Drahtnetz einschließen, eignen sich als Schutzmittel gegen umherfliegende Glassplitter bei kleinen Explosionsversuchen. Auf zwei Holzklötzen in deren Nuten stehend, haben sie vor Glasplatten den Vorzug, rings um das Gefäß mit Explosionsgefahr herumgebogen werden zu können, sowie nicht selbst beim Bruch gefährliche Scherben zu liefern. Auch die Eignung zum Schutz gegen „Implosionen“ Weinholdscher Gefäße ist erwähnenswert. Als Isoliermittel bilden Cellonplatten gute Hilfsmittel beim Improvisieren von allerlei Apparaten, besonders von Kondensatoren.

Der zum Dichtmachen viel benutzte Cellonlack befindet sich in Blechbüchsen. Für weniger baldigen Verbrauch füllt man ihn in eine Weithalsflasche. Man kann den ziemlich zähen Lack mit Essigäther verdünnen, wobei wiederholt sorgfältig durcheinander gerührt werden muß.

(*Zeitschr. f. math. u. naturw. Unterr.*,
47. Jahrg., 5. Heft, 1916.)

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Aus Natur und Geisteswelt. Nr. 166. K. Blau, Das Automobil, 3. Aufl., 105 S. mit 98 Abb. — Nr. 167. H. Thurn, Die Funkentelegraphie, 3. Aufl., 111 S. mit 51 Abb. — Nr. 516. R. Vater, Technische Wärmelehre (Thermodynamik), 112 S. mit 40 Abb. — Nr. 520. P. Thormeyer, Philosophisches Wörterbuch, 96 S. — Nr. 539. K. Boruttau, Die Arbeitsleistungen des Menschen. 88 S. mit 14 Abb. Verlag von B. G. Teubner, Leipzig 1916. Jedes Bändchen M. 1,—, geb. M. 1,25.

Die beiden ersten in dritter Auflage erschienenen Bändchen sind entsprechend dem beständigen Fortschritt auf diesem Gebiete nicht unerheblich verbessert worden. In dem Bändchen über das Automobil sind namentlich die

neueren Vergaser in die Darstellung einbezogen worden. In dem Bändchen über Funkentelegraphie ist auch auf die drahtlose Telephonie und auf die internationale Regelung des funkentelegraphischen Verkehrs eingegangen. — Besondere Beachtung kann das Bändchen über technische Wärmelehre beanspruchen. Der Verfasser, dem wir schon eine Reihe ausgezeichnete Bändchen über kalorische Maschinen verdanken, hat hier den Versuch gemacht, die Elemente der Thermodynamik im engeren Zusammenhange mit der Maschinenteknik darzustellen. Insbesondere die Lehre von der Entropie mit ihren Anwendungen auf eine Reihe von Wärmeevängen sind in einer Weise behandelt, die mehr als manche rein theoretischen Darstellungen in

das Verständnis des Gegenstandes einzuführen geeignet sind. Auch für den Unterricht dürften dieser Einführung nützliche Hinweise zu entnehmen sein. — Das philosophische Wörterbuch gibt auf engem Raum eine recht klare Erläuterung der philosophischen Begriffe unter Berücksichtigung der neueren Psychologie. Erwähnt sei indes, daß beim Positivismus auf die neueste Form (Mach) nicht Bezug genommen ist. — Das Bändchen von Boruttau bietet eine Einführung in die moderne Arbeitsphysiologie, die zahlreiche interessante Darlegungen aus diesem neuen Forschungsgebiet enthält. Die Methoden zur Messung der Muskelarbeit werden dargelegt und besonders darauf hingewiesen, daß der Muskel keine Wärmekraftmaschine ist. Auch die Rolle, die das Nervensystem spielt, wird eingehend erörtert. Statistik und Organisation der Arbeit auf der Erde machen den Beschluß. P.

Deutsche Feld- und Heimatbücher, herausgegeben vom Rhein-Mainischen Verband für Volksbildung. 1. Bändchen: Mathematik im Kriege, von Dr. P. Riebesell, 40 S. mit 31 Abb. — 2. Bändchen: Physik im Kriege, von Dr. Fr. Gagelmann. 32 S. mit 30 Abb. — 5. Bändchen: Natur und Krieg, von W. Henze und Fr. Gagelmann. 46 S. mit 4 Abb. Verlag von B. G. Teubner in Leipzig, 1916. Jedes Bändchen M. 0,40.

Im 1. Bändchen dieses verdienstlichen Unternehmens hat P. Riebesell, der selbst längere Zeit im Felde gestanden, eine populär gefaßte Darstellung der „mathematischen Grundlagen des Schießdienstes“ und der Orientierung im Gelände, zur See und in der Luft gegeben. Angesichts des geringen Umfangs ist der Inhalt überaus reichhaltig und wird auch unsere Schüler, besonders die der Jugendwehr angehörigen, lebhaft interessieren. Man wird auch manches aus der Praxis stammende in dem Bändchen finden, was nicht allgemein bekannt ist, so über das Schießen auf Flugzeuge und über die Photogrammetrie. — Das 2. Bändchen behandelt Sehen und Fernrohr, Telegraphie, Explosionsvorgänge, Geschütze und Geschosse, geht aber allzusehr auf die einfachsten physikalischen Grundlegungen ein und bietet daher dem, der auch nur einen ganz elementaren Unterricht in der Physik genossen hat, nicht viel Neues. — Das 5. Bändchen gibt ebenfalls nur sehr elementare Aufklärungen über Erdboden und Kriegsarbeit, Pflanzenwelt und Krieg, Astronomie im Felde und Wetterkunde, wird aber dem, der von diesen Dingen noch nichts oder nur wenig gehört hat, manche willkommene Anregung bieten.

Weitere Bändchen sollen Chemie und Krieg, Technik und Krieg behandeln. Erschienen sind auch Bändchen über: Freund und Feind in der Geschichte, die Entstehung des Weltkrieges, das deutsche Heer, die Mobilmachung des Goldes, die Kriegsfürsorge. P.

Die Physik im Kriege. Von Dr. F. Auerbach. Eine allgemeinverständliche Darstellung der Grundlagen moderner Kriegstechnik. Dritte verm. und verbesserte Auflage. Mit 126 Abbildungen im Text. 229 S. Jena, Gustav Fischer, 1916. M. 3,60.

Die erste Auflage dieses Buches ist in dieser Zeitschrift bereits (28, 226) angezeigt worden. Daß das Buch viel Anklang gefunden hat, beweist das Erscheinen dieser 3. Auflage, die gegen die erste nicht unerheblich vermehrt ist und 27 Figuren mehr als jene enthält. P.

Methodisches Hilfsbuch für den Unterricht in der Naturlehre an Volks- und Bürgerschulen. Von Josef Rust. 1. Teil 113 S., 262 Abb., Kr. 4,—, geb. Kr. 5,—. 2. Teil 208 S., 352 Abb., Kr. 5,—. Verlag von A. Haase, Prag, Wien, Leipzig.

Das Buch gehört einer größeren „Sammlung methodischer Handbücher im Sinne der schaffenden Arbeit und der Kunsterziehung“ an, die von A. Herget in Komotau herausgegeben wird. Dementsprechend will es an seinem Teil zur Umwandlung der „Lernschule“ in die Arbeitsschule beitragen, insofern es schon im jetzigen Schulbetrieb möglich sei, dem Unterricht in Physik und Chemie den Charakter des Arbeitsunterrichts zu geben, indem man die Schüler die Versuche selbst ausführen läßt. In methodischer Hinsicht wird die Anweisung gegeben und in Einzelfällen durch Beispiele erläutert, daß als Ausgangspunkt des Unterrichts der Erfahrungskreis des Schülers zu dienen habe. Von Versuchen sind solche bevorzugt, die sich mit einfachen Mitteln anstellen lassen. Aus der reichen Literatur dieses Gebietes hat der Verfasser eine große Zahl solcher Versuche zusammengestellt, die sich besonders für Volks- und Bürgerschulen eignen. Eigentlich methodische Erörterungen treten mehr zurück, die theoretischen Auseinandersetzungen sind nicht immer einwandfrei, so die der Zentralbewegung (II, 54). Das Buch ist jedoch im übrigen wohl geeignet, dem Leser Anregungen für seinen Unterricht zu bieten. P.

Oberstufe der Naturlehre. (Physik nebst Astronomie und mathematischer Geographie.) Nach A. Höflers Naturlehre für h. Lehranstalten des deutschen Reiches bearbeitet von Dr.

Friedrich Poske. 4. verbesserte und vermehrte Auflage. Mit 503 zum Teil farbigen Abbildungen und 4 Tafeln. Braunschweig, Fr. Vieweg & Sohn, 1916. 395 S. M. 4,40.

Diese neue Auflage ist soweit verbessert worden, als es die zur Zeit geltenden Bestimmungen gestatten. Strengere Begriffsfassungen sind namentlich in dem Abschnitt über Kraft und Masse, größere Änderungen in der Darstellung der Ionenlehre, geringe Vermehrungen des Umfangs in der Lehre von den radioaktiven Stoffen vorgenommen worden. Die älteren Tafeln der Isogonen und Isoklinen sind durch neuere ersetzt. Den Vorschlägen des Ausschusses für Einheiten und Formelzeichen (A E F) hat der Verfasser sich in der Bezeichnung der physikalischen Größen fast durchweg angepaßt, nur in wenigen Fällen, namentlich in der Bezeichnung für die Kraft (K) hat er sich aus, wie er glaubt, zureichenden Gründen nicht zu einer Änderung entschließen können. P.

Unterstufe der Naturlehre. Ausgabe A. (Physik nebst Astronomie und Chemie). Nach A. Höflers Naturlehre für h. Lehranstalten des Deutschen Reiches bearbeitet von Dr. Friedrich Poske. 5. verb. Auflage. Mit 332 Abbildungen, einer Stern tafel und einem Anhang von 123 Denkaufgaben. Braunschweig, Friedrich Vieweg & Sohn, 1916. 266 S. M. 2,80.

In dieser Auflage wurde die Reihenfolge der Paragraphen innerhalb der Mechanik derart verändert, daß jetzt von der Bewegungslehre nur das Nötigste vorangestellt und dann sofort die Lehre von den Kräften und den einfachen Maschinen angeschlossen ist. Durch diese Anordnung soll nahegelegt werden, auf der Unterstufe mit der Statik zu beginnen. Im übrigen ist der Text sorgfältig durchgesehen und verbessert worden, wie auch an manchen neu eingefügten oder an die Stelle von früheren gesetzten Figuren ersichtlich ist. P.

Grundzüge der Geschichte der Chemie. Richtlinien einer Entwicklungsgeschichte der allgemeinen Ansichten in der Chemie. Von Prof. Dr. W. Herz in Breslau. Stuttgart, F. Enke, 1916. 142 S. M. 4,—.

Man kann im Zweifel sein, ob neben den ausgezeichneten, meist auch in dieser Zeitschrift angezeigten Werken zur Geschichte der Chemie ein Bedürfnis für eine so stark gekürzte und daher manche Unvollständigkeit aufweisende, z. B. der speziellen Literaturmachweise entbehrende Darstellung vorhanden ist. Wer das vorliegende Buch näher kennen lernt, wird solche Zweifel fallen lassen. Es gibt nicht nur eine anregend geschriebene, sehr gute Übersicht über

die Entwicklung der wichtigsten Ansichten, sondern bietet auch mehrfach eine von der üblichen Darstellung abweichende selbständige Auffassung. Es rechnet z. B. die Tätigkeit solcher Männer wie Boyle, Stahl, Scheele usw. mit Recht zum Abschnitt „Moderne Chemie“, nachdem vorher die drei Abschnitte „1. die chemischen Kenntnisse im Altertum, 2. das Zeitalter der Alchemie, 3. das Zeitalter der Jatrochemie“ behandelt sind; und der Verfasser unterscheidet in diesem letzten Hauptabschnitt sehr zweckmäßig die drei Unterabteilungen „A. Epoche der qualitativen Forschung, B. Epoche der quantitativen Forschung“ — bei der besser nicht Lavoisier an die Spitze zu stellen war, sondern zuerst der mannigfaltigen bereits vorangegangenen quantitativen Arbeiten gedacht werden konnte — „und C. Entwicklung der physikalischen Chemie“. Das ist eine gerade für die Zwecke des chemischen Unterrichts sehr nützliche und der geschichtlichen Wahrheit näher kommende Einteilung, die besonders auch den umfassenden Kahlbaumschen Ermittlungen besser entspricht (vgl. *diese Zeitschr.* XI, 101, über Lavoisier). Gerade in Schullehrbüchern finden sich noch vielfach Darstellungen, die mit der Würtzschens Anmaßung „La chimie est une science française“ noch nicht genügend aufgeräumt haben. Im übrigen sind nicht etwa die ausländischen Forscher den einheimischen gegenüber zu kurz gekommen, eher ist das Gegenteil der Fall. Wir vermissen z. B. im Register die Namen Carl Rammelsberg und Friedrich Mohr; die umfassenden Leistungen Rammelsbergs auf dem Gebiete der Mineralchemie und der physikalischen Krystallographie dürfen auch in einer kürzeren Zusammenfassung nicht fehlen; und Friedrich Mohr verdiente schon als intimer Freund und Berater eines Liebig gelegentliche Erwähnung. Dafür findet man im Register etliche ausländische Namen, die bei weitem nicht von dem Range der genannten Männer sind. Wir vermissen auch eine Notiz über den Anteil Humboldts an dem sog. 2. Gay-Lussacschen Gasesgesetz. Es ist sehr zu wünschen, der Weltkrieg möge dahin wirken, daß wir nicht mehr wie sonst so häufig den Blick zuerst auf die Leistungen des Auslandes richten und die einheimischen Leistungen in den Schatten stellen. Diese Bemerkung soll sich aber keineswegs im ganzen Umfange auf die vorliegende Arbeit beziehen. An dieser ist auch noch lobend hervorzuheben, daß gerade die modernen Ansichten relativ sehr eingehend behandelt sind und deren Entwicklung eine besonders glückliche Darstellung gefunden hat.

O. Ohmann.

Sammlung Göschen. Chemie, anorganischer Teil. Von Dr. Jos. Klein. 6. verb. Aufl. 1915, 170 S.; organischer Teil, 4. verb. Aufl., 187 S. — Chemie der Kohlenstoffverbindungen. Von Dr. Hugo Bauer. Alphabetische Verbindungen, erster und zweiter Teil; 2. verb. Aufl., 131 bzw. 120 S. — Geschichte der Chemie. Von Dr. Hugo Bauer. I. Von den ältesten Zeiten bis Lavoisier, II. Von Lavoisier bis zur Gegenwart. 2. verb. Aufl. 1915, 96 bzw. 140 S. — Analytische Chemie. I. Qualitative Analyse. Von Dr. Joh. Hoppe. 2. völlig umgearb. Aufl., mit 7 Tabellen, 1913, 140 S. Berlin und Leipzig, G. J. Göschen. Jeder Band 0,90 M.

In den vorliegenden Nummern der bekannten Sammlung handelt es sich durchgängig um neue Auflagen bewährter Arbeiten. In der „Chemie der Kohlenstoffverbindungen“ erhalten die wichtigsten theoretischen Begriffe eine leichtverständliche Darstellung. Beim amerikanischen Petroleum konnten Petroläther und Benzin, ihrer Bedeutung entsprechend, besser voneinander getrennt werden. — Das Erscheinen der zweiten Auflage der „Geschichte der Chemie“ ist ein weiteres erfreuliches Zeugnis für das wachsende historische Interesse. Die beiden Bändchen geben eine treffliche Darstellung der wichtigsten Zeitalter, in der auch die Technik gebührend berücksichtigt ist. Bezüglich der Entdeckung des Porzellans entspricht der Satz (I, 91): „Neuere Forschungen haben ergeben, daß der Entdecker desselben nicht, wie eine Zeitlang angenommen wurde, der Chemiker Böttiger ist, sondern Ehrenfried Walter von Tschirnhaus ...“ nicht ganz den sich an diese Frage anschließenden weiteren Ermittlungen. — Die übrigen Bändchen verdienen ebenfalls die beste Empfehlung. O.

Leitfaden für den Unterricht in der Chemie und Mineralogie. Methodisch bearbeitet von Prof. Dr. R. Arendt. 12. umgearbeitete Aufl. von Dr. L. Doermer. Mit 145 Abb. u. 1 Tafel. Leipzig u. Hamburg, L. Voss, 1913. 152 S. M. 1,60.

Der Leitfaden hat in der neuen Auflage verschiedene nicht unwesentliche Abänderungen erfahren. Zunächst ist ein oft beanstandeter Punkt, das vorzeitige Hineinnehmen des Wasserstoffs in den Lehrgang — zwecks Demonstration der Nichtveränderung eines Metalls durch Erhitzen bei Abschluß der Luft — mit Recht beseitigt worden. As Ersatz ist der Kupferfaltungsversuch des Ref. eingeführt. Die hierdurch wesentlich vereinfachte Luftuntersuchung ist auch

sonst noch umgearbeitet worden; gewisse Teilversuche Arendts, wie die Verminderung einer abgegrenzten Luftmenge, die Auffindung des Stickstoffs, das Schwererwerden des Metalles beim Erhitzen, sind in einen einzigen, ziemlich komplizierten Versuch zusammengezogen worden. Die neue Versuchsanordnung — Erhitzen eines Kupferblechstreifens im Glasrohr, durch das eine bestimmte Luftmenge geleitet wird usw. — ist, als Wiederholung auf höherer Stufe gedacht, ein hübscher Versuch; für den Anfang ist sie jedoch mit ihren fünf verschiedenen Folgerungen nicht einfach genug. Es fehlt auch zum Teil das Sinnfällige der Arendtschen Versuche. Diese Änderungen sind indes mehr untergeordneter Natur. In methodischer Hinsicht viel einschneidender ist die Änderung, daß der hisherige „Mineralogische Teil“ nahezu aufgeteilt ist — nur Krystallographie und Petrographie sind im wesentlichen darin verblieben — und daß die Mineralien jetzt dem eigentlichen Lehrgange eingegliedert sind und mit ihm mehr ein Ganzes bilden. Es entspricht dies teilweise den methodischen Grundsätzen, für die Ref. seit Dezennien eingetreten ist, und die in dem Leitfaden des Ref.¹⁾, allerdings in viel bestimmterer Form, verwirklicht sind. Auch sonst sind eine größere Anzahl von Versuchen und Erläuterungen des Ref. aus seinem Leitfaden und aus seinen Veröffentlichungen in dieser Zeitschrift übernommen. Von der Anerkennung, die hierdurch der Methodik des Ref. gezollt wird, nehmen wir gern Notiz, obschon sie im Vorwort nicht zum Ausdruck gelangt ist und somit nur dem Kenner der gegenwärtigen methodischen Bestrebungen offenbar wird. Eine andere Frage ist es, ob diese Änderungen bzw. Annäherungen noch zum Ganzen des Arendtschen Lehrganges recht passen. Denn nun tritt es um so mehr zutage, zu welchem Gewinn eine methodische Behandlung des Gesamtlehrstoffes führen würde, bei der die Naturkörper wirklich zu Ausgangspunkten der Betrachtung und der experimentellen Untersuchung gemacht werden — ein Gewinn, der besonders klar wird, wenn man die wichtige Frage nach der Stellung des Versuchs im Lehrgange aufwirft. Jedenfalls entfernt sich dadurch im ganzen die neue Auflage nicht unerheblich von dem ursprünglichen Arendtschen Plane, der seinerzeit die Fesseln des rein systematischen Unterrichts mit so großem Erfolge durchbrach.

O.

¹⁾ O. Ohmann, Chemisch-mineralogischer Kursus, Berlin, Winckelmann & Söhne, 6. Aufl. 1916.

Experimentalechemie. Ein Leitfaden für experimentelle Chemie an Baugewerkschulen und verwandten technischen Lehranstalten. Bearbeitet von Dr. W. Mittasch, Oberlehrer a. d. Kgl. Baugewerkschule zu Königsberg i. Pr. Mit 6 Figurentafeln. Essen, Baedeker, 1914. 123 S. Kart. M. 2,40.

Trotzdem auf den Wert des Experiments besonders hingewiesen wird, bringt das Buch — nach altem Muster — gerade im Anfang fast lauter theoretische Auseinandersetzungen, z. B. auf S. 3 bereits die Konstanz der Zusammensetzung und die Atomtheorie. Eine solche Einführung ist für den Anfänger ganz unverständlich und nicht geeignet, Liebe zu dem schwierigen neuen Fach zu erwecken. Weiterhin wird die Darstellung, die im ganzen systematisch gehalten ist, glücklicher. Nicht zu billigen ist jedoch die Zusammenstellung der Figuren in besonderen Tafeln, sie sollte als überwundener Standpunkt gelten. Der Mörtel — das einfache Stichwort fehlt im Register — hat eine angemessene, wenn schon recht kurze Behandlung erfahren; auffällig ist aber, daß der Zement, der nicht nur bei so großartigen Bauwerken, wie den modernen Untertunnelungen der Flüsse, die Hauptrolle spielt, sondern auch bei vielen gewöhnlichen Bauten unentbehrlich ist, zur Entwicklung der Kunststeinindustrie geführt hat usw., in dem Buch, einer Chemie für Baugewerkschulen, überhaupt nicht näher behandelt und im Register nicht erwähnt ist. Die Sicherheit der Versuche ist nicht überall gewährleistet; da wird wieder freies Natrium zum Aufsteigen unter einen Zylinder gebracht (S. 25). Die Angabe,

„das Natriumstückchen ist nicht groß zu nehmen“, ist viel zu unbestimmt, und der Versuch (S. 33) „stellen wir ein Gemisch von Kaliumchlorat und Zucker her“ usw. — ohne irgendwelche Mengenbeschränkungen und ohne den Hinweis auf die Gefährlichkeit — kann bereits zu einer lebensgefährlichen Explosion führen; auch beim Natriumsuperoxyd war auf die Gefährlichkeit hinzuweisen. Im übrigen enthält das Buch viele zweckmäßige Angaben, besonders aus der technologischen Chemie. O.

Leitfaden der Chemie für Landwirte. Von Dr. F. A. Scheffer, Oberlehrer und Landwirtschaftslehrer a. d. Landwirtschaftsschule zu Cleve. Mit 47 Abb. Hannover 1916, M. und H. Schaper. 183 S. M. 3,—, geb. M. 3,50.

Es ist eine dankbare Aufgabe, den Lehrstoff für dasjenige Gebiet zusammenzustellen, auf dem die Chemie dank der Tat Liebig's ihre Leistungsfähigkeit mit am besten zu zeigen vermag. Die Auswahl im vorliegenden Buche ist im ganzen als glücklich zu bezeichnen; auch sonst ist das Buch seinem Zwecke, als Grundlage für den chemischen Unterricht an Landwirtschaftsschulen zu dienen, gut angepaßt. Der Satz: „Aus dieser Auffassung . . . geht hervor, daß das Molekül eines Grundstoffes mindestens aus zwei Atomen bestehen muß“ (S. 13), stimmt nicht zur Tatsache der vielen einatomigen Elemente. Stark beeinträchtigt wird der Wert des Buches durch das Fehlen eines Registers; selbst ein Inhaltsverzeichnis ist nicht vorhanden. Im übrigen verdient das Buch für die betreffenden Kreise warme Empfehlung. O.

Korrespondenz.

Zu dem Aufsatz über „Das Wilsonelktroskop als Schulinstrument“ von H. Schmidt in Heft III dieses Jahrganges, S. 135, sendet uns Herr Prof. Dr. K. Noack (Freiburg i. B.) folgende Bemerkung:

Ohne auf die Frage näher einzugehen, ob das Wilsonelktroskop in dieser Form, d. h. mit mikroskopischer Ablesung, im Schulunterricht erfolgreiche Verwendung finden kann, möchte ich zu den Anweisungen des Herrn Verfassers einen kleinen Beitrag liefern. Wir haben das Instrument im Handfertigkeits-Praktikum der Universität Gießen in ganz ähnlicher Weise gebaut; nur benutzten wir das von Cochius-Berlin bezogene vierkantige Messingrohr von 45 mm Kantenlänge und 1,5 mm Wand-

stärke, wodurch natürlich die Arbeit sehr vereinfacht wird. Eine wesentliche Verbesserung aber scheint mir darin zu liegen, daß wir die Achse, um die das Gehäuse geschwenkt werden kann, so legten, daß sie durch den Drehpunkt des Blättchens hindurchgeht; dann bleibt das ruhende Blättchen stets in der Mitte des Gesichtsfeldes (Skalen-Nullpunkt) des Ablesemikroskops, was natürlich eine große Bequemlichkeit ist.

Berichtigung. In dem Aufsatz von H. Oosting über „Demonstrationsapparate für Schwingungen von Systemen mit zwei Freiheitsgraden“ muß es auf S. 134 des 3. Heftes, Zeile 14 v. u. heißen: Philosophical Magazine, April 1913.

Himmelserscheinungen im Oktober und November 1916.

♁ Merkur, ♀ Venus, ☉ Sonne, ♂ Mars, ♃ Jupiter, ♄ Saturn, ☾ Mond, 0^h = Mitternacht.

	Oktober						November					
	3	8	13	18	23	28	2	7	12	17	22	27
♀ {AR	12 ^h 48 ^m	12.30	12.21	12.28	12.47	13.13	13.42	14.12	14.43	15.15	15.47	16.19
	{D	- 8 ^o	- 4	- 2	- 1	- 3	- 6	- 9	- 12	- 15	- 18	- 20
♀ {AR	9 ^h 49 ^m	10.11	10.33	10.54	11.16	11.38	12. 0	12.22	12.44	13. 7	13.29	13.52
	{D	+13 ^o	+11	+10	+ 8	+ 6	+ 4	+ 2	- 1	- 3	- 5	- 7
☉ {AR	12 ^h 37 ^m	12.55	13.13	13.32	13.51	14.10	14.30	14.49	15.10	15.30	15.51	16.12
	{D	- 4.0 ^o	- 5.9	- 7.8	- 9.6	-11.4	-13.1	-14.8	-16.3	-17.7	-19.0	-20.1
♂ {AR	14 ^h 57 ^m	15.11	15.25	15.40	15.55	16.10	16.25	16.41	16.57	17.13	17.30	17.46
	{D	-17 ^o	-18	-19	-20	-21	-22	-22	-23	-23	-24	-24
♃ {AR		2. 3		1.58		1.53		1.48		1.43		1.40
	{D		+11		+10		+10		+10		+ 9	+ 9
♄ {AR	8 ^h 5 ^m						8.11					
	{D						+20					
Aufg.	6 ^h 5 ^m	6.14	6.23	6.32	6.41	6.50	7. 0	7. 9	7.18	7.27	7.36	7.44
☉ Unterg.	17 ^h 32 ^m	17.20	17. 9	16.58	16.47	16.37	16.27	16.18	16.10	16. 3	15.56	15.51
Aufg.	13 ^h 43 ^m	16. 0	17.32	21.52	2.37	9.13	13.30	14.52	17.32	23. 8	4. 1	10.20
☾ Unterg.	20 ^h 43 ^m	2.22	9.16	13.44	15. 8	16.49	22.42	4.13	10.20	12.46	13.56	17.34
Sternzeit im mittl. Mittag	12 ^h 47 ^m 18 ^s	13. 7. 1	13.26.44	13.46.27	14. 6. 9	14.25.52	14.45.35	15. 5.18	15.25. 0	15.44.43	16. 4.26	16.24. 9
Zeitgl.	-10 ^m 53 ^s	-12.22	-13.40	-14.45	-15.35	-16. 7	-16.20	-16.14	-15.47	-14.59	-13.49	-12.20

Mittlere Zeit = wahre Zeit + Zeitgleichung.

Mondphasen in M.E.Z.	Neumond	Erstes Viertel	Vollmond	Letztes Viertel
		Okt. 26, 21 ^h 37 ^m Nov. 25, 9 ^h 50 ^m	Okt. 4, 12 ^h 0 ^m Nov. 2, 18 ^h 50 ^m	Okt. 11, 8 ^h 1 ^m Nov. 9, 21 ^h 18 ^m

Planetensichtbarkeit	Merkur	Venus	Mars	Jupiter	Saturn
im Oktober	Vom 10. ab morgens im O. sichtbar, um Mitte des Monats 3/4 Stunden lang	4 bis 3 1/2 Stunden lang als Morgenstern sichtbar	unsichtbar	die ganze Nacht hindurch sichtbar; Opposition am 24.	morgens 5 1/2 bis 8 1/2 Stunden lang sichtbar
im November					

Verfinsterungen der Jupitertrabanten:

Okt. 5, 22 ^h 39 ^m 5 Eintritt des I. Trabanten.	Nov. 9, 21 ^h 15 ^m 0 Eintritt des III. Trabanten.
„ 14, 19 ^h 3 ^m 2 „ „ I. „	„ 9, 23 ^h 3 ^m 0 Austritt „ III. „
„ 21, 20 ^h 58 ^m 3 „ „ I. „	„ 13, 23 ^h 23 ^m 8 „ „ I. „
„ 22, 19 ^h 32 ^m 0 „ „ II. „	„ 15, 17 ^h 52 ^m 7 „ „ I. „
„ 30, 19 ^h 33 ^m 1 Austritt „ I. „	„ 22, 19 ^h 48 ^m 2 „ „ I. „
Nov. 2, 19 ^h 2 ^m 7 „ „ III. „	„ 23, 21 ^h 45 ^m 8 „ „ II. „
„ 6, 21 ^h 28 ^m 4 „ „ I. „	„ 29, 21 ^h 43 ^m 8 „ „ I. „

F. Koerber.

Nachdruck nur mit Quellenangabe und mit Genehmigung der Verlagshandlung gestattet.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.