

Über Interferenzerscheinungen nach E. Grimsehl¹⁾.

Von

P. Riebesell in Hamburg.

Auf Veranlassung des Herausgebers dieser Zeitschrift haben sich die Angehörigen des für das Vaterland gefallenen Direktors E. GRIMSEHL an mich mit der Aufforderung gewandt, einen Bericht über den Braunschweiger Vortrag zu geben. Da keinerlei Aufzeichnungen darüber vorhanden sind, so bin ich auf meine eigene Erinnerung angewiesen. Einiges hat sich in der inzwischen erschienenen 3. Auflage des GRIMSEHLSchen Lehrbuches gefunden.

1. Der Fresnelsche Spiegelversuch.

Mit den herkömmlichen Apparaten läßt sich dieser Versuch in einer für eine Wellenlängenbestimmung nötigen exakten Weise nur schwer ausführen. Die Gründe hierfür sind folgende:

1. Der Einfallswinkel des Lichtes und der Winkel, den die beiden Spiegel AK und BK miteinander bilden, sind so zu wählen, daß die den Interferenzraum CKD (Fig. 1) begrenzenden Strahlen AC und BD divergieren. Andernfalls treten von einer bestimmten Entfernung an nicht mehr Interferenzen regelmäßig reflektierten Lichtes, sondern nur Beugungserscheinungen auf²⁾.

2. Für die Wellenlänge λ ergibt sich bekanntlich angenähert die Formel

$$\lambda = \frac{d \cdot \delta}{a}, \quad 1)$$

wenn d die Entfernung $L_1 L_2$ bezeichnet, δ der Abstand zweier dunkler Streifen und a die Entfernung des Schirms vom Spiegel ist.

Nun ist aber

$$d = 2 \cdot K L_1 \cdot \sin \alpha = 2 \cdot K L \cdot \sin \alpha = 2 b \sin \alpha, \quad 2)$$

wenn KL mit b bezeichnet wird.

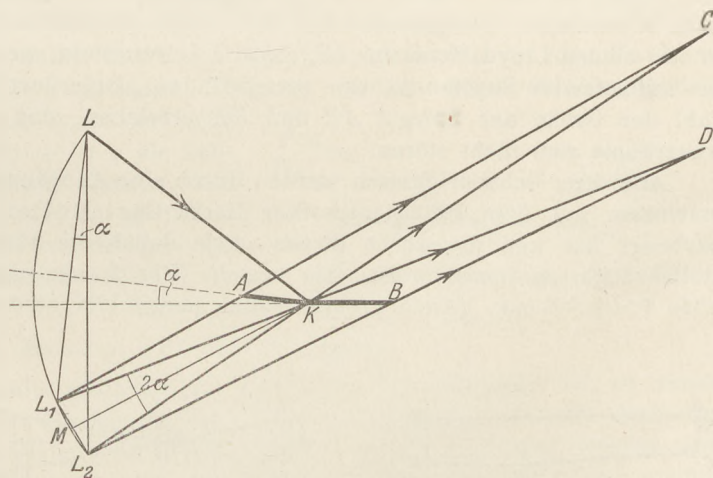


Fig. 1.

¹⁾ Nach einem von E. Grimsehl auf der 23. Hauptversammlung des Vereins zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts Pfingsten 1914 in Braunschweig gehaltenen Vortrag.

²⁾ Vgl. A. Winkelmann, Handbuch der Physik, Bd. 6, Leipzig 1906.

Also ist

$$\lambda = \frac{2b\delta \sin \alpha}{a} \quad 3)$$

Daraus ergibt sich

$$\sin \alpha = \frac{a \cdot \lambda}{2b\delta} \quad 4)$$

Sollen nun die Streifen noch eben wahrnehmbar sein, d. h. $\delta \geq 0,2$ mm, so ergibt sich für $\lambda = 0,0006$ mm und $\frac{a}{b}$, wie dies bei Fresnel der Fall war, gleich 3:

$$\alpha \leq \frac{1^\circ}{4}$$

Es ist klar, daß bei einer objektiven Darstellung der Streifen bedeutend kleinere Werte von α zu nehmen sind.

3. Trotz der geringen Neigung der beiden Spiegel ist bei K eine genaue Berührung nötig, da sonst durch geringes Überstehen des einen Spiegels der Mittelstreifen MK überhaupt nicht mehr im Interferenzraum liegt und daher die Erscheinung verschwindet oder Störungen durch Beugungserscheinungen eintreten.

4. Bei streifendem Einfall des Lichtes wirkt auch ein größerer Spiegel auf die zurückgeworfenen Strahlen wie eine enge Öffnung, auf die direkten wie ein Schirm. Auch dadurch können Beugungserscheinungen hervorgerufen werden.

5. Die Lichtquelle ist möglichst punktförmig zu wählen, d. h. der Spalt muß schmal sein und außerdem genau parallel der Schnittlinie der beiden Spiegelebenen.

6. Das klare Interferenzbild wird meistens dadurch getrübt, daß außer L_1 und L_2 auch paarweise L und L_1 bzw. L und L_2 zu Interferenzen Anlaß geben. Wir haben es nämlich regelmäßig außer dem Fresnelschen Versuch mit zwei Lloydschen Versuchen zu tun. Sind α , λ , a und δ gegeben, so ist ein geometrischer Ort für L durch b bestimmt. Die genaue Lage von L läßt sich durch Anwendung der Formel 4) auf die beiden Lloyd-Versuche LL_1 bzw. LL_2 ermitteln, wenn man verlangt, daß die dort auftretenden Streifen nahezu verschwinden. Außerdem läßt sich durch passende Wahl der Größe der Spiegel AK und KB erreichen, daß die verschiedenen Interferenzräume sich nicht stören.

Alle diese Schwierigkeiten werden durch eine Anordnung beseitigt, die GRIMSEHL gemeinsam mit dem Präzisionsoptiker Herrn Carl Möller, Wedel i. Holstein, ausgearbeitet hat und die durch diesen sowie durch die Firma A. Krüss, Hamburg, Adolfsbrücke, zu beziehen ist. Sie besteht (Fig. 2) aus einem Glasquader von der Größe $1 \times 1 \times 5$ cm. (Auch größere sollen hergestellt werden.)

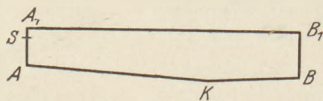


Fig. 2.

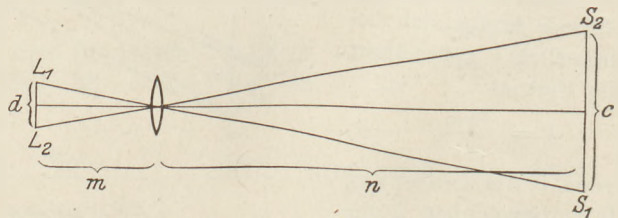


Fig. 3.

Die untere Fläche ist so geschliffen — und das ist die Hauptschwierigkeit —, daß zwei spiegelnd gemachte Flächen entstehen, die einen Winkel AKB bilden, der von 180° nur etwa 2 bis 4 Minuten abweicht. Die vordere Fläche A_1A ist ebenfalls versilbert, doch ist auf ihr genau parallel mit der Kante K ein feiner Spalt eingeritzt. Die vordere Fläche ist außerdem mit einer Glasplatte bedeckt, so daß der Spalt unbeschädigt bleibt. Über die günstigste Wahl der Längen SA sowie AK und KB stellt Herr Möller zurzeit noch Versuche an.

Die Hauptvorteile des Apparates bestehen darin, daß er jederzeit fertig ist und eine einwandfreie Wellenlängenbestimmung ermöglicht. Der Spalt ist fest mit den Spiegeln verbunden, wie auch in den früheren Grimsehl'schen Konstruktionen³⁾, die Berührung bei K ist eine innige, die Größen der Formel 4) sind einfach zu ermitteln. Ist d nicht nach Formel 2) zu bestimmen, so setzt man in den Strahlen-gang eine Konvexlinse und erzeugt ein reelles Bild $S_1 S_2$ von $L_1 L_2$ (Fig. 3). Wir messen den Abstand m des Spaltes, also auch der scheinbaren Lichtquellen von der Linse, den Abstand n der reellen Bilder von der Linse und die Entfernung $S_1 S_2 = c$. Dann ist

$$d = \frac{m}{n} \cdot c. \quad 5)$$

Subjektiv ist die Erscheinung beim Hindurchsehen durch den Apparat sofort sichtbar.

2. Kurven gleicher Dicke.

Die beim Fresnel'schen Spiegel beobachtete Interferenz von zwei reflektierten Wellen spielt in der Optik eine große Rolle. Sie kann an jeder Platte auftreten (Fig. 4).

Berechnen wir den Gangunterschied w der beiden Strahlen X und Y , so ist er:

$$\begin{aligned} w &= n(AC + BC) - AR = 2nAC - AR = \frac{2nd}{\cos \beta} - AB \sin \alpha = \frac{2nd}{\cos \beta} - 2AF \sin \alpha \\ &= \frac{2nd}{\cos \beta} - 2d \operatorname{tg} \beta \cdot \sin \alpha = \frac{2nd}{\cos \beta} - \frac{2nd \sin^2 \beta}{\cos \beta} = \frac{2nd}{\cos \beta} (1 - \sin^2 \beta) = 2nd \cos \beta \\ &= 2d \sqrt{n^2 - n^2 \sin^2 \beta} = 2d \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}. \end{aligned}$$

Diese Formel

$$w = 2d \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \quad 6)$$

zeigt, daß die Interferenz außer von der Plattendicke d und von der Farbe n auch vom Einfallswinkel α abhängt. Nehmen wir ein enges Strahlenbündel, d. h. akkomodieren wir das Auge auf eine bestimmte Stelle der Platte, so ist α als konstant anzusehen, wir erhalten Kurven, die von d abhängig sind, die Kurven gleicher Dicke oder die Newton'schen Ringe, die in bekannter Weise darzustellen sind.

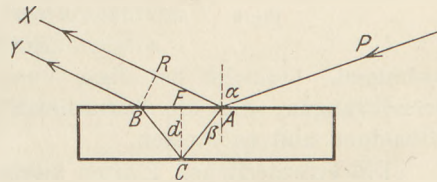


Fig. 4.

3. Kurven gleicher Neigung.

Nehmen wir eine absolut planparallele Platte, bei der d konstant ist, so treten Interferenzkurven auf, wenn der Einfallswinkel der Lichtstrahlen sich von Punkt zu Punkt ändert. Diese Kurven gleicher Neigung (Lummer, Haidinger) werden mit dem auf Unendlich akkomodierten Auge beobachtet. Blickt man durch eine solche Platte nach einer ausgedehnten einfarbigen Lichtquelle, so erblickt man Kreise, deren Mittelpunkt der Fußpunkt des vom Auge auf die Platte gefällten Lotes ist. Geringe Dickenunterschiede machen sich durch Verzerrung bemerkbar, so daß die Kurven gleicher Neigung ein empfindliches Mittel zur Untersuchung planparalleler Platten sind. Fig. 5 zeigt die Versuchsanordnung für objektive Darstellung.

Das Licht (etwa Natrium-, Kadmium- oder Quecksilberlicht) fällt von A aus bei B auf eine unter 45° geneigte durchsichtige Spiegelglasplatte TT und dann auf die Platte Pl . Die bei C und D reflektierten Strahlen werden durch die Linse LL vereinigt, in deren Brennebene der Schirm SS steht.

³⁾ Vgl. diese Zeitschr. 20, 1907; Ausgewählte physikalische Schülerübungen, Leipzig 1906.

Betrachten wir nicht nur das an der Vorder- und Hinterfläche einmal reflektierte Licht, sondern gehen wir zu mehrmaliger Reflexion über, so kann man bei Beobachtung der Kurven gleicher Neigung bis zu Gangunterschieden von Hunderttausenden von Wellenlängen gehen. Man ist so auch in der Lage, mit der sogenannten Interferenzspektroskopie den Bau der Spektrallinien zu untersuchen. Ist eine Spektrallinie zusammengesetzt, so liefert jede dieser Linien ihr eigenes Streifensystem, das sich bei genügend großem Gangunterschied von den übrigen Systemen trennen muß (Perot und Fabry, Lummer und Gehrcke). Diese Erscheinungen sind auch benutzt, um die Meterlänge in Wellenlängen einer bestimmten Strahlenart auszudrücken und so eine absolute Längeneinheit zu schaffen (Michelson).

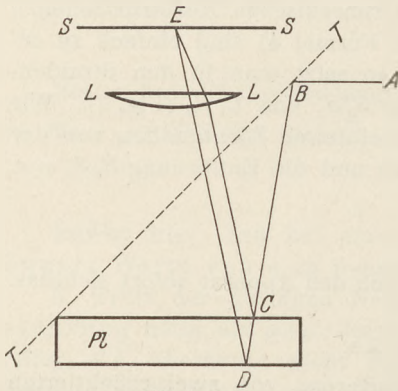


Fig. 5.

4. Interferenzen an zwei Platten.

Um Interferenzen mit geringen Gangunterschieden objektiv darzustellen, eignen sich zwei gleiche planparallele Platten (Brewster), besonders in der Anordnung des Jaminschen Interferenzrefraktometers (Fig. 6).

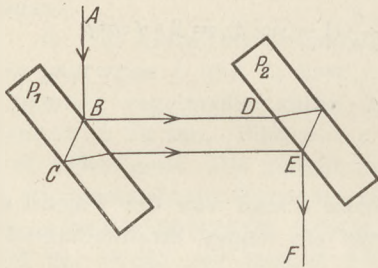


Fig. 6.

Am besten zerschneidet man eine planparallele Spiegelglasplatte in der Mitte und benutzt eine helle ausgedehnte Lichtquelle. Bei geringer Neigung der Platten gegeneinander erhalten die Strahlen BD und CE Gangunterschiede, und es treten Interferenzen auf. Da die interferierenden Strahlen räumlich voneinander getrennt sind, kann man in den Gang des einen irgend einen durchsichtigen Körper einschalten und durch die Veränderung in der Lage der Interferenzstreifen die Änderung der Wellenlänge bzw. den Brechungsindex bestimmen.

Quincke hat diese Versuchsanordnung z. B. dazu benutzt, die Druckveränderungen, die die Luft durch ein sie durchfliegendes Geschöß erleidet, zu beobachten und zu messen.

Die erforderlichen Platten werden durch die erwähnten Firmen geliefert.

Die Untersuchung eines Stabmagneten.

Von

Dr. Paul Ludewig in Freiberg i. Sa.

Um die Anordnung der Kraftlinien um einen Stabmagneten zu untersuchen, beschränkt man sich meistens darauf, mit Eisenfeilicht ein Kraftlinienbild herzustellen. Leider kann diese Methode, so anschaulich sie an und für sich ist, die Verhältnisse nur qualitativ wiedergeben. Im folgenden soll eine Methode beschrieben werden, die es ermöglicht, mit den einfachsten Mitteln die Eigenschaften eines Stabmagneten festzustellen, und zwar in der Weise, daß man aus den erhaltenen Kurven über die an jeder Stelle des Magneten austretenden Kraftlinienzahl auch quantitativ einen Aufschluß erhält. Dieser Versuch ist als Praktikumsaufgabe gedacht und nebenbei geeignet, den Praktikanten mit der Behandlung und Wirkungsweise des ballistischen Galvanometers vertraut zu machen.

Ein Stabmagnet M von 33,6 cm Länge und 2,11 cm² Querschnitt ist (siehe Fig. 1 und 2) zwischen den beiden Holzstäben A und B so montiert, daß eine kurze Spule D bei einer Verschiebung über dem Magnetstab und den Holzstäben überall den gleichen Querschnitt findet und daher leicht bewegt werden kann. Zur mechanischen Verbindung des Magnetstabes mit dem Holzstab werden kurze Messingstäbchen C benutzt, die in kleine Vertiefungen im Holz- und Magnetstab eingreifen. Die Spule D ist so konstruiert, daß sie den Magnetstab so eng wie möglich umschließt.

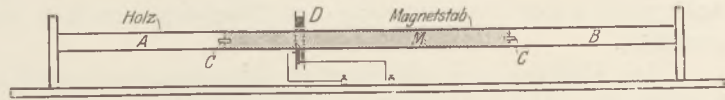


Fig. 1. $\frac{1}{3}$ n. Gr.

Bei einer Verschiebung der Spule schneidet man eine bestimmte Anzahl Kraftlinien. Hat die Spule N Windungen und wird der Kraftfluß Φ , d. h. die Gesamtzahl der durch sie hindurchgehenden Kraftlinien, um $d\Phi$ geändert, so ist nach dem Maxwell'schen Gesetz die in der Spule erzeugte elektromotorische Kraft e :

$$e = N \frac{d\Phi}{dt}. \quad 1)$$

Verbindet man die Enden der Spule (eventuell unter Vorschaltung eines geeigneten Widerstandes, um eine günstige Dämpfung einzustellen) mit einem ballistischen Galvanometer, so gilt, wenn man mit

- a den ballistischen Ausschlag des Galvanometers,
- C die ballistische Konstante des Galvanometers,
- i den Montanwert des Stroms,
- Q die im Stromstoß bewegte Elektrizitätsmenge

bezeichnet,

$$Q = \int i dt = C \cdot a. \quad 2)$$

Andererseits ist aber

$$i = \frac{e}{R} = \frac{N}{R} \frac{d\Phi}{dt}, \quad 3)$$

wenn man mit R den Gesamtwiderstand des Galvanometerkreises bezeichnet.

Setzt man die Gleichung 3) in Gleichung 2) ein, so erhält man:

$$Q = \int i dt = \int \frac{N}{R} \frac{d\Phi}{dt} dt \quad 4)$$

oder

$$C \cdot a = \int \frac{N}{R} \frac{d\Phi}{dt} dt. \quad 5)$$

Daraus folgt:

$$\Delta\Phi = \left(\frac{CR}{N} \right) a. \quad 6)$$

Das heißt: Der Ausschlag des ballistischen Galvanometers ist der Änderung des Induktionsflusses proportional. Dabei ist vorausgesetzt, daß die Schwingungsdauer

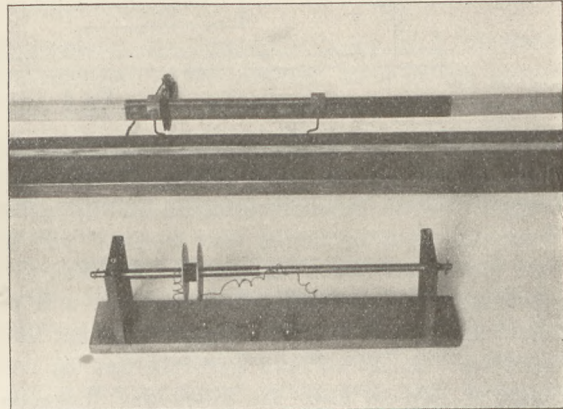


Fig. 2.

des Galvanometers groß ist im Vergleich zu der Zeit der Änderung des Induktionsflusses, daß also das Galvanometer seine Ruhelage noch nicht merklich verlassen hat, wenn der Stromstoß vorüber ist. Bei den meisten Galvanometern läßt sich diese Bedingung durch Vergrößerung des Trägheitsmomentes des schwingenden Systems erreichen.

Zur Eichung des ballistischen Galvanometers stellt man sich am besten ein Kraftflußetalon in folgender einfacher Weise her. Nach Fig. 3 und Fig. 2 werden

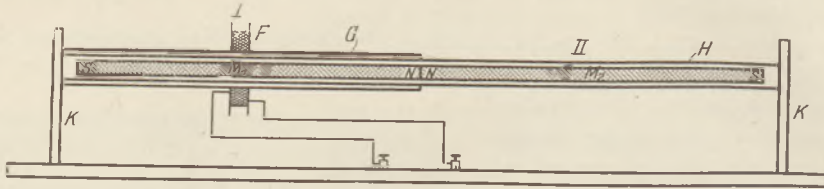


Fig. 3. $\frac{1}{2}$ n. Gr.

zwei gleiche, permanente Magnete M_1 und M_2 in ein Messingrohr H so eingesteckt, daß sie sich mit den gleichnamigen Polen berühren und in dieser Lage durch Messingstöpsel, die mit Bajonettverschluß und Spiralfedern versehen sind, festgehalten werden. Über das Messingrohr ist eine Spule F von der Windungszahl N' geschoben, die von der Mitte des einen Magneten (Stellung I) bis zur Mitte des anderen Magneten (Stellung II) verschoben werden kann, und zwar ist die Spule mit dem Messingrohr G fest verbunden. Das Messingrohr G läßt sich über dem Messingrohr H leicht verschieben. Es ist so lang gewählt, daß es beim Anschlagen gegen die Stützen K die Spule F gerade über die Mitte der Magneten bringt. Bezeichnet man mit Φ' den Induktionsfluß eines Magneten, so ändert sich bei der Verschiebung der Spule aus Stellung I in Stellung II der Induktionsfluß um $2\Phi'$. Dadurch entsteht im ballistischen Galvanometer ein Ausschlag a' , für den die Beziehung gilt:

$$\Delta\Phi' = 2\Phi' = \frac{(CR)}{N'} a'. \quad (7)$$

Es ist also das für die Eichung nötige Produkt (CR) :

$$CR = \frac{2\Phi' N'}{a'}. \quad (8)$$

Um den im folgenden beschriebenen Versuch durchführen zu können, war ein Induktionsnormal nötig, dessen Magneten eine Länge von 11,7 cm und einen Durchmesser von 0,55 cm besaßen. Φ' betrug nach einer Eichung mit einer Normale der gegenseitigen Induktion 1010 C.G.S.-Einheiten.

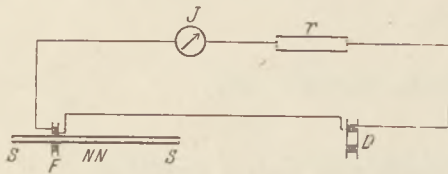


Fig. 4.

Die Spule D über dem Stabmagneten und die Spule F des Kraftflußetalons werden nach Fig. 4 mit dem ballistischen Galvanometer zu einem Stromkreis verbunden. Der Vorschaltwiderstand r wird so eingestellt, daß das

Galvanometer J eine geeignete Dämpfung erhält. Dieser Stromkreis ist während des Versuches ungeändert zu lassen. Im besonderen ist das Induktionsnormal nicht aus- oder verspätet einzuschalten, da sonst die Konstante des ballistischen Galvanometers geändert würde.

Durch Kombination der beiden Formeln 6) und 8) ergibt sich dann die der Verschiebung der Spule D entsprechende Kraftflußänderung aus der Beziehung

$$\Delta\Phi = \frac{2\Phi' \cdot N'}{N a'} \cdot a. \quad (9)$$

Will man an Stelle des Kraftflusses die Induktion \mathfrak{B} , d. h. den Kraftfluß pro Querschnittseinheit, einführen, so kann man die Beziehung

$$\text{oder} \quad \left. \begin{aligned} \mathfrak{B} &= \frac{\Phi}{q} \\ \Delta\mathfrak{B} &= \frac{\Delta\Phi}{q} \end{aligned} \right\} \quad 10)$$

in Gleichung 9) einsetzen. q ist in dieser Formel gleich dem Querschnitt des Eisenstabes.

Es ergibt sich:

$$\Delta\mathfrak{B} = \frac{2\Phi'N'}{qN\alpha'} \cdot \alpha. \quad 11)$$

Man sucht zunächst durch einen Vorversuch die neutrale Zone, d. h. die Stelle des Magneten, an der keine Kraftlinien austreten. Sie braucht keineswegs gerade in der Mitte des Magneten zu liegen. Bei dem im folgenden untersuchten Magneten liegt sie sogar erheblich nach der einen Seite verschoben. Das ist darauf zurückzuführen, daß der Magnet beim Härten nicht gleichmäßig genug erhitzt war. Mit Absicht ist hier ein nicht idealer Magnet gewählt, um an den Unregelmäßigkeiten die Brauchbarkeit der Methode zu erweisen.

Beim Aufsuchen der neutralen Zone verfährt man in der Weise, daß man die Spule D in der Nähe der Mitte des Magneten je um 1 cm so lange verschiebt, bis bei zwei aufeinanderfolgenden Verschiebungen in demselben Sinne der Ausschlag des Galvanometers seine Richtung wechselt. Die magnetische Mitte liegt dann an der Stelle, an welcher bei einer Verschiebung je um 1 cm von rechts und nach links die ballistischen Ausschläge gleich groß sind. In unserem Falle lag sie bei der Stellung 48, (die Stellung 50 entspricht der Mitte des Magneten) des parallel zum Magneten liegenden Meterstabes (siehe Fig. 2).

Bei den für den Hauptversuch nötigen Verschiebungen leisten die aus der Fig. 2 erkennbaren verstellbaren Anschläge gute Dienste. Es sind dies U-förmige Messingbügel, die mit einer Schraube an jeder gewünschten Stelle festgestellt werden können. Jeder von ihnen trägt unten einen Zeiger, der so gebogen ist, daß seine Spitze die Stellung der Spulenmitte anzeigt.

In der Tabelle I sind die Versuchsergebnisse zusammengestellt. Die zur Errechnung von $\Delta\mathfrak{B}$ nach der Formel 11) nötigen Werte waren:

$$\begin{aligned} \Phi' &= 1010 \text{ C.G.S.-Einheiten,} \\ N' &= 100 \text{ Windungen,} \\ q &= 2,11 \text{ cm}^2, \\ N &= 25 \text{ Windungen,} \\ \alpha' &= 15,44 \text{ cm.} \end{aligned}$$

Es ist also

$$\Delta\mathfrak{B} = 248 \cdot \alpha.$$

Das Diagramm der Fig. 5 gibt die graphische Beziehung zwischen den Verschiebungen der Spule und den Werten von $\Delta\mathfrak{B}$. Die Ordinaten entsprechen in dieser Figur den Änderungen der Zahl der im Eisen verlaufenden Kraftlinien. In der Nähe der Pole des Magneten sind diese Änderungen naturgemäß am größten.

Ein noch anschaulicheres Bild erhält man, wenn man die Figur so verändert, daß man zu den gleichen Abszissen den an jeder Stelle im Eisen verlaufenden Kraftfluß pro Querschnittseinheit selbst aufträgt. Er ist natürlich in der neutralen Zone am größten, und zwar gerade so groß, wie $\Delta\mathfrak{B}$ bei der Verschiebung von der neutralen Zone bis weit über das Ende des Magneten hinaus. Zieht man also in der Fig. 5 eine neue Abszisse in Höhe des größten $\Delta\mathfrak{B}$, zieht man also die Gerade RS , so entsprechen die von diesen Geraden nach unten bis zur Kurve gezogenen neuen Ordinaten y der an der entsprechenden Stelle im Eisen vorhandenen Induktionsliniendichte.

Von dem zu diesem Versuch benutzten Magneten wurde auch ein Kraftlinienbild (siehe Fig. 6) aufgenommen. Dieses Bild zeigt in Übereinstimmung mit der Kurve der Fig. 5, daß die neutrale Zone nach der einen Seite erheblich verschoben ist.

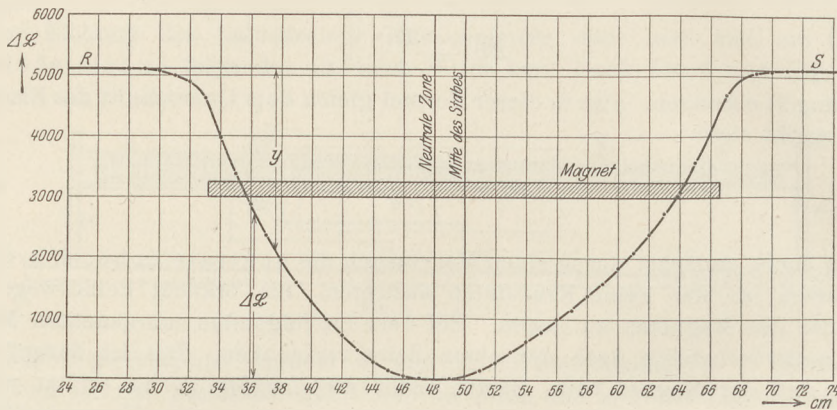


Fig. 5.

Will man weiter aus den erhaltenen Zahlen Werte ableiten, die der an jeder Stelle aus dem Magneten austretenden Kraftlinienzahl proportional sind, so kann man so verfahren, daß man von zwei in der Tabelle aufeinanderfolgenden ΔB die Differenz nimmt. Diese neuen Werte, die wir mit δB bezeichnen, entsprechen der

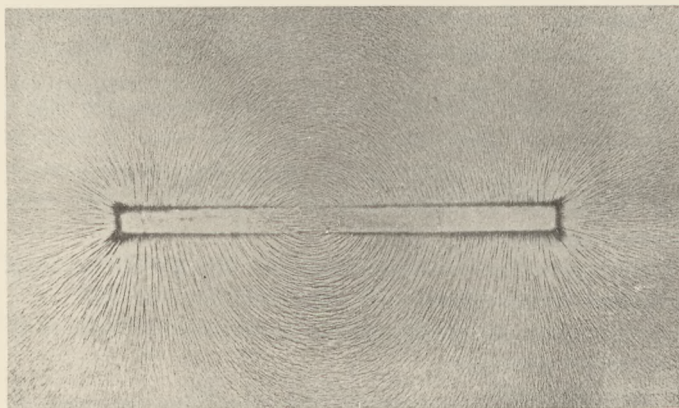


Fig. 6.

austretenden Kraftlinienzahl nur angenähert, da man sie aus einer endlichen Verschiebung ableitet. Da ferner die einzelnen Werte der ΔB mit Fehlern behaftet sind, so werden die δB relativ ungenau. Will man dies vermeiden, so kann man aus dem glatten Kurvenverlauf bessere Werte gewinnen, indem man an verschiedene Stellen der ΔB -Kurve Tangenten legt. Die Tangenten

der Winkel, den sie mit der Abszissenachse bilden, sind dann ein Maß für die an jeder Stelle austretende Kraftlinienzahl.

Hinsichtlich der Genauigkeit der durch Differenznehmen erhaltenen δB -Werte ist folgendes wichtig: Die Werte für δB sind nur relativ klein im Vergleich zu den im Versuch direkt gemessenen ΔB . Während demnach die Kurve der ΔB einen sehr glatten Verlauf zeigt und sich jeder Punkt der Kurve einfügt, fallen in der δB -Kurve die einzelnen Werte zum Teil beträchtlich aus dem wahren Kurvenverlauf heraus. Werte größerer Genauigkeit erhält man, wenn man, wenigstens an den Stellen, an denen die ΔB -Kurve eine nicht zu starke Krümmung besitzt, die Differenzen, die wir dann mit $\delta B'$ bezeichnen wollen, immer über 2 cm erstreckt.

In dem Diagramm der Fig. 7 sind die Werte von δB an den Stellen starker Krümmung und die Werte von $\frac{\delta B'}{2}$ an den Stellen schwacher Krümmung eingetragen. Die Kurve zeigt, daß entsprechend der Unsymmetrie des untersuchten Magneten die

Ordinaten der kürzeren Magnethälfte durchweg größer sind als die der längeren. Besonders interessant ist das Maximum zwischen 52 und 54 der Abszissenskala, das, wie mehrere kontrollierende Versuche zeigten, tatsächlich vorhanden ist und wohl auf einer besonderen Inhomogenität des Magneten an dieser Stelle zurückzuführen ist.

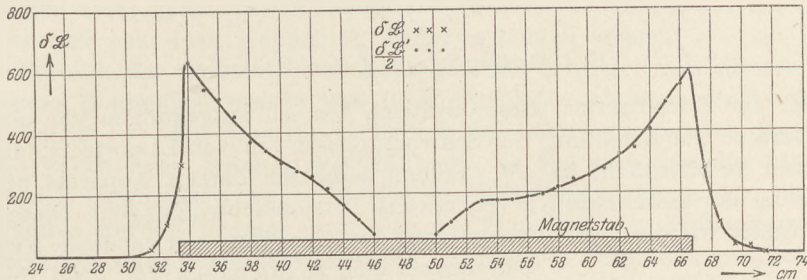


Fig. 7.

Tabelle.

Verschiebungen cm	Aus- schlag cm	ΔB C.G.S.- Einheiten	δB C.G.S.- Einheiten	$\frac{\delta B'}{2}$ C.G.S.- Einheiten	Verschiebungen cm	Aus- schlag cm	ΔB C.G.S.- Einheiten	δB C.G.S.- Einheiten	$\frac{\delta B'}{2}$ C.G.S.- Einheiten
48-47	0,06	14,9	—	—	48-49	0,09	22,3	—	—
48-46	0,275	68,2	—	66,96	50	0,25	62,0	—	64,5
45	0,60	148,8	—	107,15	51	0,61	151	—	106
44	1,14	282,5	—	163,6	52	1,11	275	—	147
43	1,92	476,0	—	218,3	53	1,80	446	—	173
42	2,90	719,0	—	258	54	2,51	622	—	173
41	4,00	992	—	275	55	3,19	792	—	178
40	5,12	1270	—	310	56	3,95	980	—	186
39	6,50	1620	—	345	57	4,70	1165	—	192
38	7,90	1960	—	372	58	5,50	1365	—	218
37	9,50	2355	—	455	59	6,46	1600	—	245
36	11,58	2870	—	517	60	7,48	1855	—	253
35	13,7	3390	—	545	61	8,50	2108	—	277
34	15,9	3960	—	635	62	9,72	2410	—	326
33	18,8	4660	—	—	63	11,1	2760	—	345
32	20,0	4960	300	—	64	12,5	3100	—	405
31	20,4	5060	100	—	65	14,4	3570	—	495
30	20,5	5085	25	—	66	16,5	4090	—	555
29	20,6	5110	25	—	67	18,88	4680	—	—
28	20,6	5110	0	—	68	20,0	4960	280	—
					69	20,7	5060	100	—
					70	20,5	5085	25	—
					71	20,6	5110	25	—
					72	20,6	5110	0	—

Der in den obigen Zeilen beschriebene Versuch hat sich als Praktikumsaufgabe in dem unterzeichneten Laboratorium durchaus bewährt. Der Vergleich der erhaltenen Kurven mit einem leicht herzustellenden Eisenfeilicht-Kraftlinienbild gibt dem Studierenden ein überaus anschauliches Bild von dem Kraftlinienverlauf in und um einen Stabmagneten.

Herrn Prof. Dr. G. Brion bin ich für die Anregung und die Bereitstellung der Mittel zur experimentellen Durchführung der Aufgabe zu großem Dank verpflichtet.

Physikalisches Laboratorium der Kgl. Sächs. Bergakademie Freiberg i. Sa.

Demonstrationsapparate für Schwingungen von Systemen mit zwei Freiheitsgraden und Theorie derselben¹⁾.

Erste Mitteilung.

Von

H. J. Oosting in den Helder, Holland.

1. Bei der Konstruktion dieser Systeme bin ich ausgegangen von einigen einfachen Apparaten zur Erhaltung der Schwingungskurven von Lissajous, die ich vor vielen Jahren veröffentlicht habe²⁾. Erstens habe ich damals Apparate beschrieben zur Erzeugung der genannten Kurven mittels Torsionsschwingungen. Diese Apparate sind eingerichtet wie die zwei Stimmgabeln, die Lissajous verwendete. Ferner habe ich damals eine Kombination von zwei Pendeln beschrieben, wobei das eine Pendel in dem anderen hängt, und die Achsen, worum die Pendel schwingen, senkrecht zueinander stehen. Dies ist ein System mit zwei Freiheitsgraden, aber ein System einfacher Art, da die eine Schwingung fast keinen Einfluß auf die andere hat.

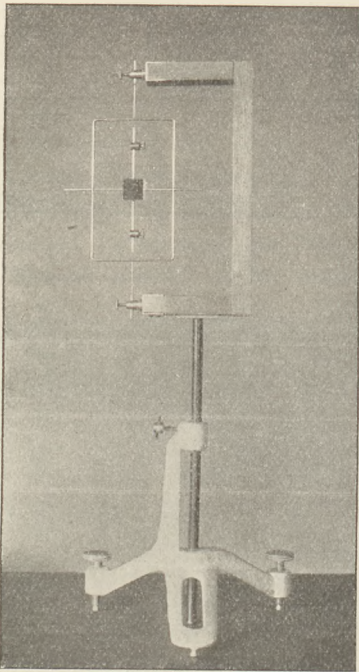


Fig. 1.

2. Ich habe jetzt einen Apparat konstruiert, der auf demselben Prinzip beruht wie der genannte Pendelapparat, wobei aber die Schwingungen unter der Wirkung der Schwere ersetzt sind durch Torsionsschwingungen. Der Apparat (Fig. 1) besteht aus einem rechteckigen Rahmen (14×8 cm) aus Metalldraht (Stricknadeln von 2,3 mm); in der Mitte der zwei kurzen horizontalen Seiten sind zwei dünne Stahldrähte (3,5 cm lang, 0,65 mm dick) angelötet, welche durch Klemmen an einem geeigneten Stativ befestigt sind. Im Inneren des Rechtecks sind die Mitten der langen Seiten verbunden durch einen dünnen Stahldraht, in dessen Mitte, senkrecht zu dem Stahldraht und parallel zu den langen Seiten des Rechtecks, ein Stück Stricknadel (12,8 cm) befestigt ist. Das ganze System kann nun um eine vertikale Achse, und das Stäbchen im Inneren des Rechtecks um eine horizontale Achse schwingen. In der Mitte des

Stäbchens ist ein quadratisches Messingstückchen angelötet und daran ein Spiegel geklebt, um die zusammengesetzte Schwingung zu demonstrieren. In der Mitte der vertikalen Seiten des Rechtecks sind noch horizontale Stricknadelstücke festgelötet, um das Rechteck mit Laufgewichten beschweren zu können. Die Dimensionen der Teile sind derart, daß ohne Belastung des Rechtecks und des Stäbchens die Schwingungszeiten sich verhalten wie 2:1. Durch Belastung des Stäbchens oder des Rahmens oder beider können leicht die Verhältnisse 1:1, 3:2, 4:3 und 3:1 erhalten werden. So ist z. B. in Fig. 1 das Stäbchen belastet mit zwei Massen von etwa 4 Gramm, und in diesem Falle gibt der Apparat eine Ellipse. Eine besondere Erscheinung ist wahr-

¹⁾ Die beschriebenen Versuche sind größtenteils vorgeführt in der physikalischen Sektion des „Nederlandsch Natuur en geneeskundig Congres“ am 29. März 1913.

²⁾ Wiedem. Ann. **33**, S. 415, 1888; Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. **8**, S. 190, 1895 und **11**, S. 221, 1898.

zunehmen, wenn die beiden Schwingungszeiten so gut wie möglich gleich gemacht sind. Dann zeigt sich bei der Ellipse eine periodische Abnahme und Zunahme der Amplituden, also Schwebungen. Dies muß von einer Rückwirkung der einen Schwingung auf die andere herrühren, welche ich bei anderen Apparaten ausführlich behandeln werde. Die Ursache hiervon ist wahrscheinlich darin zu suchen, daß die beiden Schwingungen nicht genau in zueinander senkrechten Richtungen geschehen, wodurch eine, sei es auch sehr lose, Koppelung zwischen beiden entsteht.

Die Vorteile des beschriebenen Apparates im Vergleich mit älteren Apparaten sind: a) seine Einfachheit sowohl was die Konstruktion als auch die Ausführung der Versuche betrifft; b) daß dasselbe Verhältnis der Schwingungszeiten leicht mit verschiedenen Belastungen erhalten werden kann, so daß man schnelle oder langsame Schwingungen kombinieren kann; c) daß die Trägheitsmomente der verschiedenen Teile gefunden werden können, und also das Verhältnis der Schwingungszeiten berechnet und mit dem bei einem Versuche gefundenen Verhältnis verglichen werden kann. Die Längen der beiden Stahldrähte, um die der rechteckige Rahmen schwingt, sind zusammen der Länge des freien Teiles des horizontalen Drahtes, um den das Stäbchen schwingt, gleich, so daß die beiden Schwingungszeiten sich verhalten wie die Quadratwurzel des Trägheitsmomentes des ganzen Systems in bezug zur vertikalen Achse, und die Quadratwurzel des Trägheitsmomentes des Stäbchens (mit Messingstück und Spiegel und eventuell Belastung) in bezug zur horizontalen Achse.

Wie gesagt gibt der Apparat unbelastet das Verhältnis 2:1 der Schwingungszeiten. Um die Trägheitsmomente berechnen zu können, ist erstens von der verwendeten Stricknadel ein Stück gemessen und gewogen, wodurch die Masse pro cm bekannt ist. Die verschiedenen Teile des Rahmens, das quadratische Messingstück und der Spiegel sind mit einer Schublehre gemessen, das Messingstück und der Spiegel sind gewogen, bevor sie an dem Apparat angebracht sind. Gefunden wurde:

Trägheitsmoment des ganzen Systems in bezug zur vertikalen Achse 226,3 gm².

Trägheitsmoment des Stäbchens mit Zubehör in bezug zur horizontalen Achse 53,6 gm².

Also ist das Verhältnis beider $\frac{226,3}{53,6} = 4,22$ und dies gibt für das Verhältnis der Schwingungszeiten 2,05.

Bei genauer Übereinstimmung mit dem Versuch müßte dieses Verhältnis 2 sein. Bei der Beurteilung des Resultates muß aber nicht aus dem Auge verloren werden, daß der Apparat als Demonstrationsapparat entworfen und konstruiert ist. Der Rahmen ist natürlich kein vollkommenes Rechteck. Bei den Lötstellen des dünnen Stahldrähtes ist nicht überall genau der Anfang des Drahtes anzugeben, und die Länge ist dadurch nicht genau zu bestimmen. Und dann ist angenommen, daß bei allen Stücken des dünnen Stahldrähtes der Torsionsmodul denselben Wert hat, was infolge der Bearbeitung natürlich nicht der Fall ist.

3. Weiter habe ich verschiedene Systeme konstruiert, deren Theorie weniger einfach ist, die aber vielleicht von mehr Bedeutung sind, weil ihre Theorie nahe verwandt ist mit der Theorie der gekoppelten Systeme der drahtlosen Telegraphie. Erstens werde ich einige Systeme behandeln, bestehend aus zwei Körpern, die an einem dünnen gespannten Stahldracht (Dicke immer 0,65 mm) angebracht sind, und deren Ende festgemacht sind. Diese Apparate zerfallen in zwei Gruppen. Die Apparate der ersten Gruppe sind analog wie der beschriebene neue Apparat für die Lissajous-schen Kurven konstruiert. Der Unterschied besteht darin, daß jetzt der Stahldracht im Inneren des rechteckigen Rahmens mit den zwei Stücken außerhalb des Rahmens ein durchlaufendes Ganzes bildet. Der rechteckige Rahmen und das in der Mitte des Rahmens liegende Stäbchen sind jetzt zwei Körper, welche um dieselbe Achse schwingen. Wird einem der Körper eine Abweichung gegeben, so bekommen beide

eine Bewegung, die aus zwei einfachen Schwingungen besteht. Wie beim Doppelpendel³⁾ kann man bei diesen Apparaten die Theorie mittels den Gleichungen von Lagrange aufstellen. Ich werde einen einfacheren Weg einschlagen.

In Fig. 2 ist der dünne Stahldraht, um den die Torsionsschwingungen stattfinden, wie bei den ausgeführten Apparaten horizontal gezeichnet. Den rechteckigen Rahmen, wonötig mit Massen belastet, nennen wir A , das Stäbchen mit Zubehör B , und es sei θ_1 das Trägheitsmoment des Rahmens mit Zubehör in bezug auf die Achse, θ_2 dasselbe

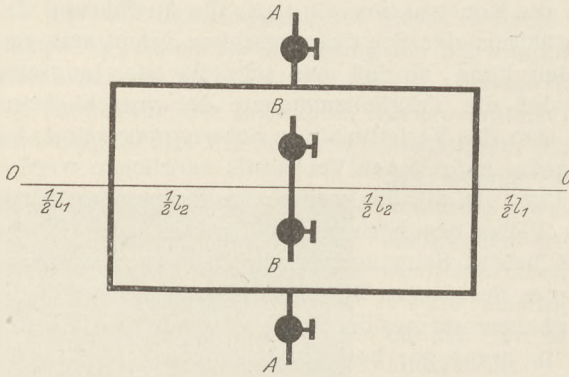


Fig. 2.

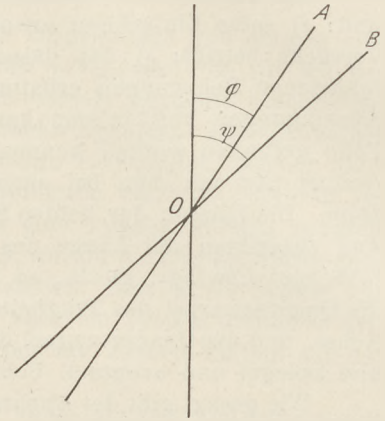


Fig. 3.

für das Stäbchen. Als Koordinaten nehmen wir die Winkel φ und ψ gegen die vertikale Ruhelage (Fig. 3). Es sei l_1 die Summe der Längen des dünnen Stahldrahtes außerhalb des Rahmens, l_2 die Länge des freien Teiles des Stahldrahtes innerhalb des Rechteckes. Gibt man dem Rahmen eine Abweichung φ , so werden die Stahldrähte außerhalb des Rahmens tordiert, und es entsteht ein Torsionsmoment $4\alpha\varphi/l_1$, worin α für den Stahldraht eine Konstante ist. Bei der Ablenkung ψ von B aus der vertikalen Lage entsteht ein Torsionsmoment $4\alpha(\psi - \varphi)/l_2$. Wird die Dämpfung außer Betracht gelassen, so sind die Bewegungsgleichungen

$$\begin{aligned}\theta_1 \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + \frac{4\alpha}{l_1} \varphi - \frac{4\alpha}{l_2} (\psi - \varphi) &= 0, \\ \theta_2 \frac{d^2 \psi}{dt^2} + \frac{4\alpha}{l_2} (\psi - \varphi) &= 0\end{aligned}$$

oder, indem wir $4\alpha/l_1 = a$ und $4\alpha/l_2 = b$ setzen, wobei a und b die Torsionsmomente bei der Einheit des Torsionswinkels sind,

$$\theta_1 \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + (a + b) \varphi - b \psi = 0, \quad 1)$$

$$\theta_2 \frac{d^2 \psi}{dt^2} + b \psi - b \varphi = 0. \quad 2)$$

Diese Gleichungen können in bekannter Weise behandelt werden. Lösen wir ψ aus der ersten Gleichung und setzen den gefundenen Wert in die zweite Gleichung ein, so erhalten wir die Differentialgleichung vierter Ordnung

$$\frac{d^4 \varphi}{dt^4} + \left(\frac{a+b}{\theta_1} + \frac{b}{\theta_2} \right) \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + \frac{ab}{\theta_1 \theta_2} \varphi = 0. \quad 3)$$

Durch Lösung von φ aus 2) und Substitution des gefundenen Wertes in 1) erhält man dieselbe Gleichung für ψ .

³⁾ In der dritten Mitteilung werde ich das Doppelpendel behandeln.

Dieser Gleichung wird genügt durch einen Ausdruck von der Form

$$\varphi = A \sin \omega_1 t + B \cos \omega_1 t + C \sin \omega_2 t + D \cos \omega_2 t$$

und für ψ gilt ein ähnlicher Ausdruck mit anderen Koeffizienten,

$$\psi = p(A \sin \omega_1 t + B \cos \omega_1 t) + q(C \sin \omega_2 t + D \cos \omega_2 t).$$

Die Bewegungen des Rahmens A und des Stäbchens B sind also zusammengesetzt aus zwei einfachen Schwingungen. Weiter finden wir für die Frequenz in 2π Sekunden (Kreisfrequenz)

$$\omega^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{a+b}{\theta_1} + \frac{b}{\theta_2} \right) \pm \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{a+b}{\theta_1} + \frac{b}{\theta_2} \right)^2 - \frac{4ab}{\theta_1\theta_2}} \quad 4)$$

und die Schwingungszeiten der beiden einfachen Schwingungen sind

$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} \quad \text{und} \quad T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2}.$$

4. An erster Stelle habe ich einen Apparat (Fig. 5) anfertigen lassen, wobei $l_1 = l_2$ ist und also $a = b$, und habe untersucht, ob einfache Verhältnisse der Schwingungszeiten der beiden einfachen Schwingungen möglich sind, um diese demonstrieren zu können. Für 4) schreiben wir

$$\omega^2 = \frac{b}{2\theta_2} \left\{ 1 + \frac{\theta_2}{\theta_1} + \frac{a\theta_2}{b\theta_1} \right\} \pm \sqrt{\left(1 + \frac{\theta_2}{\theta_1} + \frac{a\theta_2}{b\theta_1} \right)^2 - 4 \frac{a\theta_2}{b\theta_1}}, \quad 5)$$

so daß

$$\frac{\omega_1^2}{\omega_2^2} = \frac{1 + \frac{\theta_2}{\theta_1} + \frac{a\theta_2}{b\theta_1} + \sqrt{\left(1 + \frac{\theta_2}{\theta_1} + \frac{a\theta_2}{b\theta_1} \right)^2 - 4 \frac{a\theta_2}{b\theta_1}}}{1 + \frac{\theta_2}{\theta_1} + \frac{a\theta_2}{b\theta_1} - \sqrt{\left(1 + \frac{\theta_2}{\theta_1} + \frac{a\theta_2}{b\theta_1} \right)^2 - 4 \frac{a\theta_2}{b\theta_1}}}. \quad 6)$$

Setzen wir $\theta_2/\theta_1 = x$ und $\omega_1/\omega_2 = z$, so bekommen wir für den Apparat, wobei $a = b$ ist

$$z^2 = \frac{1 + 2x + \sqrt{1 + 4x^2}}{1 + 2x - \sqrt{1 + 4x^2}} = \left(\frac{1 + 2x + \sqrt{1 + 4x^2}}{2x} \right)^2 \quad 7)$$

und also

$$z = \frac{1 + 2x + \sqrt{1 + 4x^2}}{2\sqrt{x}}. \quad 8)$$

Man findet hieraus, daß z einen Minimumwert⁴⁾ hat für $x = \frac{1}{2}$ und daß

$$z_{\min} = 1 + \sqrt{2} = 2,414.$$

Die kleinste ganze Zahl für das Verhältnis $z = \omega_1/\omega_2$ ist also bei diesem Apparat 3. In Übereinstimmung hiermit liefert die Gleichung 7) für $z = 2$ einen imaginären Wert von x . Setzen wir $z = 3$, so bekommen wir

$$\frac{1 + 2x + \sqrt{1 + 4x^2}}{1 + 2x - \sqrt{1 + 4x^2}} = 9,$$

woraus wir finden

$$x = \frac{8}{9} \pm \frac{5}{18} \sqrt{7} \quad \text{oder} \quad x = 1,624 \quad \text{und} \quad 0,154.$$

Es sind also bei diesem Apparat zwei Verhältnisse der Trägheitsmomente möglich, wobei die Schwingungszeiten der einfachen Schwingungen sich verhalten wie 1:3.

5. Um zu untersuchen wie ein Apparat konstruiert werden soll, um das Verhältnis $\omega_1/\omega_2 = 2$ oder für die Schwingungszeiten das Verhältnis 1:2 bekommen zu

⁴⁾ Die Bedeutung dieses Minimumwertes wird in §10 behandelt.

können, setzen wir in die Formel 6) wieder $\theta_2/\theta_1 = x$ aber $a\theta_2/b\theta_1 = y$, so daß sie wird

$$z^2 = \frac{1+x+y+\sqrt{(1+x+y)^2-4y}}{1+x+y-\sqrt{(1+x+y)^2-4y}} \quad 9)$$

Für $z = 2$ finden wir hieraus

$$y = \frac{17-8x}{8} \pm \frac{5}{8} \sqrt{9-16x},$$

y bekommt also einen reellen Wert wenn x höchstens den Wert $\frac{9}{16} = 0,5625$ hat.

Für diesen Wert von x wird

$$y = \frac{a}{b} x = \frac{25}{16} \quad \text{und} \quad \frac{a}{b} = \frac{25}{9} = 2,78.$$

Um das Verhältnis $z = \omega_1/\omega_2 = 2$ bekommen zu können, muß also der Apparat so konstruiert werden, daß $a/b > 2,78$ ist. Nehmen wir $a/b = 3$, also $l_2 = 3l_1$. Die Formel 6) oder 9) wird für diesen Fall

$$z^2 = \frac{1+4x+\sqrt{1-4x+16x^2}}{1+4x-\sqrt{1-4x+16x^2}}.$$

Für $z = 2$ bekommen wir

$$x = \theta_2/\theta_1 = 0,560 \quad \text{und} \quad 0,112.$$

Mit demselben Apparat können wir nun auch das Verhältnis $z = 3$ bekommen. Dafür finden wir

$$x = \theta_2/\theta_1 = 1,54 \quad \text{und} \quad 0,0404.$$

Weiter finden wir bei diesem Apparate den kleinsten Wert von z für $x = 1/4$, wobei

$$z_{\min} = \sqrt{3} = 1,732.$$

Fig. 6 zeigt den Apparat, bei dem $a/b = 3$ sein sollte. Es zeigte sich aber, daß nicht genau $l_2 = 3l_1$ war, und also nicht genau $a/b = 3$. Als korrigierten Wert fand ich $a/b = 37/12$, womit wir erhalten

$$z^2 = \frac{1 + \frac{49}{12}x + \sqrt{1 - \frac{50}{12}x + \left(\frac{49}{12}\right)^2 x^2}}{1 + \frac{49}{12}x - \sqrt{1 - \frac{50}{12}x + \left(\frac{49}{12}\right)^2 x^2}}.$$

Für $z = 2$ bekommen wir jetzt

$$x = \theta_2/\theta_1 = 0,559 \quad \text{und} \quad 0,107.$$

Für $z = 3$

$$x = \theta_2/\theta_1 = 1,53 \quad \text{und} \quad 0,0393.$$

6. Die zwei beschriebenen Apparate Fig. 5 und 6 sind ausgeführt wie der neue Apparat für die Lissajousschen Kurven, derselbe dünne Stahldraht und dieselbe Sorte von Stricknadeln sind verwendet. Beide Apparate haben zwei Spiegel. Der Spiegel des Stäbchens ist angebracht wie bei dem Apparat für die Lissajousschen Kurven, der zweite Spiegel ist an eine Seite des Rahmens geklebt ohne den dünnen Stahldraht zu berühren. Die Demonstration der zusammengesetzten Schwingung des Stäbchens oder des Rahmens geschieht in der gewöhnlichen Weise. Vor dem Kondensator der Laterne (vordere Linse abgenommen) wird eine Platte mit einer kleinen Öffnung aufgestellt, wovon mittels einer Linse ($f = 50$ cm) ein Bild auf dem Projektionsschirm entworfen wird. Der Apparat wird so gestellt, daß das Licht von einem der Spiegel aufgefangen, reflektiert und nach einem um eine vertikale Achse drehbaren Spiegelapparate mit mehreren Spiegeln und von da auf den Schirm

geworfen wird. Um das gewünschte Verhältnis der Schwingungszeiten der beiden einfachen Schwingungen zu erhalten, wird der Rahmen oder das Stäbchen, oder werden beide belastet und die Belastung wird so lange verstellt bis die Schwingungsfigur konstant ist, d. h. bis der Phasenunterschied der beiden einfachen Schwingungen sich nicht mehr ändert. Steht der drehbare Spiegelapparat still, so sieht man auf dem Schirm eine vertikale Lichtlinie, wovon Teile heller sind. Wird z. B. die Kurve Fig. 4 bei Rotation des Spiegelapparates hervorgerufen, so sind bei ruhendem Spiegel der obere und der untere Teil der Lichtlinie heller als der mittlere Teil, und wenn das einfache Verhältnis der Schwingungszeiten genau getroffen ist, bleiben die hellen Teile an ihrer Stelle und wandern nicht über die Lichtlinie hin und her. Welcher Phasenunterschied besteht und welche Amplituden die beiden einfachen Schwingungen haben, hängt von den Anfangsbedingungen ab, d. h. von der Weise wie der Rahmen und das Stäbchen in Schwingung versetzt sind. Empfehlenswert ist es, statt einer Platte mit einer kleinen runden Öffnung, eine mit zwei solchen Öffnungen (Abstand 3 cm) zu verwenden. Man kann dann zu gleicher Zeit Lichtbündel auf die beiden Spiegelchen des Schwingungsapparates werfen, und, wenn der drehbare Spiegelapparat still steht, die beiden nebeneinander auf dem Schirm gebildeten Lichtlinien zu gleicher Zeit betrachten. Will man den Spiegelapparat drehen, so kann leicht das eine Lichtbündel abgeblendet werden.

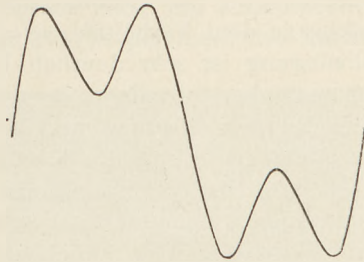


Fig. 4.

7. Apparat $a = b$, Fig. 5. Dieser Apparat hat einen quadratischen Rahmen mit einer Seitenlänge von rund 8 cm, das Stäbchen ist 7 cm lang. Die beiden Stückchen des Stahldrahtes außerhalb des Rahmens und die beiden freien Teile des Drahtes innerhalb des Rechteckes sind sämtlich 3,46 cm lang. Die Trägheitsmomente des Rahmens und des Stäbchens mit Zubehör sind bestimmt wie bei dem Apparate für die Lissajousschen Kurven. Die Lage der Gewichte in bezug zur Achse ist mit der Schublehre gemessen. Die verwendeten zylindrischen und kugelförmigen Gewichte sind als massive Zylinder oder Kugeln mit der durch Wägung samt den Klemmschrauben gefundenen Masse betrachtet. Die Trägheitsmomente sind ausgedrückt in gcm^2 . Gefunden wurde:

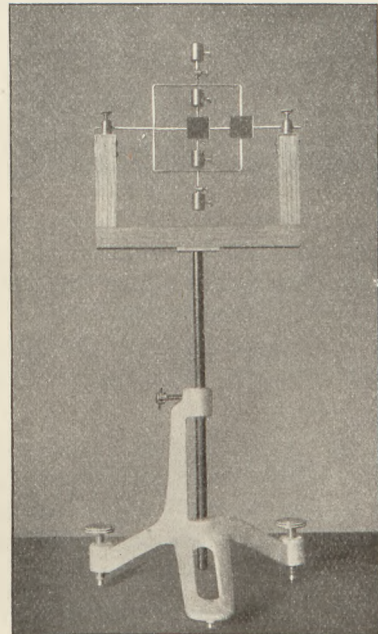


Fig. 5.

Trägheitsmoment des Rahmens mit den zwei Stücken für das Ankleben von bekannten Massen und mit dem Spiegel 177,6.

Trägheitsmoment des Stäbchens mit Messing und Spiegel 10,06.

Mit diesem Apparat habe ich 3 Versuche ausgeführt.

Versuch 1. Der Rahmen unbeschwert, $\theta_1 = 177,6$. Das Stäbchen beschwert mit zwei kleinen Massen, jede etwa 2 g, welche so gestellt sind, daß das Verhältnis $\omega_1/\omega_2 = 3$ auftritt. Trägheitsmoment dieser Belastung 16,1, also Trägheitsmoment des belasteten Stäbchens $\theta_2 = 26,2$, und

$$\frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{26,2}{177,6} = 0,148.$$

Gibt man im Beginn dem Rahmen eine Abweichung, so daß das Stäbchen dieselbe Abweichung erhält und läßt man es dann los, so bekommen beide Körper einfache Schwingungen mit gleicher Phase. Gibt man im Beginn den beiden Teilen verschiedene Ablenkungen, oder gibt man, indem beide gleich schwingen, einem der Körper mit dem Finger einen kurzen Stoß, so entsteht die zusammengesetzte Schwingung, in den verschiedenen Fällen mit verschiedenen Amplituden der beiden Komponenten und mit verschiedenen Phasenunterschieden, so daß man allerlei Kurven, welche zu dem Verhältnis $\omega_1/\omega_2 = 3$ gehören, erhalten kann. Die zusammengesetzte Schwingung ist sehr deutlich bei dem Stäbchen, bisweilen auch deutlich bei dem Rahmen, aber im allgemeinen ist die Amplitude der schnelleren einfachen Schwingung bei dem Rahmen nur klein. Diese Resultate stimmen damit überein, daß in der Gleichung für ψ die Koeffizienten p und q im allgemeinen verschiedene Werte haben, daß also die Amplituden der Schwingungsanteile von ψ in einem anderen Verhältnisse zueinander stehen als diejenige von φ .

Versuch 2. Das Stäbchen wird mit zwei zylindrischen Massen, jede etwa 16 g, belastet.

Trägheitsmoment dieser Belastung 273,4, totales Trägheitsmoment des Stäbchens mit Belastung $\theta_2 = 283,5$. Der Rahmen ist nur mit einer kleinen Kupferdrahtspirale belastet, deren Trägheitsmoment 2,38 ist.

Trägheitsmoment des belasteten Rahmens $\theta_1 = 180,0$, also

$$\frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{283,5}{180,0} = 1,58.$$

Die Massen sind so gestellt, daß das Verhältnis $\omega_1/\omega_2 = 3$ ist. Die genaue Regulierung ist mittels der Kupferdrahtspirale hergestellt. Denkt man sich in der Fig. 5 die Massen, womit der Rahmen belastet ist, weg, so hat man das Bild des Apparates bei diesem Versuch.

Durch die Versuche 1 und 2 ist das theoretische Resultat bestätigt, daß derselbe Wert des Verhältnisses ω_1/ω_2 bei zwei verschiedenen Werten von θ_2/θ_1 besteht. Im Gegensatz zu dem Versuch 1 ist aber jetzt die zusammengesetzte Schwingung bei dem Rahmen am deutlichsten.

Versuch 3. Die Belastung des Stäbchens ist geblieben wie bei dem Versuch 2, also $\theta_2 = 283,5$. Der Rahmen ist an jeder Seite belastet mit einer großen Masse (16 g) und einer kleinen (2 g) und an einer Seite noch mit der Kupferdrahtspirale.

Verhältnis $\omega_1/\omega_2 = 3$.

Trägheitsmoment der Belastung des Rahmens 1694,4, totales Trägheitsmoment des belasteten Rahmens $\theta_1 = 1872,0$.

$$\frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{283,5}{1872,0} = 0,151.$$

(Mit diesen Belastungen ist der Apparat photographiert in Fig. 5.)

Bei diesem Versuch haben wir denselben Fall wie bei Versuch 1. Jetzt ist die zusammengesetzte Schwingung wieder bei dem inneren Körper am deutlichsten.

Zusammenstellung der Resultate.

Nummer des Versuches	ω_1/ω_2	θ_1	θ_2	θ_2/θ_1	
				bei dem Versuch	nach der Theorie
1	3	177,6	26,2	0,148	0,154
2	3	180,0	283,5	1,58	1,624
3	3	1872,0	283,5	0,151	0,154

8. Apparat $a/b = 37/12$, Fig. 6. Lange Seite des rechteckigen Rahmens 18 cm, kurze Seite 8 cm; Länge des Stäbchens 7 cm. Die Längen der Teile des Stahldrahtes

außerhalb des Rahmens sind 2,34 und 2,45 cm, und für die äquivalente Länge, wenn beide gleich wären, findet man 2,39 cm. Längen der freien Teile des Stahldrahtes innerhalb des Rechteckes 7,415 und 7,335 cm und die äquivalente Länge, wenn beide gleich wären, 7,37 cm. Also $\frac{a}{b} = \frac{7,37}{2,39}$, wofür ich gerechnet habe $\frac{74}{24} = \frac{37}{12}$.

Bei diesem Apparate zeigte sich, daß ohne jede Belastung das Verhältnis ω_1/ω_2 nahe = 3 war, und durch Bewicklung der einen kurzen Seite mit Kupferdraht ist dieses Verhältnis genau hergestellt. So fand ich das Trägheitsmoment des Rahmens mit dem Spiegel 271,9. Trägheitsmoment des Stäbchens mit Messingstück und Spiegel 9,97. Mit diesem Apparate sind 5 Versuche ausgeführt.

Versuch 1. Rahmen und Stäbchen unbelastet, Verhältnis $\omega_1/\omega_2 = 3$.

$$\theta_1 = 271,9, \quad \theta_2 = 9,97,$$

$$\frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{9,97}{271,9} = 0,0367.$$

Die zusammengesetzte Schwingung ist sehr gut bei dem inneren Körper, bei dem Rahmen ist die schnellere Komponente nicht oder fast nicht wahrnehmbar.

Versuch 2. Verhältnis $\omega_1/\omega_2 = 3$. Rahmen belastet mit zwei Massen von 15 g. Trägheitsmoment dieser Belastung 1070,7, Trägheitsmoment des belasteten Rahmens $\theta_1 = 1342,6$. Stäbchen belastet mit zwei Massen von 2 g. Trägheitsmoment dieser Belastung 39,1, Trägheitsmoment des belasteten Stäbchens $\theta_2 = 49,1$.

$$\frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{49,1}{1342,6} = 0,0366.$$

Wir haben hier mit anderen Trägheitsmomenten denselben Fall als bei Versuch 1. Das Verhältnis der Trägheitsmomente der Belastungen muß also denselben Wert haben als θ_2/θ_1 . Wir finden für die Belastungen

$$\frac{39,1}{1070,7} = 0,0365.$$

Wie bei Versuch 1 ist auch nun die zusammengesetzte Schwingung nur deutlich bei dem inneren Körper.

Versuch 3. Verhältnis $\omega_1/\omega_2 = 3^5$, Rahmen unbelastet, $\theta_1 = 271,9$.

Jedes Ende des Stäbchens ist belastet mit zwei Massen, eine von 15 g am Ende und eine von 8 g mehr nach der Mitte. Trägheitsmoment dieser Belastung 389,2, Trägheitsmoment des belasteten Stäbchens $\theta_2 = 399,1$.

$$\frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{399,1}{271,9} = 1,47.$$

Hierdurch ist wieder derselbe Wert des Verhältnisses ω_1/ω_2 bei einem anderen Werte von θ_2/θ_1 gefunden. Die zusammengesetzte Schwingung ist jetzt nur bei dem Rahmen deutlich.

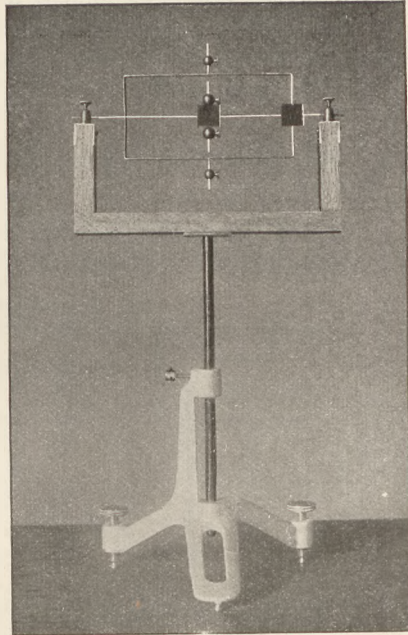


Fig. 6.

⁵⁾ Bei diesem Versuch war das Verhältnis nicht genau 3. Die Kurve änderte sich noch während der Schwingung, aber äußerst langsam.

Versuch 4. Verhältnis $\omega_1/\omega_2 = 2$, Rahmen unbelastet, $\theta_1 = 271,9$.

Jedes Ende des Stäbchens belastet mit 8 g. Trägheitsmoment dieser Belastung 140,1, Trägheitsmoment des belasteten Stäbchens $\theta_2 = 150,1$

$$\frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{150,1}{271,9} = 0,552.$$

Die zusammengesetzte Schwingung ist nur bei dem Rahmen schön.

Versuch 5. Verhältnis $\omega_1/\omega_2 = 2$.

Der Rahmen ist an jeder Seite beschwert mit 5 g. Trägheitsmoment dieser Belastung 288,9, Trägheitsmoment des belasteten Rahmens $\theta_1 = 560,8$.

Das Stäbchen ist belastet mit zwei Massen, jede von 8 g. Trägheitsmoment dieser Belastung 46,8, Trägheitsmoment des belasteten Stäbchens 56,8.

$$\frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{56,8}{560,8} = 0,101.$$

(Mit diesen Belastungen ist der Apparat photographiert in Fig. 6.) Die zusammengesetzte Schwingung ist bei diesem Versuch am deutlichsten bei dem inneren Körper.

Durch die Versuche 4 und 5 ist also bei diesem Apparate auch für das Verhältnis $\omega_1/\omega_2 = 2$ bestätigt, daß es bei zwei Werten von θ_2/θ_1 auftritt.

Zusammenstellung der Resultate.

Nummer des Versuches	ω_1/ω_2	θ_1	θ_2	θ_2/θ_1	
				bei dem Versuch	nach der Theorie
1	3	271,9	9,97	0,0367	0,0393
2	3	1342,6	49,1	0,0366	0,0393
3	3	271,9	399,1	1,47	1,526
4	2	271,9	150,1	0,552	0,559
5	2	560,8	56,8	0,101	0,107

Beachtet man, was ich am Schluß des § 2 bei dem Apparate für die Lissajouschen Kurven gesagt habe, so wird man von den Versuchen von § 8 und 9 sagen können, daß die gefundenen Werte in genügender Übereinstimmung sind mit den aus der Theorie abgeleiteten. Daß die Bestimmungen der Trägheitsmomente mit genügender Genauigkeit ausgeführt sind, meine ich im besonderen aus den Versuchen 1 und 2 der letzten Tabelle ableiten zu können, da die für gleiche Fälle dabei gefundenen Werte untereinander sehr gut übereinstimmen, und bei Versuch 2 das Verhältnis der Trägheitsmomente beim unbelasteten Apparat und das Verhältnis der Trägheitsmomente der Belastungen genau übereinstimmen.

10. Ich werde jetzt bei diesen neuen Apparaten die in § 3 abgeleiteten Gleichungen vergleichen mit analogen Gleichungen der allgemeinen Theorie von MAX WIEN von Systemen mit zwei Freiheitsgraden⁶⁾. Die Gleichungen 1) und 2) des § 3 stimmen überein mit den von WIEN (a. a. O. S. 155) gefundenen Gleichungen für Kraftkoppelung. Meine Gleichungen 1) und 2) lassen sich in die Form bringen

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + \frac{a+b}{\theta_1} q - \frac{b}{\theta_1} \psi = 0,$$

$$\frac{d^2 \psi}{dt^2} + \frac{b}{\theta_2} \psi - \frac{b}{\theta_2} q = 0,$$

oder

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + \frac{a+b}{\theta_1} q - \frac{b}{a+b} \frac{a+b}{\theta_1} \psi = 0,$$

$$\frac{d^2 \psi}{dt^2} + \frac{b}{\theta_2} \psi - \frac{b}{\theta_2} q = 0,$$

⁶⁾ Wied. Ann. 61, S. 151, 1897, M. Wien, Über die Rückwirkung eines resonierenden Systems.

während WIENS Gleichungen sind

$$\frac{d^2 x_1}{dt^2} + k_1^2 x_1 + \tau_1 k_1^2 x_2 = 0,$$

$$\frac{d^2 x_2}{dt^2} + k_2^2 x_2 + \tau_2 k_2^2 x_1 = 0,$$

wobei k_1 und k_2 die natürlichen Schwingungszahlen in 2π Sekunden sind und $\sqrt{\tau_1 \tau_2}$ der Koppelungskoeffizient ist⁷⁾. Bei meinen Apparaten ist also

$$k_1^2 = \frac{a+b}{\theta_1} \quad k_2^2 = \frac{b}{\theta_2}.$$

Für die Schwingungszeiten der beiden gekoppelten Systeme folgt hieraus für meine Apparate

$$2\pi \sqrt{\frac{\theta_1}{a+b}} \quad \text{und} \quad 2\pi \sqrt{\frac{\theta_2}{b}}$$

Der erste Wert ist die Schwingungszeit des Rahmens, wenn das Stäbchen festgehalten ist, der zweite Wert ist die Schwingungszeit des Stäbchens, wenn der Rahmen festgehalten ist.

In Übereinstimmung hiermit ist es, daß WIEN findet

$$\omega^2 = \frac{1}{2} \{k_1^2 + k_2^2 \pm \sqrt{(k_1^2 - k_2^2)^2 + 4k_1^2 k_2^2 \tau_1 \tau_2}\},$$

und meine Lösung 4) in die Form

$$\omega^2 = \frac{1}{2} \left\{ \frac{a+b}{\theta_1} + \frac{b}{\theta_2} \right\} \pm \sqrt{\left(\frac{a+b}{\theta_1} - \frac{b}{\theta_2} \right)^2 + 4 \frac{a+b}{\theta_1} \cdot \frac{b}{\theta_2} \cdot \frac{b}{a+b}}$$

gebracht werden kann.

Bei meinen Apparaten ist

$$\tau_1 = -\frac{b}{a+b}, \quad \tau_2 = -1,$$

$$\sqrt{\tau_1 \tau_2} = \sqrt{\frac{b}{a+b}} = \sqrt{\frac{1}{1+a/b}}.$$

Die Koppelung ist loser, wenn a/b größer ist. Für $a = b$ ist der Koppelungskoeffizient $\sqrt{\frac{1}{2}} = \frac{1}{2} \sqrt{2}$, für $a/b = 3$ ist er $\frac{1}{2}$.

Der Fall der Resonanz ($k_1 = k_2$) haben wir bei meinen Apparaten für

$$\frac{a+b}{\theta_1} = \frac{b}{\theta_2} \quad \text{oder} \quad \frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{b}{a+b},$$

woraus für den Resonanzfall folgt

$$\sqrt{\tau_1 \tau_2} = \sqrt{\frac{\theta_2}{\theta_1}}.$$

Für den Apparat, bei dem $a = b$ ist, erhalten wir im Resonanzfall $\theta_2/\theta_1 = 1/2$, und für einen Apparat, wobei $a/b = 3$ ist, wird dann $\theta_2/\theta_1 = 1/4$. Weiter finden wir im Resonanzfall

$$\omega^2 = \frac{a+b}{\theta_1} \left(1 \pm \sqrt{\frac{b}{a+b}} \right).$$

⁷⁾ Wien nannte damals τ_1 und τ_2 Koppelungskoeffizienten. In Übereinstimmung mit dem heutigen Gebrauch habe ich $\sqrt{\tau_1 \tau_2}$ so genannt.

Für $a = b$ wird

$$\omega^2 = \frac{2b}{\theta_1} \left(1 \pm \frac{1}{2} \sqrt{2}\right) = \frac{b}{\theta_2} \left(1 \pm \frac{1}{2} \sqrt{2}\right),$$

$$\frac{\omega_1^2}{\omega_2^2} = \frac{1 + \frac{1}{2} \sqrt{2}}{1 - \frac{1}{2} \sqrt{2}} = 3 + 2\sqrt{2},$$

$$z = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \sqrt{3 + 2\sqrt{2}} = 1 + \sqrt{2}.$$

Für $a = 3b$ wird

$$\omega^2 = \frac{4b}{\theta_1} \left(1 \pm \frac{1}{2}\right) = \frac{6b}{\theta_1} \quad \text{und} \quad \frac{2b}{\theta_1} \quad \text{oder} \quad \frac{3b}{2\theta_2} \quad \text{und} \quad \frac{b}{2\theta_2},$$

$$\frac{\omega_1^2}{\omega_2^2} = 3 \quad \text{und} \quad z = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \sqrt{3}.$$

Hieraus folgt, daß die in § 4 und § 5 gefundenen kleinsten Werte von $z = \omega_1/\omega_2$ eine einfache Bedeutung haben: der Fall des kleinsten Wertes von ω_1/ω_2 ist der Fall der Resonanz.

Aus dem Gefundenen folgt weiter, daß die Konstruktion der behandelten Apparate nicht geeignet ist, um langsame Schwebungen und die dabei auftretende Energieübertragung von dem einen Teilsystem auf das andere zu demonstrieren. Für diesen Zweck muß die Koppelung lose sein, also a/b groß. Die Teile des Stahldrahtes außerhalb des Rahmens müßten dazu im Vergleich zu der Länge innerhalb des Rahmens noch viel kürzer sein. Ich werde in einer zweiten Mitteilung zeigen, daß mit Torsionsschwingungen dieser Zweck in anderer Weise viel besser zu erreichen ist.

11. In GRIMSEHLS Lehrbuch der Physik, 2. Aufl., S. 494, Fig. 520 habe ich einen Apparat beschrieben gefunden, der mit meinen Apparaten Fig. 5 und 6 im Prinzip übereinstimmt. Dieser Apparat besteht aus einem Pendel, an dessen unteren Teil ein horizontaler Stahldraht parallel der Aufhängeachse des Pendels gespannt ist. Auf dem Stahldraht sitzt eine vertikale Stange, die mit Massen beschwert ist, und das Unterende dieser Stange zeichnet seine Bewegung auf einer Platte auf, die unter der Stange entlang verschoben wird. GRIMSEHL nimmt an, daß die Bewegung des Unterendes der Stange einfach die Zusammensetzung ist der Schwingungen des Pendels und der Torsionsschwingungen der Stange. Das ist nicht richtig. GRIMSEHLS Apparat ist, wie meine Apparate, ein System mit zwei Freiheitsgraden. Dieser Apparat hat mich aber veranlaßt, zu untersuchen, ob, sei es auch nur näherungsweise, die Schwingungen bei meinen Apparaten mit GRIMSEHLS Auffassung in Einklang stehen. Die Torsionsschwingungen bei GRIMSEHLS Apparat kommen überein mit den Schwingungen des Stäbchens bei meinen Apparaten, wenn der Rahmen feststeht, und die Schwingungszeit von GRIMSEHLS Pendel ist analog der Schwingungszeit meiner Apparate, wenn das Stäbchen fest mit dem Rahmen verbunden wäre. Die zwei Schwingungszeiten sind dann bei meinen Apparaten

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{\theta_2}{b}} \quad \text{und} \quad T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{\theta_1 + \theta_2}{a}}.$$

Bei meinem Apparat, wofür $a = b$ ist, finden wir dann

$$\frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\frac{\theta_2}{\theta_1 + \theta_2}}.$$

Für $\omega_1/\omega_2 = 3$ liefert dies

$$\frac{\theta_2}{\theta_1 + \theta_2} = \frac{1}{9} \quad \text{woraus folgt} \quad \frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{1}{8} = 0,125$$

während der eine Wert der richtigen Theorie 0,154 ist. Die große Differenz zeigt, daß GRIMSEHLS Auffassung hierbei nicht bestätigt wird.

Für den Fall, daß $a/b = 3$ ist, haben wir

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{\theta_2}{b}}, \quad T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{\theta_1 + \theta_2}{3b}}, \quad \frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\frac{3\theta_2}{\theta_1 + \theta_2}}.$$

Für $\omega_1/\omega_2 = 3$ gibt dies

$$\frac{\theta_2}{\theta_1 + \theta_2} = \frac{1}{27} \quad \text{und} \quad \frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{1}{26} = 0,0385,$$

was dem einen der richtigen Werte 0,0404 viel näher kommt.

Für $\omega_1/\omega_2 = 2$ wird

$$\frac{\theta_2}{\theta_1 + \theta_2} = \frac{1}{12} \quad \text{und} \quad \frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{1}{11} = 0,091,$$

während der eine richtige Wert 0,112 ist.

Bei dem ausgeführten Apparate für $a/b = 37/12$ finden wir in gleicher Weise für $\omega_1/\omega_2 = 3$

$$\frac{\theta_2}{\theta_1 + \theta_2} = \frac{12}{37} \times \frac{1}{9} = \frac{1}{27,75}, \quad \frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{1}{26,75} = 0,0374,$$

während einer der richtigen theoretischen Werte 0,0393 ist.

Für $\omega_1/\omega_2 = 2$ wird

$$\frac{\theta_2}{\theta_1 + \theta_2} = \frac{12}{37} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{12,33}, \quad \frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{1}{11,33} = 0,088,$$

während der eine richtige Wert 0,107 ist.

Bei diesem Apparate ist also GRIMSEHLS einfache Auffassung näherungsweise erfüllt, besonders für $\omega_1/\omega_2 = 3$. Läßt man den Umstand, daß man nicht die richtige Theorie geben kann, nicht schwer wiegen, so kann man einen Apparat bei dem a/b etwa = 3 ist, auch im elementaren Unterricht verwenden, und er ist dann dem GRIMSEHLSchen Apparate vorzuziehen, weil man die Kurve leicht und schön auf dem Schirme erhält. Besonders scheint mir aber der Apparat für den a/b etwa = 3 ist, geeignet zu Demonstrationen an Hochschulen bei der Behandlung der gekoppelten Systeme und der Kurven von Wechselstrommaschinen.

Physikalisches Laboratorium des Königl. Institutes für die Marine.

Eine Demonstrationseinrichtung für den Unterricht in der Himmelskunde.

Von

J. Thiede in Köslin.

Es ist eine anerkannte Forderung, daß den Rechnungen zur astronomischen Geographie in der Schule eine Kenntnis und ein Verständnis der zu sehenden Vorgänge am Himmel zugrunde liegen muß. Hierzu ist aber eine anhaltende Mitarbeit und Selbstbetätigung der Schüler nötig; und um ihr Interesse dafür zu wecken und lebendig zu erhalten, benutze ich eine Tafel, auf welcher der Äquator und die Ekliptik eingetragen sind und die jeweiligen Stellungen der Wandelgestirne durch kleine Scheibchen angegeben werden können. Die letzteren sind versetzbar und werden in regelmäßigen Zwischenräumen immer wieder in die neuen, der Wirklichkeit draußen entsprechenden Stellungen gebracht.

Die Übungen hieran sind für die Unterprima bestimmt; dabei ist jedoch vorausgesetzt, daß den Schülern während des Jahres in der Obersekunda die Sternbilder und die bedeutendsten Sterne unseres Sternhimmels sicher eingeübt sind. Und um dies zu erreichen, ist gar nicht ein so großer Zeitaufwand nötig, weil die Schüler dem Gegenstand ein großes Interesse entgegenbringen. Es wird ihnen immer in einer Stunde, innerhalb etwa 5—10 Minuten, während sie selbst ihre Sternkarte offen vor sich liegen haben, eine kleine Gruppe von Sternen, wie sie zurzeit gerade am Himmel am günstigsten zu beobachten sind, an die Wandtafel gezeichnet und das Charakteristische der Gruppe geschildert; die Schüler haben sich dann zu Hause das Bild auf Blättern so einzuüben, daß sie es in einer späteren Stunde selbst an die Tafel zeichnen können. Es ist nur ein paarmal in der ersten Zeit nötig — ich beginne dieses Gebiet erst im August —, mit ihnen abends hinauszugehen, um sie über die Orientierung auf dem Horizont, die Lage des Poles, des Äquators und, soweit es schon möglich ist, auch der Ekliptik zu unterweisen. Hierfür empfiehlt es sich aber, alle nötigen Begriffe vorher in der Klasse an geeigneten Apparaten zu entwickeln. Bald suchen die Schüler selbständig, in Spannung und mit Eifer, die in der Klasse neu vorgeführten Sternbilder am Himmel auf. Und es genügt dann später eine gelegentliche Teilnahme des Lehrers an den Beobachtungen draußen. — Hierbei haben die Schüler dann die beiden großartigen Vorgänge der scheinbaren Umdrehungen des Himmels, im Tage und im Jahre, für sich gleichsam entdeckt und zugleich auch schon das Wandern einzelner Gestirne, besonders des Mondes, gesehen.

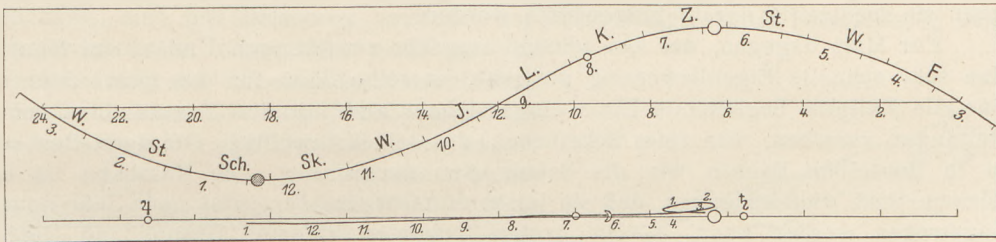
Für diese letzteren Vorgänge soll nun auf der neuen Stufe mit Hilfe jener besonderen Tafel einmal ein eindringenderes Verständnis erreicht, sodann soll damit aber vor allem auch womöglich ein Hineingewöhnen in ein Interesse für diese Vorgänge erzielt werden, die eine so erhebende Wirkung auf den Beschauer ausüben, die sich aber zumeist dem Auge nicht von selbst aufdrängen, sondern aufgesucht sein wollen. — Es wird ausgegangen von kurzen Übungen am Uranotrop, und dabei werden insbesondere die Jahresbahn der Sonne mit den vier charakteristischen Punkten, die Tag- und Nachtbögen der Sonne zu den verschiedenen Jahreszeiten anschaulich gemacht, bzw. die Kenntnisse hierüber aus dem geographischen Unterricht in Auffrischung gebracht.

Nun kann der Übergang zu der ebenen Figur auf der Tafel zweckmäßig in der Art vorgenommen werden, daß um die gläserne Himmelskugel des Apparates ein Zylinder mit dem Äquator als Berührungslinie gelegt und auf ihn die Ekliptik vom Zentrum aus projiziert gedacht wird. Und jetzt wird der Zylinder längs der erzeugenden Geraden durch den Frühlingspunkt aufgeschnitten und auf eine Ebene abgerollt. — In der entstandenen Figur sind auf meiner Tafel, die schwarz ist, im Anschluß an das benutzte Uranotrop, der Äquator in blauer, die Ekliptik in roter Farbe gezeichnet. — Es mag zweckmäßig sein, die Schüler darauf hinzuweisen, daß diese Darstellung in solchem Maße vergrößert gedacht werden kann, daß sie uns als ein geschlossenes Kreisband umgibt, und daß dabei das Gesamtbild vor uns sich beständig nach rechts (Westen), die einzelnen Wandelsterne darauf in ihrem Hauptlaufe nach links (Osten) verschieben müßten.

Auf der Ekliptik sind nun durch kurze Striche nach oben, von weißer Farbe, die 12 gleichen Teile der Ekliptik angegeben, welche die Sternbilder des Tierkreises — angenähert — enthalten, und durch ebensolche kurzen Striche nach unten die den Sonnenstellungen entsprechenden Monate des Jahres abgegrenzt und durch Zahlen bezeichnet. Wenn diese beiden Reihen der Marken auch nicht zusammenfallen, so kann man doch zusammenfassend sagen: die Sonne durchläuft in dem Vierteljahr April, Mai, Juni im wesentlichen die Sternbilder Fische, Widder, Stier; und es entsprechen weiter dem Juli, August, September die Sternbilder Zwillinge,

Krebs, Löwe; dem Oktober, November, Dezember die Bilder Jungfrau, Waage, Skorpion; dem Januar, Februar, März die Bilder Schütze, Steinbock, Wassermann. So sind die vier Quadranten der Ekliptik grundlegend gekennzeichnet.

Auf dieser Linie wird nun die Sonne durch eine blanke Zeichenpinne dargestellt, die alle zwei Wochen, immer am 21. und 6. des Monats, weitergerückt wird. Zugleich wird die der Sonne diametral gegenüberliegende Stelle des Himmels durch eine geschwärzte Zeichenpinne angegeben, womit diejenige Partie des Himmels, welche zu der gegebenen Zeit um Mitternacht kulminiert, bezeichnet ist. — Wenn die Schüler nach den Übungen in der Obersekunda mit den Namen der Sternbilder wirklich immer sogleich die Figur der damit zusammengefaßten Sterne zu verknüpfen vermögen, so bereitet ihnen diese neue Betrachtungsweise eine Freude, durch die sie immer von neuem zum Vergleiche mit der Wirklichkeit getrieben werden. —



Erst bei einem derartigen anhaltenden Betrachten des Himmels erkennen sie das tatsächliche Wandern der Sonne durch die Sternbilder des Tierkreises hindurch. Und nebenher möchte ich es hier zur Unterstützung für diese überaus wichtige Einsicht als empfehlenswert hinstellen, wenn man sie einige Male in monatigen Pausen auffordert, draußen zu suchen, welches Sternbild nach dem Untergang der Sonne über der Untergangsstelle erkennbar wurde. In der Beobachtung, daß dies immer ein neues ist, indem das vorige sich abwärts, der Sonne entgegengeschoben hat, liegt dann die Tatsache des Emporsteigens der Sonne unmittelbar enthalten.

Sind die Begriffe der Abweichung und der Geradaufsteigung eingeführt, und ist darauf hingewiesen, daß es gebräuchlich ist, die letztere nicht nach Graden, sondern nach Stunden anzugeben, wobei immer 30° auf 2 Stunden kommen, so lassen sich im Anschluß an die Feststellung jenes Gegenpunktes der Sonne — in der Figur kommen die Tage gegen Ende Juni zum Ausdruck — Fragen beantworten, wie: Welche Partie des Himmels kulminiert in der bezeichneten Zeit um 10, 9, 8 Uhr vor und welche um 2, 3, 4 Uhr nach Mitternacht? Welche Sterne erster Größe können in dieser Zeit der hellen Sommerabende um 10 Uhr sichtbar werden? Im welchem Monat kulminiert Fomalhaut um Mitternacht? In welchem Monat steht das Sternbild des Orion um 8 Uhr abends im Süden? Um wieviel Uhr ungefähr kulminiert Perseus im Oktober? Vorausgesetzt ist dabei, daß die Schüler den Anschluß der übrigen Sternbilder an den Zodiakus nordwärts und südwärts beherrschen.

Weiter ist auf der Ekliptik die jeweilige Stellung der Venus durch ein kleineres, (violett) gefärbtes, durch eine feine Pinne befestigtes Papierscheibchen dargestellt, das auch immer, mit der Sonnenmarke zugleich, weitergesetzt wird. Ihr beständiges Begleiten der Sonne, ihre wechselnde Sichtbarkeit als Abend- und als Morgenstern kommen so im Laufe der Zeit konkret zur Anschauung. — Daß bei diesen Übungen nun auch Merkur ebenso beständig verfolgt würde, ein derartiger Grad der Vollständigkeit ist, glaube ich, nicht nötig. Es mag seine Erwähnung bei dieser Gelegenheit genügen, — daß er mit einer geringeren Elongation einen schnelleren Wechsel der Sichtbarkeit abends und morgens besitzt und stets lichtschwach bleibt. Das schließt ja nicht aus, daß einmal auf eine besonders günstige Stellung von ihm

aufmerksam gemacht wird. Wirklichen Wert haben nur regelmäßig fortgesetzte Beobachtungen, wie sie sich bei Merkur wenig bequem durchführen lassen.

Als Grundlage für die Beobachtung der oberen Planeten und eine genauere Verfolgung des Mondumlaufes ist sodann auf derselben Tafel unten die Ekliptik noch einmal, aber als Gerade, entsprechend wie vorher der Äquator, dargestellt. Jupiter, der sich mit seinem jährlichen Umlauf von über 11 Jahren innerhalb eines Jahres nur immer im Umfange eines Sternbildes aufhält, und Saturn, der bei seinem 29jährigen Umlaufe erst recht sich jährlich immer nur in ganz kleinem Bereiche bewegt, brauchen mit ihren Scheibchen im Laufe des Jahres kaum verrückt zu werden, wenn ihre Bewegungsweise in dem Jahre einmal erörtert war. — Andererseits bieten aber gerade diese beiden Wandelsterne, besonders Jupiter, in solchen Jahren, wo sie an Winterabenden über dem Horizonte stehen, ein dankbares Objekt für eine andauernde Beobachtung, das einzelne gern mit Zeichnungen verfolgen, wenn sie rechtzeitig darauf hingewiesen werden.

Für Mars dagegen, der bei seinem ungefähr zweijährigen Umlauf am Himmel eine sehr schnelle Eigenbewegung aufweist, ist seine Bahn für das ganze Jahr als eine die Ekliptik begleitende Linie eingezeichnet und mit den Monatszahlen seiner Stellungen versehen. Ein rotes Scheibchen, das seinen jeweiligen Ort darstellen soll, ist in denselben Pausen wie die Sonne usw. umzusetzen. Die Marsbahn ist mit solchem Stoff wiederzugeben, daß sie leicht entfernt und für jedes neue Jahr anders eingetragen werden kann. — Die beiden äußersten Planeten Uranus und Neptun bedürfen in diesem Zusammenhange wegen ihrer nur teleskopischen Größe keiner Erörterung.

Auf dieser unteren Figur ist auch die Sonne noch einmal, wieder durch eine blanke Zeichenpinne, und jetzt auch der Mond durch eine teilweise geschwärzte zur Darstellung gebracht, welche letztere mit jedem neuen Viertel des synodischen Umlaufes verschoben werden muß. Nur in der ersten Zeit wird auch die Abweichung des Mondes mit berücksichtigt; bald kann das Versetzen seines Zeichens, einfach längs der Ekliptik selbst, regelmäßig von einem Schüler besorgt werden, so daß es nach den anfänglichen Erklärungen immer nur eines Wortes des Hinweises in der Unterrichtsstunde bedarf.

Verdient einmal ein Komet ein besonderes Interesse, so ist mit Hilfe dieser Tafel oder doch im Anschluß an sie sein Ort und seine Sichtbarkeit bequem zum Verständnis zu bringen.

Auf der Stufe der Oberprima ist den Schülern die Anschaffung der Koppeschen Tafeln für die Bahnen der beweglichen Gestirne zu empfehlen. Einzelne werden dieselben stets auch für die spätere Zeit beibehalten.

Die für die ganze Einrichtung von mir benutzte Tafel ist 30 cm hoch und 130 cm breit, so daß für die gerade Strecke, die den Äquator bzw. die Ekliptik bedeutet, 120 cm zur Benutzung kommen können. Die Krümmung der beiden Hälften der Ekliptik in der oberen Figur ist zur Hebung der Deutlichkeit für das aus dem Klassenraum her sehende Auge des Schülers ein wenig verstärkt gegeben, indem der Stelle der größten Abweichung eine Strecke gleich 30° des Äquators zugewiesen ist. Alle Namen sind mit nur einem Buchstaben wiedergegeben, damit das Sachliche möglichst ungestört und konkret dem Auge entgegentritt. Ich meine, dieser Grundsatz müßte auch auf den Sternkarten, die für Schüler bestimmt sind, durchgeführt sein. Die Tafel hängt dauernd, wie ein Wandschmuck, in der Klasse.

Köslin, Königliches Gymnasium.

Der Nachweis des 3. Newtonschen Gesetzes mit der Zeigerwage.

Von

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

Die Zeigerwage, die H. Hartl vor einer Reihe von Jahren in dieser Zeitschrift beschrieben und empfohlen hat¹⁾, hat sich als ein außerordentlich nützlich und vielseitig verwendbares Demonstrationsmittel erwiesen. Schon die erste Veröffentlichung enthielt eine ganze Reihe von Versuchen, die sich mit der in ihrer ersten Form sehr einfachen Vorrichtung in bequemer und anschaulicher Weise ausführen lassen. Als ganz besonders geeignet für diese und andere Aufgaben hat sich aber die Wage in der verbesserten Form bewährt, in der sie von W. Schmidt (Firma Ludwig Schmittgall, Gießen) ausgeführt wird²⁾; bei dieser Ausführung gewähren besonders die Möglichkeit, eine tote Belastung nach Art der Schnellwage durch Verschiebung des Gegengewichtes zu eliminieren und das Vorhandensein mehrerer voneinander verschiedener Meßbereiche, über die man jeweils nach den besonderen Zwecken verfügen kann, dem experi-



Fig. 1.

mentierenden Lehrer wesentliche Vorteile. Wer diesen bequemen und zuverlässigen Apparat richtig zu benutzen versteht, wird immer wieder

auf neue Verwendungsmöglichkeiten aufmerksam und sieht sich oft veranlaßt, ihn auch zu ferner liegenden Zwecken zu benutzen.

Heute möchte ich zeigen, daß und wie man mit der Zeigerwage den sogenannten Poggendorffschen Fallversuch in sehr anschaulicher und befriedigender Weise ausführen kann.

Es handelt sich bei diesem Versuch, den Poggendorff im Jahre 1854 angegeben hat³⁾, bekanntlich um die Bestätigung der Beziehung $m \cdot a = k$, d. h. in diesem Fall um den Nachweis, daß eine Masse m , der durch eine äußere Kraft k eine Beschleunigung a erteilt wird, dieser Kraft einen Widerstand, den Trägheitswiderstand, vom Betrag $m \cdot a$ entgegensetzt. Für diejenigen Leser, denen die Versuchsanordnung nicht gegenwärtig ist, möge an der Hand von Fig. 1 und 2 der Sachverhalt kurz zusammengefaßt werden⁴⁾.

Liegt eine Masse m auf einer ruhenden Unterlage, so übt sie auf dieselbe, wenn g die Beschleunigung der Schwere bedeutet, den Druck $m \cdot g$ aus, weil sie durch die Unterlage am Fallen gehindert wird; sinkt die Unterlage mit einer Beschleunigung γ , so ist der von m ausgeübte Druck nur noch $m \cdot (g - \gamma)$; fällt die Unterlage nebst der Masse mit der Beschleunigung des freien Falles, so ist der Druck der Masse gleich Null. Erhält umgekehrt die Unterlage eine Beschleunigung γ nach oben, so ist der

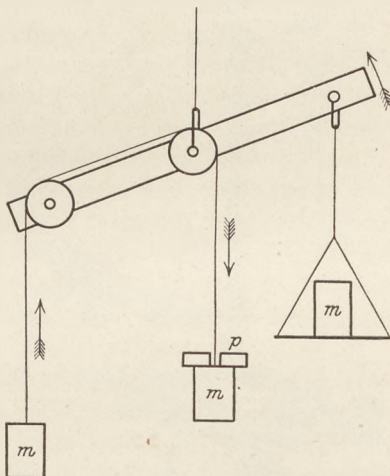


Fig. 2.

¹⁾ Diese Zeitschr. **10**, (1897), S. 127.

²⁾ Diese Zeitschr. **16**, (1903), S. 381.

³⁾ Poggendorffs Annalen **92**, (1854), S. 179; man vergleiche auch Barentin, Jubelband von P. A., (1874), S. 213.

⁴⁾ Man findet den Versuch besprochen in: Reis, Lehrb. d. Phys., (6. Aufl.), S. 35; Dressel, Lehrb. d. Phys., (4. Aufl.), S. 37; sehr ausführlich in Müller-Pfaundler, Lehrb. d. Phys., (10. Aufl.), **1**, S. 226 ff.; ferner bei Mach, Die Mech. in ihrer Entwickl., (6. Aufl.), S. 218. In anderen bekannteren Lehrbüchern ist der Gegenstand übergangen oder nur erwähnt (vgl. auch Wronsky, ds. Zeitschr. **2**, 175).

Druck der Masse gleich $m(g + \gamma)$; kurzum, maßgebend für die Größe des von der Masse auf ihre Unterlage ausgeübten Druckes ist der Unterschied ihrer beiderseitigen Beschleunigungen. (Es ist vielleicht nicht überflüssig, ausdrücklich zu bemerken, daß diese Erwägungen an das Vorhandensein einer Beschleunigung geknüpft sind; durch eine gleichförmige Bewegung werden die Druckverhältnisse nicht geändert.)

Es sei nun eine gleicharmige Wage, Fig. 2, gegeben, die rechts eine Wagschale, in der Mitte und links je eine kleine Rolle trägt, deren Achsen mit den betreffenden Schneiden zusammenfallen. Wagschale und linke Rolle seien so bemessen, daß sich die unbelastete Wage im Gleichgewicht befindet. Nun wird über die Rollen ein Seidenfaden gelegt, an dessen Enden die gleichen Massen m -Gramm befestigt sind;

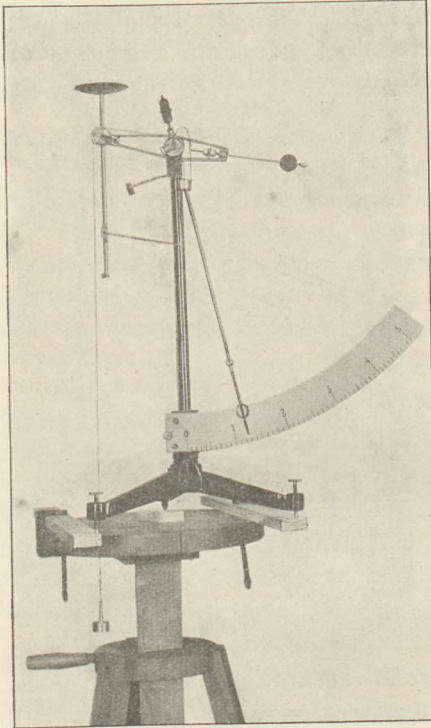


Fig. 3.

der Druck der Masse m auf die Achse der Mittelrolle wird durch die Unterstüzung aufgehoben, derjenige auf die Achse der linken Rolle bewirkt einen Ausschlag der Wage; das Gleichgewicht wird wieder hergestellt, sobald auf die Wagschale gleichfalls eine Masse m -Gramm gelegt wird. Wenn man jetzt auf die mittlere Masse ein kleines Übergewicht p -Gramm legt, das dem System die Beschleunigung γ zu erteilen vermag, und das Fallen der Massen zunächst dadurch verhindert, daß man sie mit einem dünnen Faden an der Mittelachse des Wagebalkens befestigt, so ist dadurch am Gleichgewichtszustand nichts geändert, die Wage spielt nach wie vor ein. Sobald man aber den Faden durchbrennt, wird die linke Seite mit der steigenden Masse schwerer und man muß auf die Wagschale noch μ -Gramm zulegen, um das gestörte Gleichgewicht wiederherzustellen; es zeigt sich dann, daß $\mu \cdot g = m \cdot \gamma$ ist. Der Versuch gestattet noch verschiedene Modifikationen, die an den oben erwähnten Stellen besprochen sind, hier aber als minder wichtig übergangen werden mögen.

Es ist ohne weiteres einleuchtend, daß dieser Versuch mit der Zeigerwaage sehr bequem auszuführen ist; es ist dazu nur erforderlich, an der

Säule der Wage und am linken Wagebalken je eine kleine Aluminiumrolle in Schere so anzubringen, daß ihre Achsen möglichst genau mit den betreffenden Schneiden bzw. Achsen der Wage zusammenfallen und dann die Wage so aufzustellen, daß die fallenden und steigenden Massen freien Spielraum haben. Fig. 3 zeigt, wie diese letztere Forderung mit Hilfe eines Gaußschen Statives, zweier Latten und Schraubenzwingen leicht erfüllt werden kann; es geht aber ebensogut, die beiden Latten auf einem Schrank von passender Höhe mit ein paar Drahtstiften anzuheften oder durch aufgelegte Gewichtstücke von hinreichender Masse in der erforderlichen Lage festzuhalten.

Die Ausführung des Versuches gestaltet sich dann sehr einfach: Zunächst wird die Wage nach dem an der Rückseite angebrachten Senkel richtig aufgestellt, für den Meßbereich 1 bis 5 Gramm eingerichtet und sorgfältig justiert; dann entfernt man die untere Wagschale, legt über die Rollen einen sehr feinen Faden Nähseide, den man unter entsprechender Belastung sich über Nacht hat ausdrillen lassen, und knüpft an seine Enden kleine Karabinerhäkchen zur Befestigung der gestielten Massen. Hierauf bringt man auf die mittlere Masse ein passendes Übergewicht und legt über

den Haken, der, wie Fig. 3 zeigt, an der Säule befestigt ist, eine Schlinge von ganz feinem leinenen Nähfaden, deren anderes Ende um ein Knöpfchen an der Seite der mittleren Masse geschlungen ist. Zum Schluß wird mittels des Schiebegewichtes und der Regulierschraube am rechten Wagebalken Gleichgewicht hergestellt, so daß der Zeiger auf Null einspielt. Brennt man jetzt den Faden durch, so erfolgt ein starker Ausschlag; sobald die mittlere Masse den Boden erreicht, kehrt der Zeiger auf Null zurück.

Bei der großen Empfindlichkeit der Wage und ihrer geringen Dämpfung reicht aber die kurze Fallzeit nicht aus, um den Zeiger zum Einspielen auf die neue Gleichgewichtslage kommen zu lassen. Will man daher den Trägheitswiderstand messen, so empfiehlt es sich, den folgenden Kunstgriff anzuwenden. Man zeigt zunächst, daß die Wage auf Null einspielt, solange das System in Ruhe ist; dann bringt man den Zeiger mit einem feinen Haarpinsel ungefähr in die vorher ausprobierte oder berechnete neue Gleichgewichtslage, brennt den Faden durch und nimmt den Pinsel weg. Der Zeiger geht dann fast aperiodisch in die richtige Stellung, wo er auch bei leichtem Klopfen an der Unterlage der Wage ruhig stehen bleibt; erst in dem Augenblick, wo die fallende Masse den Fußboden erreicht, kehrt er sofort auf Null zurück. Die Erscheinung ist auch so, trotz des Eingriffes, durchaus frappant und beweiskräftig⁵⁾.

Es erübrigt noch die Frage, ob und wie weit das Verfahren Resultate liefert, die quantitativ verwertbar sind. Es handelt sich hierbei, wie wir sahen, um die Prüfung der Gleichung $\mu \cdot g = m \cdot \gamma$, bzw. um den Nachweis, daß die Angabe μ der Wage, die Gewichtszunahme der linken Seite, gleich dem Ausdruck $m \cdot \gamma : g$ ist, worin m die steigende Masse am linken Arm der Wage, g die Beschleunigung der Schwere und γ die Beschleunigung der stattfindenden Fallbewegung ist. Hierbei sind m und g gegebene Zahlen, γ muß noch bestimmt werden; das kann auf zwei verschiedene Arten geschehen.

Entweder wird die Beschleunigung γ aus den bekannten Werten von Masse und Übergewicht berechnet, das ist der Weg, der gewöhnlich eingeschlagen wird (vgl. Barentin und Müller-Pfaundler a. a. O.). Ist m die beiderseits am Faden befestigte Masse, p das Übergewicht, i das Trägheitsmoment jeder der beiden Rollen vom Radius q und r das Reibungsgewicht, so besteht die Beziehung $(2m + 2i : q^2 + r + p) \cdot \gamma = p \cdot g$, woraus sich ergibt $\gamma = p \cdot g : (2m + 2i : q^2 + r + p)$, also $\mu = m \cdot p : (2m + 2i : q^2 + r + p)$. Für eine exakte Prüfung der Gleichung ist es demnach erforderlich, einmal das Reibungsgewicht r sorgfältig zu ermitteln und dann das Trägheitsmoment der beiden Röllchen möglichst genau zu bestimmen; beides Aufgaben, die natürlich nicht im Unterricht sondern bei der Vorbereitung gelöst werden müssen, deren Resultate aber dann auch ein für allemal gültig bleiben.

Wie das Reibungsgewicht r bestimmt wird, darf von der Atwoodschen Fallmaschine her als bekannt vorausgesetzt werden und bedarf keiner weiteren Erörterung. Anders steht es mit dem Trägheitsmoment der kleinen Rollen; hier sind die Abweichungen von der homogenen Kreisscheibe im Verhältnis zu der geringen Größe doch zu beträchtlich, als daß die Rechnung brauchbare Werte ergeben würde. Es ist daher empfehlenswerter, die Trägheitsmomente empirisch zu bestimmen; das geschieht in folgender Weise: man schneidet aus einer Spielkarte eine kreisförmige Scheibe von etwas größerem Durchmesser als der der Röllchen, also etwa 5 cm, und bohrt mit dem Korkbohrer ein konzentrisches Loch vom gleichen Durchmesser wie die Nabe der Rollen, so daß jede von diesen genau konzentrisch und unverrückbar flach auf die Scheibe gelegt werden kann. Diese Scheibe wird nun mit Hilfe dreier gleich langer, kurzer Fäden wie eine Wagschale genau horizontal an einem un-

⁵⁾ Es empfiehlt sich, an die Stelle, wo die fallende Masse den Fußboden trifft, ein Stück Filz zu legen, um den Stoß zu mildern.

gedrehten Seidefaden aufgehängt, nachdem man auf der Unterseite ein kurzes, etwa 5 cm langes Stückchen einer magnetisierten Stricknadel mit etwas Siegelack festgekittet hat, um dem aufgehängten System die erforderliche Direktionskraft zu geben. Nun bestimmt man die Schwingungsdauer t 1. des unbelasteten Gehänges, 2. des Gehänges mit aufgelegtem Röllchen, 3. des Gehänges mit aufgelegter homogener Aluminiumscheibe, die in ihren Abmessungen mit denen des Röllchens ungefähr übereinstimmt, und deren Trägheitsmoment leicht mit großer Annäherung berechnet werden kann. Aus letzterem und den drei Werten von t ergibt sich das gesuchte Moment in bekannter Weise⁶⁾. Man verzeihe die vielleicht unnötig eingehende Darlegung; von der sorgfältigen Bestimmung des Reibungsgewichtes und des Rollen-Trägheitsmomentes hängt wesentlich das Gelingen des Versuches ab.

Es kann aber auch die Beschleunigung γ empirisch ermittelt werden; das ist viel einfacher und bequemer als die soeben behandelte Ausrechnung des Wertes, und ich kann nicht einsehen, warum dieses meistgeübte Verfahren den Vorzug vor jenem verdienen sollte. Man verfährt einfach so: Die Wage wird auf Null festgestellt, indem man den Zeiger mit einer Kopierklammer an dem Gradbogen festklemmt, dann wird die linkshängende Masse herabgezogen, bis sie den Boden berührt und in dieser Lage durch eine aufgelegte Masse festgehalten. Nun mißt man die Fallhöhe, d. h. den Abstand der unteren Fläche der mittleren gehobenen Masse vom Fußboden und bestimmt die zugehörige Fallzeit für das betreffende Übergewicht; aus beiden Messungen erhält man γ unabhängig von der Kenntnis der beiden Größen i und r .

Im folgenden teile ich die Ergebnisse von Messungen an meiner Wage nach beiden Verfahren mit; der Leser möge selbst entscheiden, wie weit dieselben billigen Anforderungen genügen, und welches von beiden den Vorzug vor dem anderen verdient; dabei sei bemerkt, daß die benutzten Rollen nicht die besten waren.

Die gestielten Massen m , die beiderseits an den Faden mittels kleiner Karabinerhäkchen angehängt sind, wogen einschließlich der Haken je 110 g; das Gewicht des 2,5 m langen Seidenfadens betrug 0,05 g; man kann es also unbedenklich vernachlässigen; will man das nicht, so kompensiert man seinen Einfluß dadurch, daß man einen gleichlangen zweiten Faden an den Massen befestigt, frei herabhängen und an der Fallbewegung teilnehmen läßt; die folgenden Zahlen sind nach letzterem Verfahren gewonnen⁷⁾. Die reduzierten Massen der beiden Rollen wurden zu $i_\lambda: \varrho^2 = 8,49$ und $i_m: \varrho^2 = 8,88$ cm g. s. bestimmt. Das Reibungsgewicht ergab sich zu $r = 2,00$ g; die angewandten Übergewichte waren gelochte Aluminiumscheibchen von den Massen 1,25, 1,50, 1,75 bis 4,00 g. Die Fallhöhe s betrug 225 cm.

Die folgende Tabelle gibt eine Zusammenstellung der verschiedenen Werte und ist wohl ohne weiteres verständlich; die mitgeteilten Zahlen sind allemal das Mittel aus mehreren Einzelmessungen.

$S = 225$ cm		$M = 2m + (i_\lambda + i_m): \varrho^2 + r + p = (239,37 + p)$ g										$m = 110$ g	
$p =$	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	
$t =$	9,98	8,91	8,13	7,53	7,05	6,65	6,32	6,04	5,77	5,56	5,34	5,17	
a_1 (beob.) =	4,52	5,67	6,81	7,94	9,05	10,17	11,27	12,33	13,53	14,57	15,78	16,82	
a_2 (ber.) =	5,10	6,11	7,12	8,13	9,14	10,14	11,14	12,15	13,14	14,14	15,14	16,13	
$\mu = a_1 \cdot m: 981$	0,51	0,64	0,76	0,89	1,02	1,14	1,26	1,38	1,52	1,63	1,77	1,89	
$\mu = a_2 \cdot m: 981$	0,57	0,69	0,80	0,91	1,03	1,14	1,25	1,36	1,45	1,59	1,70	1,81	
μ (beob.) =	0,51	0,62	0,75	0,89	0,98	1,10	1,23	1,39	1,49	1,60	1,72	1,84	

⁶⁾ Vgl. Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik, (12. Aufl.), S. 114.

⁷⁾ Dadurch wird nur die bewegte Masse um 0,1 g im ganzen vergrößert, was auf das Ergebnis keinen wahrnehmbaren Einfluß hat.

Eine Durchsicht dieser Zusammenstellung zeigt, daß diejenigen Beobachtungen, die den mittleren Übergewichten etwa zwischen 2 und 3 Gramm entsprechen, in befriedigender Übereinstimmung sind; bei den kleineren machen sich unregelmäßige und unkontrollierbare Einflüsse, z. T. von der Kleinheit der Rollen herrührend, überwiegend geltend; bei den größeren ist die Bestimmung der Fallzeit weniger zuverlässig und der Einfluß der Beobachtungsfehler erheblicher.

Kleine Mitteilungen.

Versuche über Bewegungsenergie.

Von Prof. O. Praetorius in Darmstadt.

E. MAEY (d. Zeitschr. XV, 268 und XXI, 153) und E. GRIMSEHL (d. Zeitschr. XX, 161) haben Vorrichtungen angegeben, die es ermöglichen, die Bewegungsenergie eines fallenden Körpers zu verfolgen und durch Arbeitsleistung gegen Federn oder gegen Reibung oder durch Durchschlagen von auf Rahmen ausgespannten Papieren zu messen.

Die folgenden Versuche gestatten, die Arbeitsfähigkeit bekannter Massen, denen bestimmte Geschwindigkeiten erteilt werden, durch*Hebung eines Gewichts um eine meßbare Strecke zu ermitteln. Sie lassen sich mit der Atwoodschen Fallmaschine ausführen, die wohl an jeder höheren Schule vorhanden ist, so daß die Anschaffung eines besonderen, Geld und Platz erfordernden Apparates wegfällt. Sie knüpfen an die bekannten Fallmaschinenversuche an, deren Ergebnisse dabei verwertet und somit im Unterricht eingeübt werden. Sie sind dabei z. T. leichter auszuführen als jene, weil bei ihnen keine Zeitmessung nötig ist.

Die einzige neu zu beschaffende Vorrichtung, die aber nicht unbedingt erforderlich ist, besteht in einem verschiebbaren Ring, spiegelbildlich gleich dem, der zum Abheben des Übergewichts dient. Ich habe mir ihn selbst hergestellt aus einer Tischklammer und einem verzinnnten Eisenring von ~ 3 cm Durchmesser. An beide wurden Metallhütchen, wie sie zum Verschuß von Tablettenröhrchen dienen, von etwas verschiedener Weite angelötet; durch leichtes Verbiegen wird erreicht, daß sich das eine in das andere stecken und mit geringer Reibung darin drehen und verschieben läßt.

Dieser Ring wird nur zu einem Vorversuch gebraucht, der den Begriff der Bewegungsenergie klarmachen soll. Man beschwert z. B. 6.97 g mit 6 g Übergewicht, und fängt dieses 20 cm unterhalb des Ablaufpunktes ab, so daß die rechte Massenhälfte sich von da an mit der Geschwindigkeit 20 cm/sec abwärts, die linke ebenso aufwärts bewegt. Klemmt man nun den 2. Ring nacheinander an den Stellen fest, wo der obere Rand der linken Massenhälfte am Ende der 1., 2., 3. Sekunde dieser gleichmäßigen Bewegung angelangt ist (oder auch an einer beliebigen anderen Stelle), und legt einmal das Abhebegewicht von 2 g, dann das von 4 g, und schließlich beide zusammen so darauf, daß der Aufhängefaden durch den Ausschnitt in der Mitte läuft, so nimmt die aufsteigende linke Massenhälfte dies Gewicht mit. Die bis dahin gleichmäßige Bewegung wird zu einer verzögerten und kommt zum Stillstand, wenn die 2 g 60 cm, die 4 g 30 cm oder die 6 g 20 cm gehoben sind. (Die darauf eintretende Rückwärtsbewegung wird man vorerst unberücksichtigt lassen; es empfiehlt sich, die Massen im Augenblick des Stillstands festzuhalten, am einfachsten mit der Hand, wenn man nicht etwa eiserne Hebegewichte verwenden und das Festhalten durch einen passend angebrachten Magneten bewirken will.) Der Versuch veranschaulicht die Arbeitsfähigkeit = Energie oder „Wucht“ der bewegten Masse, die stets dieselbe Arbeit von 120.g Erg leistet, also ebensoviel Arbeit wie das fallende Übergewicht rechts an ihr geleistet hat (streng genommen $\frac{1}{98}$ weniger, da die Wucht der abgehobenen 6 g ausgeschaltet ist, was aber hier vernachlässigt werden kann).

Um zu ermitteln, wie diese Energie von der Masse und von der Geschwindigkeit abhängig ist, werden nun entsprechende Versuche mit anderen Massen und Ge-

schwindigkeiten angestellt. Für diese messenden Versuche empfiehlt sich eine etwas andere Anordnung, um zwei Mißstände zu vermeiden. Bei dem beschriebenen Versuch geht nämlich ein kleiner Teil der Energie durch den Stoß beim Auffangen des zu hebenden Gewichtes verloren, und ferner kommt es, besonders bei größeren Geschwindigkeiten, leicht vor, daß der aufwärtsfahrende Massenteil an den Ring anstößt oder das Gewicht herunterwirft, statt es aufzufangen. Daher läßt man den 2. Ring weg und legt das zu hebende Gewicht von vornherein auf die linke Massenhälfte; damit es als Kraft, gegen die Arbeit geleistet wird, erst dann in Betracht kommt, wenn die Masse die beabsichtigte Geschwindigkeit erhalten hat, muß natürlich ein gleiches Gegengewicht auf die rechte Massenhälfte gelegt werden, das mit dem Übergewicht abgehoben wird (man kann dazu die runden 1 g- und 2 g-Stücke benutzen, die der Fallmaschine beigegeben sind, wenn man sie über das längliche Abhebegewicht legt)¹⁾.

Bei dieser Versuchsanordnung geht die beschleunigte Bewegung im Augenblick des Abhebens sofort in die verzögerte über, bei der die Masse Arbeit leistet, so daß die Geschwindigkeit, die sie in diesem Augenblick hat, nicht in gleichmäßiger Bewegung sichtbar wird. Doch ist diese Geschwindigkeit für jeden vorkommenden Fall von früheren Versuchen her ja bekannt; sie läßt sich zudem durch Vorversuche ohne Hebe- und Gegengewicht mit Hilfe eines Sekundenmessers (den man sonst hier nicht braucht) jedesmal messen. Unbequem ist, daß der Anfangspunkt für die Aufwärtsbewegung der linken Massenhälfte, die gemessen werden soll, nicht feststeht infolge der verschiedenen Dehnung des Fadens bei verschiedenen Belastungen. Man läßt deshalb lieber statt dessen die ebenso große Abwärtsbewegung der rechten Massenhälfte ablesen, von dem Abhebering aus gerechnet.

Die Versuche ergeben folgende Wertetabelle:

<i>m</i>	<i>v</i> = 20 cm/sec	<i>v</i> = 30 cm/sec	<i>v</i> = 40 cm/sec
2.98 g	40 · <i>g</i> <i>Erg</i>	90 · <i>g</i> <i>Erg</i>	160 · <i>g</i> <i>Erg</i>
4.98 g	80 · <i>g</i> "	180 · <i>g</i> "	320 · <i>g</i> "
6.98 g	120 · <i>g</i> "	270 · <i>g</i> "	480 · <i>g</i> "

Die senkrechten Spalten ergeben das Gesetz, daß die Bewegungsenergie der Masse, die wagerechten Reihen, daß sie dem Quadrat der Geschwindigkeit proportional ist. Die Formel $E = \frac{1}{2} m v^2$ findet man wohl am einfachsten, indem man von einer beliebigen Zahl der Tabelle aus (unter Anwendung des gefundenen Gesetzes) auf die Energie

¹⁾ Dadurch wird freilich die Masse, die das Übergewicht in Bewegung zu setzen hat, bei den meisten Versuchen etwas größer als 196, 392 oder 588 g, so daß die erreichten Geschwindigkeiten ein wenig geringer sein müssen als die früher festgestellten; andererseits sind die Massen nach dem Abheben der Über- und Gegengewichte kleiner, so daß die Bewegungsenergie in jedem Fall etwas verringert wird. Doch ist der dadurch verursachte Fehler gering und kann durch eine kleine Vermehrung der Reibungsgewichte, die man ausprobieren muß, ausgeglichen werden. Bei der von mir benutzten Fallmaschine wiegen die beigegebenen Reibungsgewichte 0,14, 0,22 und 0,29 g; durch Zusatzgewichte von $\sim 0,1$ g, die aus Schablonenkupfer mit der Schere geschnitten wurden, ließen sich die erforderlichen Hubhöhen erzielen. — Handelt es sich um lange Wege, so kommt noch eine Fehlerquelle in Betracht, die auch bei den üblichen Fallmaschinenversuchen stören kann, nämlich das Gewicht des Aufhängefadens, dessen Verteilung sich während der Bewegung ändert und das daher nicht durch einseitige Gegengewichte ausgeglichen werden kann. Befestigt man unten an beiden Massenhälften Fäden, die so lang sind, daß sie in jeder Stellung bis auf den Boden reichen, so daß der überschießende Teil dort unterstützt ist, so ist das Fadengewicht auf beiden Seiten stets gleich. Statt dessen kann man auch beide Enden eines Fadens, der so lang ist wie der Aufhängefaden, unten an den Massenhälften befestigen und den Faden im Bogen herabhängen lassen. Indessen scheint mir dieser Ausgleich des Fadengewichts nur dann notwendig, wenn man Angelschnur (zur Vermeidung des Drills) oder sonst einen schweren Aufhängefaden verwendet.

der Einheit der Masse mit der Einheit der Geschwindigkeit schließt, wobei sich z. B. aus der ersten Zahl ergibt $E_1 = \frac{40 \cdot g}{2.98.400} = \frac{1}{2} \text{ Erg}$; dann muß die Masse m g mit der Geschwindigkeit v cm/sec die Energie $E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ besitzen. (Natürlich läßt sich ebenso alles in technischen Maßeinheiten ausdrücken). Das Befremdliche des Ergebnisses, daß die Bewegungsenergie dem Quadrat und nicht der ersten Potenz der Geschwindigkeit proportional ist, schwindet nach Anstellung der Versuchsreihen sofort bei der Überlegung, daß ja, um der Masse eine n mal so große Geschwindigkeit wie beim vorhergehenden Versuch zu geben, die n^2 fache Arbeit an ihr geleistet werden mußte, indem man entweder sowohl die Kraft (Übergewicht) als auch ihren Weg n mal so groß machte, oder einen dieser Faktoren n^2 mal so groß, während der andere Faktor ungeändert blieb. — Hieran kann man dann die übliche deduktive Ableitung der Formel $E = \frac{1}{2} m v^2$ sowie Betrachtungen über die wechselseitige Verwandlung der Energie der Lage in solche der Bewegung und umgekehrt anknüpfen.

Diese Energieumwandlung läßt sich an der vorgeschlagenen Vorrichtung sehr schön beobachten, mehrmals hintereinander sogar, wenn man das gehobene Gewicht nicht festhält. Solange man freilich rechts Reibungs- und Zusatzgewichte wirken läßt, sind die Rückwärtsbewegungen doppelt gedämpft, die der ersten entsprechenden Bewegungen nicht gedämpft. Nimmt man diese Gewichte weg, so erhält man Bewegungen, die gedämpften Pendelschwingungen völlig entsprechen. Ihre Betrachtung verhält sich zu der von Pendelschwingungen etwa wie die der üblichen Fallmaschinenversuche zu der der Fallrinnenversuche.

Experimentelle Bestätigung der Formeln für den senkrechten Wurf.

Von Prof. F. Kühn in Osnabrück.

Die Formeln für den senkrechten Wurf $s = ct + \frac{g}{2} t^2$ und $s = ct - \frac{g}{2} t^2$ lassen sich mit Hilfe der Atwoodschen Fallmaschine in einfacher Weise experimentell demonstrieren.

An einem langen Faden werden auf der einen Seite 70 g, auf der anderen 70 g + 2 g runde Übergewichte und 4 g längliche, durch den Ring abnehmbare Übergewichte befestigt. Es ist dann die Beschleunigung $b = \frac{6 \cdot 980}{192} = 30$ cm, wenn die zu treibende Masse der Rolle = 50 g gesetzt wird. Der Ring ist $\frac{30}{2}$ cm = 15 cm unter dem länglichen Übergewicht, d. h. bei 13 cm, angebracht, da die Gewichte (70 + 2 + 4 g) eine Höhe von 2 cm haben. Von hier an rechnet die Bewegung des senkrecht nach unten geworfenen Körpers. Die ihm mitgegebene Anfangsgeschwindigkeit c ist = 30 cm, die Beschleunigung a , die der Körper durch die runden Gewichte allein nach dem Durchgange durch den Ring erfährt, ist = $\frac{2 \cdot 980}{192}$ cm oder ~ 10 cm. Wir haben also $s = 30t + 5t^2$, so daß $s_1 = 30 + 5 = 35$ cm; $s_2 = 60 + 20 = 80$ cm und $s_3 = 90 + 45 = 135$ cm werden, was in bekannter Weise durch Aufschlagen auf ein Tischchen nachgewiesen wird.

Auf der Seite, wo sich das Tischchen und der Ring befinden, werden nun an dem Faden noch 70 + 10 g (die 10 g haben wieder längliche Gestalt) befestigt, auf der anderen Seite dagegen befinden sich 70 g und 2 g Übergewicht in runder Form. Jetzt ist $c = \frac{8 \cdot 980}{192} = \text{fast } 41$ cm. Der Ring wird also in einer Entfernung von $\frac{41}{2}$ cm = 20,5 cm vom länglichen Übergewicht, d. h. auf 18,5 cm, gestellt (siehe bei I). Die Verzögerung a der Bewegung nach Fortnahme des 10 g Übergewichts ist jetzt =

$\frac{2 \cdot 980}{192} =$ etwa 10 cm. Wir stellen also das Tischchen zum Auffangen des geworfenen Körpers (41 — 5) cm = 36 cm unter 20,5 cm, d. h. bei 56,5 cm, dann (82 — 20) cm = 62 cm unter 20,5 cm, d. h. bei 82,5 cm, auf und der Versuch zeigt, daß der Körper genau 1 bzw. 2 Sekunden nach Passieren des Ringes auf das Tischchen aufschlägt. Das in die Höhe gehende Gewicht der anderen Seite der Atwoodschen Fallmaschine, das den eigentlichen nach oben geworfenen Körper darstellt, legt also ganz dieselben Strecken in den angegebenen Zeiten zurück und veranschaulicht so die Bewegung eines senkrecht nach oben geworfenen Körpers, dessen Anfangsgeschwindigkeit = 41 cm und dessen $a = 10$ cm ist.

Die Formeln $v = c + gt$ und $v = c - gt$ lassen sich durch die Atwoodsche Fallmaschine zwar nicht direkt bestätigen, aber man kann durch eine einfache Rechnung leicht den Zusammenhang zwischen den Versuchen und den Formeln herstellen.

Elektrolytische Zelle für Gewinnung der Alkaliamalgame.

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

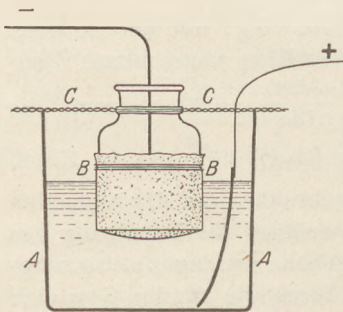
Seither wird die Elektrolyse der Alkaliverbindungen mittels Quecksilberkathode so ausgeführt, daß man das auf dem Boden eines Gefäßes ausgebreitete, an den negativen Pol angeschlossene Quecksilber mit dem Elektrolyten überschichtet und in diesen eine geeignete Anode eintauchen läßt. Diese so einfache Versuchsanordnung ist insofern ungünstig, als das sich bildende Amalgam nach oben steigend mit einer großen Berührungsfläche dem chemischen Angriff des Lösungswassers unterliegt, und daß es andererseits behufs näherer Untersuchung erst umständlich vom Elektrolyten gesondert werden muß. Der folgende schulmäßige, leicht aus vorhandenen Hilfsmitteln zusammenzubauende Apparat vermeidet diese Mißstände dadurch, daß die Quecksilberkathode von oben in den Elektrolyten hängt.

Zur Aufnahme des Quecksilbers dient das abgesprengte Oberstück *B* einer 4 cm breiten Pulverflasche, welche mittels eines um den Hals gebundenen, in drei Arme ausstrahlenden Eisendrahts *C* in eine Kristallisierschale *A* von 8:8 cm in der aus der Figur ersichtlichen Weise gehängt werden kann. Die untere Öffnung von *B* wird mit feiner, dichtgewebter Leinwand überbunden; und zwar wird diese außen etwa 2 cm hochgezogen, so daß der zum Festbinden dienende dünne Eisendraht beim Gebrauch des Apparats nicht mit in den Elektrolyten eintaucht. In *B* gießt man etwa 150 g gleich 11 cm Quecksilber und in das Gefäß *C* etwa 200 cm der Lösung, so daß ihr Spiegel ein wenig höher steht als der untere Rand von *B*.

Mittels eines starken, in einer Fußklemme befestigten Eisendrahts, der in das Quecksilber taucht, wird die Verbindung mit dem —-Pol hergestellt. Als Anode läßt man ein Platinblech eintauchen, das selbstverständlich auch durch eine Kohlenplatte oder bei alkalischen Elektrolyten auch durch ein Eisenblech ersetzt werden kann.

Als Stromquelle werden heute die meisten Schulen hochgespannten Maschinenstrom zur Verfügung haben. Es genügt aber auch, namentlich bei der Elektrolyse der gut leitenden Alkalilaugen, 12voltiger Batteriestrom.

Nach mehrfachen Ausprobungen hat sich eine Stromstärke von 8 Amp. und eine Versuchsdauer von 10 Min. als zweckentsprechend herausgestellt. Man kann dann den Versuch sich selbst überlassen und weiter unterrichten. Bei größeren Stromstärken tritt leicht Überhitzung und Lichtbogenbildung ein. Selbstverständlich muß der Apparat bei der Elektrolyse von Chloriden unter einen Abzugskasten gestellt werden.



Das gebildete Amalgam wird sofort in eine Porzellanschale ausgegossen, um nach dem Erkalten näher untersucht zu werden. Diese Untersuchung läßt sich dadurch recht lehrreich gestalten, daß man den Gehalt an Alkalimetall titrimetrisch bestimmt und zugleich das Volum des entwickelten Wasserstoffs mißt.

Man bringt das Amalgam in einen kleinen, mit Hahntrichter und Winkelrohr versehenen Kolben, den man mit einer Gaßmeßglocke verbindet. Dann läßt man 50 ccm Normalsalzsäure zufließen. Nach wenigen Minuten ist die anfangs sehr stürmische Reaktion beendet, und das etwa $\frac{1}{2}$ Liter betragende Gasvolum kann, nachdem der Kolben kurze Zeit in Wasser von Zimmertemperatur gekühlt, abgelesen werden. Zum Kolbeninhalt fügt man nach Zusatz von Lackmus so lange Normallauge, bis Farbenumschlag eintritt. Jedes Kubikzentimeter verbrauchter Normalsäure entspricht aber einem Milligramm-Äquivalent und das zugehörige Wasserstoffvolum einem halben tausendstel Normalvolum, also 11,2 ccm. Tatsächlich stellt sich bei allen solchen Versuchen dies feste Verhältnis von Säure- und Wasserstoffvolum mit erfreulicher Genauigkeit heraus, was schon an und für sich einen lehrreichen Schulversuch bedeutet.

Das theoretische Wasserstoffvolum für 80 Ampereminuten ist 557 ccm. Die Schüler berechnen das am einfachsten aus der minutlichen Gasmenge, welche 1 Amp. im Knallgasvoltmeter entbindet, nämlich 10,44 ccm. $10,44 \times \frac{2}{3} = 6,96$. $6,96 \times 80 = 557$. Diesem Wasserstoffvolum entsprechen aber $557/11,2 = 49,7$ ccm Normalsäure. Die angegebenen Ziffern gelten für alle Alkali- und Erdalkalimetalle. Die wirklich zu erzielende Ausbeute bleibt hinter der theoretischen auch im günstigsten Falle um 10% zurück.

Zu Beginn des Versuches ist die Bindung des Alkalimetalls durch das Quecksilber nahezu vollständig, was sich schon dadurch kundgibt, daß nur eine sehr geringe Wasserstoffentwicklung an der Kathode eintritt. Mit zunehmender Konzentration des Amalgams und begünstigt durch die eintretende Erwärmung verstärkt sich die Rückbildung. Beispielsweise wurden unter den angegebenen Versuchsbedingungen aus 20prozentiger Natriumlauge nach 10 Minuten 85% Ausbeute erzielt; bricht man den Versuch aber schon nach 5 Minuten ab, so findet man 93%. Andererseits erhielt man mit nur 100 g Quecksilbereinsatz nach 10 Minuten nur 66%. Das Amalgam war $\frac{3}{4}$ prozentig und hörte beim Erkalten auf, flüssig zu sein.

Wenn an einer möglichst quantitativen Bindung des Kations gelegen ist, muß mehr Quecksilber genommen werden, vielleicht 500 g oder 37 ccm. Auch sehr verdünntes Amalgam der Alkali- oder Erdalkalimetalle wird durch Normalsalzsäure in kürzester Zeit zerlegt.

Am günstigsten verläuft der Versuch mit Kalilauge, da mit 150 g Quecksilber durch 8×10 Ampereminuten ein Amalgam entsteht, das beim Erkalten zu einem Aggregat deutlich erkennbarer Würfel erstarrt und damit einen augenfälligen Beweis für die Aufnahme eines neuen Metalls ergibt. Auch 40prozentige Lösungen von KCl oder K_2CO_3 geben festes Amalgam mit 85% Ausbeute. Die entsprechenden Versuche mit den Natriumverbindungen geben zwar ebenso gute Ausbeuten, aber das Amalgam bleibt noch dünnflüssig. Bemerkenswert ist, daß die Nitrate, insonderheit eine 50prozentige $NaNO_3$ -Lösung, keine Spur von Metall an das Quecksilber abgeben.

Wie die Chloralkalien lassen sich auch konzentrierte Lösungen von $BaCl_2$ und $CaCl_2$ behandeln und geben 70—75% Ausbeute. Dagegen geben Magnesium- und Aluminiumsalze gar kein Amalgam, sondern Wasserstoff, als sei nicht das Salz, sondern das Wasser zerlegt.

Einen Platz für sich beansprucht das Ammoniumamalgam, zu dessen Darstellung sich unser Apparat sehr gut eignet. Als Elektrolyt dient eine gesättigte Sulfatlösung. Bei 8 Amp. steigt schon nach einer Minute das aufquellende Metall bis an den Rand des Gefäßes *B*. Sein Volum beträgt etwa 40 ccm. Man gießt es in ein oben ge-

geschlossenes Glasrohr dieses Inhalts und kippt dies wie beim Torricellischen Versuch in einer Schale mit Quecksilber um. Man sieht eine langsame Bildung von Gasblasen innerhalb der ganzen Metallmasse. Nach einigen Stunden ist das Rohr mit Gas gefüllt, das Metall wieder rein. Ein Tropfen Wasser, unter die Glocke gebracht, verschluckt einen Teil des Gases. Der Rest erweist sich leicht als Wasserstoff. Das Wasser zeigt Geruch und Reaktion des Ammoniaks.

Für die Praxis.

Zur Herstellung Kundtscher Staubfiguren. Von W. Merkelbach in Cassel. Zur Herstellung Kundtscher Staubfiguren ist gebrannte Magnesia sehr geeignet. Die käufliche gepulverte Magnesia wird hierzu in einem Metalltiegel unter Umrühren scharf erhitzt und, soweit es durch bloßes Schütteln möglich ist, durch ein feinmaschiges Drahtnetz (Abstand der Drahtmitten von einander $\frac{1}{4}$ mm) gesiebt. Das Pulver bewahrt man in einer geschlossenen Glasbüchse auf. — Wenn die Kundtschen Röhren längere Zeit nicht gebraucht sind, ist es zweckmäßig, sie mit Hilfe eines sich anpressenden durchgeschobenen Wattebauschs zu reinigen. Eine gleichmäßige Verteilung des Pulvers erhält man, wenn man es in ein kleines Sieb aus Drahtnetz (Abstand der Drähte $\frac{1}{2}$ mm) bringt und damit einen Stab oder eine Leiste bestreut, indem man das Sieb unter Beklopfen seines Randes über den Stab bewegt. Der Stab wird dann in die Röhre geschoben, umgekehrt und am oberen Teil der Röhrenwand herausgezogen.

Einfache Versuche zur Elektrostatik. Von E. Höhnemann in Landsberg a. W. Seit Jahren führe ich mit meinen Schülern eine Reihe elektrostatischer Versuche aus, die so eindrucksvoll sind, daß sie wohl allgemein bekannt zu werden verdienen. Man braucht dazu nur ein empfindliches Elektroskop (Aluminium- oder Goldblatt), einen Hartgummistab und einen Isolierschemel oder zwei Paraffinblöcke.

1. Eine Person stellt sich auf den Isolierschemel oder die beiden Paraffinblöcke, unter und auf die gegen Beschmutzung ein Papierblatt gelegt ist, und reibt mit seinem Rock den Hartgummistab. Beim Berühren des Elektroskopknopfes mit dem Finger zeigt sich ein Ausschlag der Blättchen, der beim Annähern des geriebenen Ebonitstabes zurückgeht. — Entgegengesetzte Elektrizitäten von Reibzeug und Konduktor.

2. Eine isoliert aufgestellte Person berührt den Elektroskopknopf, eine andere schlägt ihren Rock mit einem leinenen Taschentuch. Der entstehende Ausschlag der Blättchen zeigt beim Annähern des geriebenen Ebonitstabes negative Elektrizität des Tuches an. Wird der Versuch so wiederholt, daß der Schlagende isoliert und mit dem Elektroskop verbunden ist, so erweist sich die Leinwand als positiv elektrisch. Schlägt man nun mit dem Taschentuch das Haar der anderen Person, so wird die Leinwand negativ, das Haar positiv geladen.

3. Eine Person schlägt mit dem baumwollenen Futter ihres Rockes das Haar, den Tuchrock, das in der Hand gehaltene Taschentuch der anderen. Haar wird positiv, Leinwand und Tuch negativ elektrisch.

4. Eine Person schlägt (möglichst streifend) die genannten Stoffe mit der Hand, einem Holz-, Ebonit-, Metall-, Glasstab, schlägt, während sie den Knopf des Elektroskops berührt, mit der Hand auf den Holztisch und stellt in jedem Falle die Art der erhaltenen Elektrizität fest. Auch das Verhalten von Holz, Glas, Metall und Ebonit in Verbindung miteinander läßt sich durch streifendes Schlagen untersuchen, wobei eine Ebonit- und die Metallscheibe eines Elektrophors gute Dienste leisten.

So erhält man die elektrische Spannungsreihe der genannten Stoffe: (+) Glas, Haar, Baumwolle, Leinwand, Tuch, menschliche Haut, Holz, Ebonit, Metall (—).

Die Versuche sind wohl geeignet für Schülerübungen.

Berichte.

1. Apparate und Versuche.

Ein Apparat zur Aufnahme des täglichen Sonnenlaufs. Von P. LUCKEY. Zur Aufnahme des sichtbaren Sonnenlaufs an verschiedenen Tagen des Jahres schlug Böttcher (Zeitschr. f. mathem. u. naturw. Unterr. XVI, 1885, S. 161 ff.) vor, eine Halbkugel aus Drahtgaze (Fliegenglocke) auf einer wagerechten, den Horizont darstellenden Unterlage aufzustellen und von Stunde zu Stunde Hölzchen so in das Geflecht hineinzustecken, daß deren Schatten in die Mitte des Grundkreises fallen. Dagegen empfahl Hoffmann in seiner IMUK-Abhandlung (vergl. d. Zeitschr. XXVI, 125) in eine Korkhalbkugel von einigen Zentimetern Durchmesser Hutnadeln mit runden Knöpfen so einzustecken, „daß der Schatten des Knopfes ungefähr die Mitte der Kugel trifft“. Hier werden also die Sonnenstrahlen durch die greifbaren Nadeln dargestellt, was für die Einführung junger Schüler wohl vorteilhaft ist gegenüber der Mitbenutzung der unsichtbar durch die Luft gehenden Schattenkegel bei Böttchers Verfahren. Dagegen bietet Böttchers Verfahren den Vorteil, daß sich der Sonnenlauf auf einer größeren hohlen Halbkugel, dem verkleinerten Abbild des Himmels, darstellt. Denn die bei Hoffmann entstehenden Kegelmäntel sind erst für eine spätere Stufe wertvoll.

In der Zeitschr. f. mathem. u. naturw. Unterr. 46, S. 41 ff (1915) empfiehlt P. LUCKEY die Benutzung eines größeren Schulapparates ähnlicher Art, mit dem am Fenster oder auf dem Fußboden eines nach Süden gelegenen Klassenzimmers während der Unterrichtszeit schon größere Bogenstücke aufgezeichnet werden können, worauf einzelne Schüler die weitere Arbeit, besonders auch an verschiedenen Tagen des Jahres, übernehmen können. In der Klasse schließen sich dann alle Erörterungen an den Apparat an, der für diesen Zweck groß genug sein muß und zugleich hinreichend genau, um rohe Messungen vorzunehmen, (z. B. der Deklination zwischen den an einem sonnigen Tage nahe beim 21. März und einem solchen um den 21. Juni aufgenommenen Sonnenbahnen).

Das Grundbrett des Apparates ist eine auf drei verstellbaren Füßen stehende kreisförmige Holztafel III von 40 cm Durchmesser, die den Horizont darstellt (Fig. 1). Ihre Fläche und ihr Rand sind mit Wandtafel Farbe gestrichen, so daß sie mit Kreide beschrieben

und wieder abgewaschen werden können. In ihrer Mitte befindet sich der Drehpunkt *D* einer starken Stahlnadel, die sich in jede Richtung stellen läßt. Sie ist in die Richtung der Sonnenstrahlen zu bringen. Diese Forderung ist erfüllt, wenn sie auf den an ihrem Grund dicht über dem Drehpunkt befestigten weißen Schirm *Sch* keinen Schatten mehr wirft. Auf

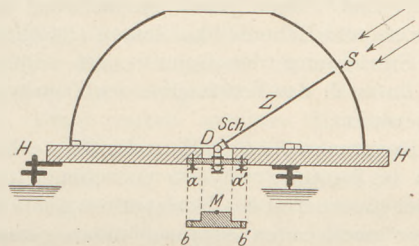


Fig. 1.

das Grundbrett läßt sich eine halbkugelige Glasglocke von $\sim 34,4$ cm äußerem Durchmesser, also 360×3 mm Umfang, setzen. Auf ihr kann leicht mit Fettstift der Sonnenort *S* eingetragen werden, auch kann man den Zeitpunkt der Aufnahme hinzuschreiben. Ohne die Glocke abzuheben, kann man die Stellung der Nadel jederzeit ändern, indem man durch das Loch greift, das oben in der Glocke ist,

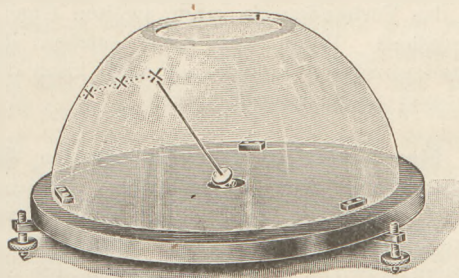


Fig. 2.

und dessen Öffnungswinkel so klein ist, daß für unsere Breiten auch noch der höchste Sonnenstand auf das Glas fällt. Daß der Durchgang der Strahlen durch das Glas an der Erscheinung nichts ändert, kann dem der Optik Unkundigen durch Abheben der Glocke gezeigt werden. Am Rand der Glocke und auf dem Grundbrett ist dauernd eine Marke angebracht, so daß die Glocke immer in derselben Lage aufgesetzt werden kann. Damit sich auch noch die tiefsten Sonnenstellungen aufnehmen lassen, befindet sich in *D* kein Kugelgelenk, sondern es ist unter *D* ein

zylindrisches Gelenk für die Drehungen um die senkrechte Achse, und in *D* ein Scharnier für die Drehungen um die wagerechte Achse.

Auf der Halbkugel und auf dem Horizontkreis lassen sich nach der punktweisen Aufnahme von Sonnenbahnen Tagbogen, Himmelsäquator, Parallelkreis, Südpunkt, Aufgangspunkt, Morgenweite aufsuchen und mit Stift und Kreide einzeichnen. Winkel, z. B. Deklinationen, können auf der Glocke mit einem gewöhnlichen Zentimetermeßband gemessen werden; der Glockendurchmesser ist so gewählt, daß 3 mm gleich einem Grad sind. Azimut- und Höhenwinkel lassen sich infolge der Einrichtung des Gelenks gut erläutern und dadurch das Verständnis des Theodoliten vorbereiten.

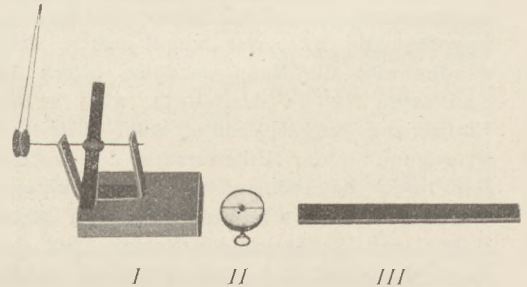
Damit man die Aufnahme der Sonnenbahn auch in Böttchers Weise vornehmen kann, ist der innere Teil des Horizontbretts mit dem Zeiger nach unten herausnehmbar gemacht (bei *aa'*). An Stelle dieses Teils kann das Brettchen *bb'* eingesetzt werden. Auf seiner weißgestrichenen Fläche ist der Mittelpunkt *M* als schwarzer Punkt gezeichnet. Der Fettstift ist dann so anzusetzen, daß der Schatten seiner Spitze auf *M* fällt, oder es ist mit Hilfe eines mit einem Loch versehenen Kartenblattes, das man auf die Glocke hält, ein Sonnenbildchen nach *M* zu werfen. Für dieses Verfahren kann statt der oben offenen auch eine volle Halbkugel verwandt werden. Überhaupt ist das Vorhandensein einer zweiten Glocke vorteilhaft. Wenn auf einer solchen die Stundenkreise aufgezeichnet sind, kann der Apparat als Sonnenuhr dienen¹⁾. *P.*

Eine Anordnung zur Demonstration der „Resonanz“. Von *P. Ludewig*. (*Physikal. Zeitschr.* 16, S. 13, 1915.) Wenn eine äußere periodische Kraft auf ein schwingungsfähiges System einwirkt, so wird seine Amplitude ein Maximum, wenn die Periode der äußeren Kraft mit der des schwingungsfähigen Systems übereinstimmt. Diese Resonanzerscheinung läßt sich in folgender Weise demonstrieren (siehe die Figur).

Ein Magnet *I* ist mit einer dünnen Achse versehen und kann durch einen Motor in

Umdrehungen versetzt werden: er liefert die äußere periodische Kraft und wirkt auf das schwingungsfähige System einer kleinen Magnetnadel (Magnet *II*), die entweder im Felde des Erdmagnetismus oder in dem des rechts liegenden Magneten *III* schwingt. Erhöht man langsam die Umlaufgeschwindigkeit des Magneten *I*, so wird bei einer bestimmten Umlaufgeschwindigkeit die Magnetnadel in Resonanz kommen und mit großer Amplitude schwingen, während sie bei größerer oder kleinerer Umlaufzahl in Ruhe bleibt.

Die gleiche Anordnung kann man auch noch in anderer Weise verwenden und damit einen Versuch aus der Praxis der drahtlosen Telegraphie ins Mechanische übertragen. Dort haben die ankommenden Wellen eine ganz bestimmte konstante Schwingungszahl,



und man stellt auf der Empfangsstation durch Abstimmen des Empfangsschwingungskreises (Drehkondensator) auf die ankommende Welle ein, bringt also den Empfangsschwingungskreis in Resonanz mit der ankommenden Welle. Derselbe Versuch läßt sich mit der Anordnung der Fig. 1 ausführen. Der Magnet *I* wird durch einen Motor mit konstant bleibender Umlaufzahl gedreht und bildet das Sendesystem. Zur Einstimmung des Empfangssystems (Magnetnadel) muß deren Frequenz geändert werden. Dies geschieht durch Näherrücken des Magneten *III*, da dadurch die Direktionskraft, die auf die Magnetnadel wirkt, vergrößert und damit die Möglichkeit gegeben wird, die Schwingungszahl der Magnetnadel zu erhöhen. Bei einer bestimmten Entfernung des Magneten *III* von der Magnetnadel ist das Empfangssystem auf das Sendesystem abgestimmt und die Magnetnadel schwingt in Resonanz mit großer Amplitude. — Die Anordnung wird von den physikalischen Werkstätten für die Erdforschung des Erdinnern, Göttingen, in den Handel gebracht. *L.*

¹⁾ Der beschriebene Apparat wird von der Firma Max Kohl, A.-G., Chemnitz, geliefert. Der Preis beträgt M 32,—; mit einer zweiten Glasglocke ohne Öffnung und mit herausnehmbarem Mittelteil M 45,—.

2. Forschungen und Ergebnisse.

Aus der Optik. Einen Beitrag zur Kenntnis der langwelligen Reststrahlen geben H. RUBENS und H. v. WARTENBERG¹⁾. Zur Untersuchung gelangten die Reststrahlen von Steinsalz, Sylvin, Salmiak, Bromkalium, Jodkalium, Kalkspat, Chlorsilber, Bromsilber, Bleichlorid, Kalomel, die Halogenverbindungen des Ammoniums und Thalliums. Die Substanzen wurden als feine Pulver zwischen Stahlstempeln mit Hilfe einer hydraulischen Presse bei 300 Atm. zu festen Platten zusammengedrückt und diese auf der Drehbank abgedreht. Die Platten wurden nicht poliert, da die langwelligen Reststrahlen auch von sehr rauhen Oberflächen noch vollkommen geometrisch reflektiert, die kurzwelligen Strahlen dagegen diffus zerstreut werden. Nach 3 oder 4 Reflexionen erwiesen sich die Reststrahlen als fast rein. Die bisher noch nicht bekannten Reststrahlen des Ammoniumchlorids liegen bei $51,5 \mu$, die des Ammoniumbromids bei $58,5$, des Thalliumchlorürs bei $91,6$, -bromürs bei 117μ , -jodürs bei $151,8 \mu$. Die Verf. verglichen die Wellenlängen der Reststrahlen mit den aus den Formeln von Madelung und Lindemann zu berechnenden Wellenlängen der Eigenfrequenzen der einzelnen Stoffe und fanden, daß die Formeln im wesentlichen den Tatsachen gerecht werden.

Die gleichen Reststrahlen und außerdem noch die langwellige Strahlung der Quarzquecksilberlampe benutzte H. RUBENS zur Bestimmung des Reflexionsvermögens einer Anzahl fester und flüssiger Körper (Kalkspat, Marmor, Gips, Flußspat, Steinsalz, Sylvin, Bromkalium usw., Wasser, Schwefelsäure, Glycerin, Rizinusöl)²⁾. Die Reststrahlen wurden möglichst von jeder kurzwelligen Beimischung befreit; dies geschah teils durch Einschalten absorbierender Platten, teils durch mehrfache Reflexionen, teils durch Reflexion an einer berußten Messingplatte, indem die Rußschicht die Wellenlängen $> 50 \mu$ fast ungeschwächt hindurchläßt, die unter 5μ dagegen fast vollständig absorbiert. Die von der Lichtquelle kommende Strahlung wurde durch einen Silberspiegel unter etwa 10° auf den Spiegel S der zu prüfenden Substanz und durch einen zweiten Silberspiegel in einen Kasten geworfen, in dem sich die Reststrahlenplatte und ein Hohlspiegel befanden,

der ein Bild der Strahlenquelle auf dem Thermoelement eines Mikroradiometers entwarf. An die Stelle von S wurde dann ein Silberspiegel gebracht; das Verhältnis der Ausschläge in beiden Fällen gab R . Bei der langwelligen Quecksilberdampfstrahlung wurde die Rubens-Woodsche Anordnung gewählt. Bei den festen Körpern nimmt R zunächst mit wachsendem λ ab, steigt dann plötzlich zu sehr hohen Werten an, um nach Erreichung des Maximums erst schnell, dann langsam abzusinken. Bei Körpern mit komplizierterem Bau (Kalkspat, Gips) waren mehrere Maxima vorhanden. Bei den Flüssigkeiten waren die Reflexionskurven weniger ausgeprägt, Rizinusöl zeigte innerhalb des ganzen Spektralgebiets nahezu das gleiche Reflexionsvermögen, Wasser dagegen eine stetige Zunahme von R mit wachsendem λ . Die Reflexionskurven des Chlorsilbers, Bromsilbers, Bleichlorids und der Thalliumsalze ließen die Inhomogenität erkennen, die auch die Reststrahlen dieser Stoffe zeigen.

Nach Maxwell ist das Reflexionsvermögen eines Stoffes $R = 100 \left(\frac{\sqrt{D} - 1}{\sqrt{D} + 1} \right)^2$,

wo D die Dielektrizitätskonstante bedeutet. Um diese Formel zu prüfen, bestimmte RUBENS D , soweit es nicht bekannt war, mit Hilfe der Lecherschen Versuchsanordnung. Aus den Messungen ging hervor, daß bei allen festen Körpern R für langwellige Strahlung von den aus D berechneten Werten von R_∞ nur wenig verschieden ist. Daraus würde folgen, daß jenseits des betrachteten ultraroten Spektralgebiets bei diesen Körpern keine anormale Dispersion besteht. Dagegen war bei den Flüssigkeiten R_∞ größer als das optisch gemessene Reflexionsvermögen. Hier wäre im Gebiet der Hertzschen Wellen anormale Dispersion zu erwarten, die auch tatsächlich beobachtet wird.

Schon früher war von J. Stark die teilweise Polarisation der Lichtemission der Wasserstoffkanalstrahlen festgestellt worden. In einer weiteren Arbeit untersuchte STARK zusammen mit H. LUNELUND die Serien- und Bandenlinien der Kanalstrahlen getrennt auf Polarisation³⁾. Dazu wurde die Achse des Spaltrohrs eines Spektrographen senkrecht zur Achse eines Kanal-

¹⁾ Sitzungsber. d. Kgl. Preuß. Akademie der Wissensch. 1914, S. 169.

²⁾ a. a. O., 1915, S. 4.

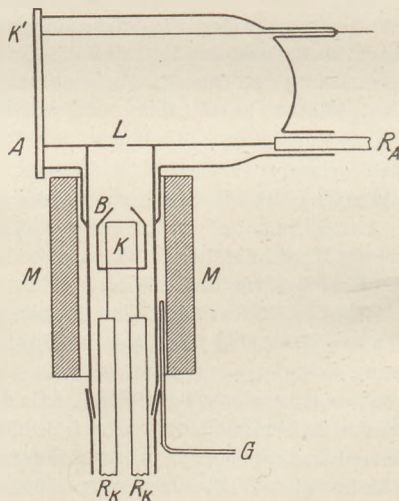
³⁾ Ann. d. Physik 46, 68 (1915).

strahlenbündels so aufgestellt, daß sie diese 2–3 cm hinter der Kathode, aus deren Löchern die Kanalstrahlen austraten, schnitten. Mittels eines Objektivs und einer Wollastonplatte wurden von dem Kanalstrahlenbündel zwei senkrecht zueinander polarisierte Bilder so auf dem Spektrographenspalt entworfen, daß die Schwingungen in dem einen Bild parallel, in dem andern senkrecht zu den Kanalstrahlen erfolgten. Man erhielt so auf der photographischen Platte von einer jeden Linie, welche die Kanalstrahlen emittieren, übereinander zwei Bilder, ein p - und ein s -Bild. Aus deren Schwärzungen S_p und S_s läßt sich ihr Intensitätsverhältnis J_p/J_s ermitteln. Es ergab sich, daß die Emission der H -Bandenlinien und der ruhenden H -Serienlinien unpolarisiert ist. Dagegen war die Emission der bewegten H -Serienlinien polarisiert, und zwar war die Intensität der Schwingungen parallel der Geschwindigkeitsachse mehr als 20–35 % intensiver, als die Intensität der Schwingungen senkrecht dazu. Daraus dürfte hier auf einen Zusammenhang zwischen der Bewegung der Kanalstrahlenteilchen und der Beschleunigung ihrer emittierenden Serien-Elektronen zu schließen sein, während bei den ruhenden Serien- und Bandenlinien ein solcher Zusammenhang fehlt.

Eine durch Ultra-Schumann-Wellen erzeugte Fluoreszenz von Gasen wurde von R. W. WOOD und G. A. HEMSALECH beobachtet⁴⁾. In einer „Funkenkammer“ wurde zwischen Kupferelektroden ein elektrischer Funke erzeugt, dessen Licht in einem zweiten Raum, der „Strahlkammer“, das Gas zur Fluoreszenz erregte. Durch eine Quarz-Fluorapatlinse und ein Quarzprisma wurde ein spektral zerlegtes Bild der Fluoreszenz-Erscheinung auf eine photographische Platte geworfen. Durch ein Seitenrohr wurde die Strahlkammer mit einem bestimmten Gas gefüllt; außerdem konnte ein bewegter Gasstrom gegen den Fluoreszenzstrahl gerichtet werden. Die Verf. reproduzieren die so in Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff erhaltenen Streifen; bei allen zeigte sich noch eine besondere „Wasserbande“. Das Gas in der Funkenkammer war ohne Einfluß auf das Fluoreszenzspektrum des Gases in der Strahlkammer. Luft fluoreszierte nur, wenn sie in Ruhe war; die Stickstoffbanden dagegen waren heller bei bewegtem Gase. Der Sauerstoff scheint das Bestreben zu haben, die Fluoreszenz der Gase, denen er beigemischt

ist, zu vermindern. Joddampf zeigte in einem warmen Stickstoffstrom Fluoreszenz, in einem warmen Luftstrom nicht. Wurde eine dünne Quarz- oder Fluorapatplatte zwischen den Funken und die Strahlkammer gebracht, so blieb die Fluoreszenz bestehen; nur die Exposition dauerte länger. Es erscheint den Verf. wahrscheinlich, daß die Fluoreszenz durch ultraviolette Strahlen erregt wird, die, viel kürzer als die Schumann-Wellen, leicht durch Fluorapat hindurchgehen.

Um ein Gas durch Elektronen einer bestimmten Geschwindigkeit zum Leuchten anzuregen, brachten E. Gehrke und R. Seeliger einen Kathodenstrahl von einheitlicher Geschwindigkeit in das Gas und bremsten den Strahl durch ein gegengeschaltetes Feld bis auf die Geschwindigkeit Null ab. Man erhielt dann gleichzeitig und räumlich voneinander getrennt die durch Strahlen verschiedener Geschwindigkeit erregbaren Teile des Spektrums (d. Zeitschr. XXVI, 113). R. SEELIGER hat durch Verbesserung der Methode die Leuchterscheinung so erhöht, daß die photographischen Aufnahmen in dem zehnten Teile der früher dazu nötigen Zeit gemacht werden konnten⁵⁾. In Fig. 1 sind



K die Oxydglühkathode, R_K die Zuführungen von Spannung und Heizstrom, B eine Metallbüchse zur Konzentration der von K kommenden Kathodenstrahlen; dem gleichen Zweck diente ein von der Stromspule M geliefertes longitudinales Magnetfeld. Das zu untersuchende Gas wurde durch die Kapillare G zugeleitet und durch ein anderes (nicht sichtbares) Rohr im Beobachtungsraum mit einer

⁴⁾ Phys. Zeitschr. 15, 572 (1914).

⁵⁾ Phys. Zeitschr. 16, 55 (1915).

Gaede-Pumpe abgepumpt. In diesen Beobachtungsraum gelangten die Strahlen durch das Loch L in der Messingplatte der Anode A , der eine gleiche Platte als Kathode K' gegenüber stand. Die Zuführungen zur Kathode R_K und Anode R_A waren Röhren, die beständig von kaltem Wasser durchspült waren. Bei richtiger Einstellung und günstig gewählten Bedingungen von Druck und Stromstärke schoß ein Kathodenstrahl in Form eines scharf begrenzten Zylinders von etwa 3 mm Durchmesser in das verzögernde Feld zwischen A und K' hinein und wurde in $\frac{2}{3}$ des Abstandes $K'A$ bis auf die Geschwindigkeit Null abgebremst und zur Umkehrung gebracht. Der Teil des Strahles in der Umgebung der Umkehrstelle wurde auf dem Spalt des Spektralapparates abgebildet, so daß man auf der Platte gleichzeitig und räumlich voneinander getrennt die Spektren der einzelnen Strahlteile erhielt. Über dem Umkehrpunkt war ebenfalls ein Leuchten des Gases wahrzunehmen. Dieses ist zurückzuführen auf positive Teilchen, die, von dem ionisierenden Kathodenstrahl erzeugt, durch das Feld AK' beschleunigt werden, d. h. Kanalstrahlen. Man erhält auf diese Weise drei Spektren desselben Gases, die bzw. durch schnelle, durch langsame Kathodenstrahlen und durch Kanalstrahlen angeregt sind.

Mit der beschriebenen Methode wurden die Emissionsbedingungen einiger Bandenspektren des Stickstoffs und Kohlenstoffs untersucht. Die Stickstoffbanden der zweiten positiven Gruppe wurden stark angeregt durch langsame Kathodenstrahlen, nur sehr schwach von schnelleren Strahlen und überhaupt nicht von Kanalstrahlen. Dagegen wurden die Banden der negativen Gruppe am stärksten angeregt von schnellen Kathodenstrahlen, wesentlich schwächer von langsamen Kathodenstrahlen und Kanalstrahlen. Die Banden des Kohlenstoffs und seiner Verbindungen zeigten keinen Unterschied in der Anregung durch schnelle oder langsame Kathodenstrahlen. Durch Kanalstrahlen wurden die $C\gamma$ ($C + H$)- und die Swanschen Banden nur schwach, die CO -Banden überhaupt nicht angeregt.

Vermittelt der lichtelektrischen Kaliumzellen von Elster und Geitel konnte die lichtelektrische Methode mit großem Vorteil zu astrophotometrischen Beobachtungen benutzt werden. Wie P. GUTHNICK mitteilt, wurden von ihm und PRAGER seit 1913 auf der Babelsberger Sternwarte solche Untersuchungen, namentlich auf dem

Gebiet der veränderlichen Sterne, angestellt⁶⁾. Das Bild des Sterns wird in der Brennebene des Objektivs eingestellt; sein Licht gelangt in die in eine lichtdichte Kapsel eingeschlossene Zelle. An der Kapsel hängt in einem Cardanischen Gehäuse das Elektrometer, die Aufladung des Elektrometerfadens wurde durch die Methode der Aufladezeiten gemessen, indem der Durchgang des Fadens durch zwei bestimmte Skalenteile mit Taster und Chronograph nach Art der Stromdurchgänge im Meridianinstrument registriert wurde. Eine Probeuntersuchung ergab für ein Helligkeitsintervall von 2,6 Größenklassen strenge Proportionalität zwischen erregender Lichtintensität und Geschwindigkeit des Elektrometerfadens. Der Apparat wurde zunächst auf das spektroskopische Doppelstern-System β Cephei angewandt, das bei einer Umlaufzeit von nur 4,6 Stunden mit den bisherigen astrophotometrischen Methoden keine Helligkeitsschwankungen zeigte. Mit der lichtelektrischen Methode waren aber Schwankungen von 4,6stündiger Periode nachzuweisen; die Amplitude der Schwankung betrug 5% der Gesamtintensität. Der Charakter der Lichtkurve ist ähnlich dem der Veränderlichen vom δ Cephei-Typus, bei der man aus früheren Helligkeits-Beobachtungen geschlossen hat, daß diese Systeme in ein Medium eingeschlossen sind, durch dessen Widerstand die Vorderseite der Trägerin des Lichtwechsels von der absorbierenden Atmosphäre teilweise entblößt wird. Auch bei anderen Veränderlichen (α Canum venaticorum mit $5\frac{1}{2}$ tägiger, γ Bootis mit 7stündiger Periode) erfolgten die Helligkeitsschwankungen konform mit der Bahnbewegung. Bei γ Bootis zeigte sich noch ein sekundäres Maximum, das auf Grund von Radialgeschwindigkeitsmessungen vermutet, aber durch periodische Verschiebung der Spektrallinien noch nicht beobachtet wurde, so daß sich die Photozelle hier dem Spektrographen als überlegen zeigte. Weitere Beobachtungen betrafen den Planeten Mars, dessen Helligkeitsschwankungen mit seiner Rotationsperiode (24,6 Stunden) zusammenfallen, wobei das Maximum eintritt, wenn die fleckenleerste, das Minimum, wenn die fleckenreichste Gegend uns zugekehrt ist. — Der Apparat in Verbindung mit dem 30 cm-Reflektor gestattet jetzt, Sterne der 7. Größe zu messen; der Verf. hofft aber, daß man durch Steigerung der Empfindlichkeit der Methode bis zur 14. oder 15. Größe gelangen wird.

⁶⁾ Verh. d. Deutsch. Phys. Ges. 16, 1021 (1914)

Den Energieumsatz bei photochemischen Vorgängen in Gasen behandelt E. WARBURG in einer Reihe von Arbeiten⁷⁾. Wird bei einem photochemischen Vorgang Strahlungsenergie von der Wellenlänge λ absorbiert, so ist nach dem Einsteinschen Äquivalentgesetz die primär zerlegte Menge in Mol pro absorbierte Grammkalorie $p = \lambda/1,98 \cdot c$, wo $c = 14300$, λ in Mikron ausgedrückt wird. Auf die primäre Reaktion folgt eine sekundäre, die, unabhängig von der Strahlung, zu den beobachtbaren Endprodukten führt. WARBURG untersuchte nun die photochemische Ozonisierung des Sauerstoffs für verschiedene Wellenlängen und Drucke. Die Bestrahlung erfolgte mit den Zinklinien $\lambda = 0,209$ und $0,253 \mu$. Es ergab sich, daß die für eine absorbierte Grammkalorie gebildete Ozonmenge bei $\lambda = 0,209 \mu$ und dem Druck $P = 125 \text{ kg/qcm}$ in naher Übereinstimmung mit dem Einsteinschen Gesetz, dagegen für $\lambda = 0,253 \mu$ bei demselben Druck nur 55 %, bei $P = 300 \text{ kg/qcm}$ 29 % des theoretischen Wertes war; p nimmt also mit dem Druck ab. Die Einsteinsche Theorie beruht auf der Annahme, daß 1. bei der Absorption jedesmal ein Energiequantum aufgenommen wird; 2. daß alle absorbierten Moleküle zersetzt werden. Die zweite Annahme will WARBURG fallen lassen und $p = \frac{\lambda}{1,98 \cdot c} \cdot f(\lambda, P)$ setzen, wo f den Bruchteil der zersetzten Moleküle angibt. Da der erste Faktor für $\lambda = 0$, der zweite für $\lambda = \infty$ verschwindet, so müßte p für einen bestimmten Druck und eine bestimmte Wellenlänge ein Maximum sein, deren Nachweis für die Theorie von Bedeutung wäre.

Weiter untersuchte WARBURG, wie die Absorption ultravioletter Strahlung in Gasen vom Druck abhängt. Aus theoretischen Überlegungen folgerte er, daß der Absorptionskoeffizient $\alpha = P \cdot \mu$ ist, wo P der Druck, μ eine der molekularen Absorptionsfähigkeit proportionale Größe bedeutet. Da μ von der Weglänge abhängt, so bleibt α konstant, wenn P auf $1/n$ verkleinert, gleichzeitig die Weglänge auf das n -fache vergrößert wird. Das Gas folgt dann dem Beerschen Gesetz; doch findet man in vielen Fällen, daß μ mit wachsendem Druck wächst, das Beersche Gesetz also nicht erfüllt ist. WARBURG hatte das Gas entweder in Ruhe oder strömend in Druckzellen, und maß bolometrisch die Energie

der aus der Zelle tretenden Strahlung bei Atmosphärendruck und einen zweiten höheren Druck. Der Absorptionskoeffizient α war für kleine Drucke proportional P^2 , für große Drucke proportional P . Das spricht für die Ängströmsche Ansicht, daß die Abweichungen vom Beerschen Gesetz, von den Zusammenstößen der Moleküle, herrühren.

Unter Heranziehung der Kohlensäureassimilation und der bekannten Jodstärke-reaktion gelang es H. MOLISCH, im lebenden Laubblatt Photographien zu erzeugen⁸⁾. Für den Versuch eignete sich besonders das Blatt der Kapuzinerkresse (*Tropaeolum majus*). Das frisch abgeschnittene Blatt wurde $\frac{1}{2}$ Minute in siedendem Wasser abgebrüht und dann in warmen 80 proz. Alkohol gebracht, um das Blattgrün auszuziehen. Bringt man das so präparierte, weiß gewordene Blatt in verdünnte Jodtinktur, so färbt es sich im Licht je nach der darin vorhandenen Stärkemenge hellviolett bis blauschwarz. Eine heraufgelegte Schablone — es genügt auch grob bedrucktes Zeitungspapier — bildet sich dann auf dem Blatt ab. Wird ein kontrastreiches Negativ fest auf das Blatt gelegt und dieses einige Stunden dem Sonnenlicht und dann der Jodprobe ausgesetzt, so zeigt sich das Positiv auf dem Blatte. Wichtig ist, daß das Blatt zu Beginn des Versuchs ganz stärkefrei ist, was in der Nacht oder nach mehrtägiger Umhüllung mit schwarzem Papier eintritt. — Die Versuche zeigen, daß die Stärke im lebenden Blatt entsprechend der Intensität und der Dauer des Lichts quantitativ entsteht. Das grüne Blatt verhält sich also wie eine photographische Platte.

Daguerrotypien mittels Kadmiumdampfes haben A. KALÄHNE und W. FEDERLIN hergestellt⁹⁾. Dazu wurden versilberte und blank polierte Kupferplatten jodiert, d. h., ungefähr 5 Minuten in einem Holzkasten Joddämpfen ausgesetzt. Die jodierten Platten wurden unter einem photographischen Negativ 10 Minuten lang belichtet und dann Kadmiumdämpfen ausgesetzt. Nach 3 Stunden erschienen auf der Platte die ersten Spuren eines Bildes, und nach 7 Stunden war das Bild deutlich sichtbar und konnte durch Natriumthiosulfatlösung fixiert werden. Die Versuche sollen auch auf andere Metaldämpfe ausgedehnt werden, die möglicherweise eine ähnliche Wirkung zeigen. *Schk.*

⁷⁾ Sitzungsber. d. Kgl. Preuß. Akad. d. Wiss. 1914, S. 872; 1915, S. 230.

⁸⁾ Die Umschau XIX, 227 (1915).

⁹⁾ Verh. d. Deutschen Phys. Ges. 16, 931 (1914).

Magnetische Untersuchungen. Schon 1895 hatte Curie gefunden, daß die Suszeptibilität paramagnetischer Körper umgekehrt proportional der absoluten Temperatur ist. Doch wurde später, namentlich durch die Untersuchungen von Kamerlingh Onnes und Perrier bei flüssigem und festem Sauerstoff gefunden, daß ein Körper, der bei höheren Temperaturen dem Curieschen Gesetz folgt, bei niedrigen Temperaturen davon abweichen kann. Sie kamen zu der Vorstellung, daß diese Abweichungen bestimmt werden durch ein Gesetz korrespondierender Zustände, so daß für jeden Stoff die in Rechnung zu bringende Temperatur proportional mit einer für diesen Stoff charakteristischen Temperatur gesetzt werden muß. Langevin hat das Curiesche Gesetz theoretisch abgeleitet. Er gelangt zu dem Resultat, daß die Suszeptibilität umgekehrt proportional mit der kinetischen Energie der Rotation der Moleküle ist; nimmt man diese proportional der absoluten Temperatur, so erhält man das Curiesche Gesetz. E. OOSTERHUIS suchte die Abweichungen vom Curieschen Gesetz dadurch zu erklären, daß er die Rotationsenergie proportional einer anderen, von Einstein und Stern angegebenen Temperaturfunktion U setzte, so daß dann die Suszeptibilität χ proportional $1/U$ wird. Diese Theorie führt zur Annahme einer vorhandenen Nullpunktsenergie¹⁾. Wie R. GANS ausführt, brauchen aber die magnetischen Messungen an paramagnetischen Substanzen zu dieser Annahme nicht zu führen²⁾. Er stellte eine Formel auf, welche die Suszeptibilität nicht nur in der Abhängigkeit von der Temperatur, sondern auch von der Dichte darstellt. Das Wesentliche bei GANS ist die Einführung eines Molekularfeldes, das auch ohne äußeres Feld auf jeden Elementarmagneten durch die Nachbarmagnete ausgeübt wird, und das auch beim absoluten Nullpunkt eine Direktionskraft hervorruft. Bei hohen Temperaturen ist der Einfluß des Molekularfeldes gering, da dann seine sättigungshindernde Wirkung gegen die der Wärmebewegung vernachlässigt werden kann; es gilt dann eben das Curiesche Gesetz, und die Langevinschen Annahmen gelten.

Weitere Aufschlüsse über diese Fragen geben neuere Untersuchungen über die Suszeptibilität des flüssigen und festen Sauerstoffs von H. KAMERLINGH ONNES und

A. PERRIER³⁾. Die zu untersuchende Substanz wurde in Form eines zylindrischen Stäbchens in ein inhomogenes Magnetfeld gebracht; die Kraft, die das Stäbchen hier erfährt, wurde entweder durch elektromagnetische Anziehung zweier Stromspulen oder durch aufgesetzte Gewichte kompensiert. Der Sauerstoff wurde in einem Glasröhrchen kondensiert und dann zum Frieren gebracht; das so erhaltene Stäbchen von festem Sauerstoff wurde in einem Strom von kaltem gasförmigen Wasserstoff gekühlt, dessen Temperatur reguliert werden konnte. Als Ergebnis der Beobachtungen zeigte sich, daß die spezifische Suszeptibilität χ (pro Gramm) des Sauerstoffs beim Gefrieren sich sprungweise ändert, indem der Wert von χ für festen Sauerstoff beim Schmelzpunkt etwa $\frac{1}{3}$ des Wertes für flüssigen Sauerstoff beträgt. Vom Gefrierpunkt bis -240°C bleibt χ für festen Sauerstoff ziemlich konstant; bei -240°C springt die Suszeptibilität wieder auf etwa die Hälfte des Wertes; von -240° bis -259° nimmt sie dann noch etwas ab. Die Verf. mischten den paramagnetischen flüssigen Sauerstoff mit dem indifferenten Stickstoff in wechselnden Verhältnissen, wodurch also die Dichte verändert werden konnte. Es ergaben sich für χ um so größere Werte, je mehr Stickstoff hinzugefügt wurde. Für sehr verdünnte Mischungen näherte sich χ dem Wert, der nach Curies Gesetz aus der für gasförmigen Sauerstoff gefundenen Suszeptibilität berechnet wird. Der Wert der Curie-Konstante $\chi \cdot T$ war für alle Konzentrationen der gleiche. Auch die Verf. erklären die Resultate durch Annahme eines negativen Molekularfeldes, das für Sauerstoff als proportional der Dichte anzunehmen ist.

Bei den meisten Kupfer-Zinklegierungen wurde bisher Diamagnetismus festgestellt, der bei stärker werdendem Felde sich normal verschiebt, d. h. eine von der Feldstärke unabhängige Suszeptibilität ergab. K. OVERBECK beobachtete bei einigen Legierungen ein ganz anderes Verhalten⁴⁾: bei schwachem Felde Paramagnetismus, der bei stärkerem Felde abnahm, ja sogar in Diamagnetismus überging; die Suszeptibilität hing also von der Feldstärke ab. Der Verf. nennt diese metamagnetische Legierungen. Sie wurden hergestellt, indem entweder in das flüssige Kupfer Zink oder

¹⁾ Phys. Zeitschr. **14**, 862 (1913).

²⁾ Verh. d. Deutschen Phys. Ges. **16**, 780, 964 (1914).

³⁾ Versl. K. Ak. van Wet **22**, 499, 835, 1002, 1004, 1012, 1033 (1914); Comm. Phys. Lab. Leiden 139a-e; Beiblätter **38**, 836-838 (1914).

⁴⁾ Ann. d. Phys. **46**, 677 (1915).

in das flüssige Zink Kupfer in verschiedensten Mengen hineingeworfen wurde. Zwischen den Polen eines Elektromagneten wurde ein Stäbchen der Legierung in bezug auf seine Suszeptibilität untersucht. Einige jener Legierungen zeigten dann bei einem Felde von 3000 bis 12000 Gauß jenen Übergang vom Paramagnetismus zum Diamagnetismus. Die Abhängigkeit der Suszeptibilität vom Felde findet sich auch bei den Sättigungserscheinungen des Eisens; und es lag nahe, den Metamagnetismus jener Legierungen auf sehr geringe Eisenbeimengungen zurückzuführen. Um dieses zu untersuchen, wurde der Einfluß von Eisenbeimengungen auf reines Zink und reines Kupfer untersucht; bei beiden ergab sich kein Metamagnetismus. Dagegen zeigte die Legierung beider zu Messing bei einem bestimmten Zusatz von Eisen tatsächlich den Metamagnetismus. Im Porzellantiegel betrug dieser Zusatz 0,233 Promille, im Tontiegel 0,135 Promille Eisen; die Differenz beruht wahrscheinlich auf dem von dem flüssigen Metall aus dem unreinen Ton herausgeholt Eisen. Durch Zusatz von Borax oder Aluminium wurde der Einfluß des Eisens gestärkt; eine Beobachtung, die auch bei den Heuslerschen Legierungen gemacht worden ist.

Als Träger der ferromagnetischen Eigenschaften der Aluminium-Manganbronzen hatte Heusler die chemische Verbindung $[Al(Mn, Cu)_3 \dots]_x$ gefunden (diese Zeitschr. XXV, 49). Es war anzunehmen, daß die ebenfalls stark magnetischen Zinn-Manganbronzen eine ähnliche Verbindung als Träger des Magnetismus enthalten. Um dieses festzustellen, dienten magnetometrische Messungen von E. TAKE und A. SEMM⁵⁾. Dazu wurden die Sättigungswerte bestimmt, welche von verschieden zusammengesetzten Legierungen nach längerer Alterung in siedendem Toluol erhalten wurden. In einer Versuchsreihe

wurde 30prozentiges, in einer anderen 15prozentiges Mangankupfer mit wechselnden Mengen Zinn legiert. In der graphischen Darstellung sind die Abszissen die Atomprozent Zinn, die Ordinaten die Sättigungswerte der Magnetisierung nach 1500stündiger Alterung bei 110°. In beiden Kurven liegt das erste, stark ausgeprägte Maximum der Magnetisierung bei 25 Atomprozent Zinn, entsprechend dem Atomverhältnis $Sn(Mn, Cu)_3$. Wie Heusler es auch erwartet hatte, besteht also eine vollständige Analogie mit der Aluminiumlegierung, indem das Auftreten der ferromagnetischen Eigenschaften auch hier an die chemische Verbindung $[Sn(Mn, Cu)_3]_x$ geknüpft ist. Außer dem Hauptmaximum zeigen die Magnetisierungskurven noch ein zweites flacheres Maximum, dessen Erklärung noch nicht gelungen ist.

Trotz der chemischen Analogie zeigten die magnetischen Mangan- und Zinnlegierungen in anderer Beziehung auch große Unterschiede. Während bei den Aluminium-Manganbronzen die Umwandlungstemperatur erheblich von der thermischen Vorbehandlung abhängt, ließ bei den Zinnmanganbronzen rasche oder langsame Abkühlung von 600° auf Zimmertemperatur kaum eine Verschiebung der Umwandlungstemperatur erkennen; diese lag ursprünglich zwischen 240 und 285°, nach 1500stündiger Alterung zwischen 300 und 306°. Während ferner die abgeschreckten Aluminium-Manganbronzen vor der Alterung nur schwach magnetisierbar sind und erst durch Alterung stark ferromagnetisch werden, zeigen die Zinn-Manganbronzen bereits bei Beginn der Alterung eine relativ hohe Magnetisierung, die durch längere Alterung nicht verstärkt wird. Manche Legierungen zeigen sogar gleich nach Beginn der Alterung eine starke Abnahme, dann erst wieder eine Zunahme der Magnetisierung.

Schk.

3. Geschichte und Erkenntnislehre.

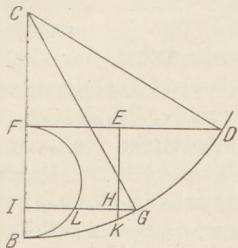
Zur Geschichte des Pendelgesetzes. Im *Archiv für die Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik* (Bd. V, Heft 3, März 1914) behandelt A. HECKSCHER die historische Herleitung der Pendelgesetze. Nachdem Galilei die Grundgesetze des Fadenpendels empirisch gefunden und ihren Zusammenhang mit dem Fall auf der schiefen Ebene dargelegt hatte, wandte sich Huygens zunächst der Unter-

suchung des Zyklidenpendels zu und leitete aus dessen Bewegungsgesetz das des Fadenpendels ab. NEWTON fand, daß die Schwingungsdauer umgekehrt proportional der Quadratwurzel aus dem Gewicht, d. h. aus der Beschleunigung g der Schwere zu setzen ist. Die Ableitung der vollständigen Formel für die Schwingungsdauer des Fadenpendels unter Berücksichtigung der Amplitude hat zuerst Peter Elvius in den *Acta litteraria et scientiarum Suecia* vol. III, S. 71 im Jahre

⁵⁾ Verh. d. Deutsch. Phys. Ges. 16, 971 (1914).

1734 gegeben, was in keinem der bekannten Werke über die Geschichte der Mathematik und der Physik verzeichnet ist. Der Gang der Rechnung ist der folgende.

Die Rubelage des Pendels sei CB , die der größten Ablenkung α entsprechende CD .



Man fälle DF senkrecht zu CB . Ein beliebiger Punkt der Bahn des schweren Punktes sei G , ein um unendlich wenig tiefer gelegener Punkt K ; man ziehe KE parallel zu BC und GHI

parallel zu DF . Man setze die doppelte Länge des Pendels = a , also $CB = a/2$, ferner setze man $BF = b$, $BI = x$, also $FI = EI = b - x$, und die Fallzeit durch die halbe Länge des Pendels oder durch $a/4$ sei f .

Dann verhält sich die Fallzeit durch EII , die mit τ bezeichnet sei, zu der durch $a/4$ wie die Quadratwurzeln aus den Wegen, also

$$\tau : f = \sqrt{b-x} = \sqrt{a/4},$$

woraus

$$\tau = 2f \sqrt{\frac{b-x}{a}}.$$

Gehen wir von G um das kleine Stückchen GK weiter, so ergibt sich für die Änderung von τ

$$d\tau = \frac{-f dx}{\sqrt{a(b-x)}}.$$

Nun ist die Zeit $d\tau$ für den Fall durch HK mit der Zeit dt für den Fall durch den Bogen GK in Beziehung zu setzen. Sieht man das Bogenelement GK als gerade an, so folgt aus $\Delta GHK \sim \Delta CIG$:

$$\frac{GK}{HK} = \frac{GC}{GI} = \frac{a/2}{\sqrt{ax-x^2}},$$

es verhält sich aber die Fallzeit längs einer schiefen Ebene zu der Fallzeit durch ihre Höhe wie die Länge der schiefen Ebene zu ihrer Höhe, daher

$$\frac{dt}{d\tau} = \frac{a/2}{\sqrt{ax-x^2}},$$

$$\begin{aligned} dt &= \frac{-f dx \cdot a/2}{\sqrt{a(b-x)} \cdot \sqrt{ax-x^2}} \\ &= \frac{-1/2 f dx \sqrt{a}}{\sqrt{bx-x^2} \cdot \sqrt{a-x}}. \end{aligned}$$

Zur Integration wird darauf $(a-x)^{-1/2}$ in eine Reihe entwickelt:

$$\begin{aligned} dt &= -f \left\{ \frac{1}{2} \frac{dx}{\sqrt{bx-x^2}} + \frac{1}{2} \frac{x dx}{2a\sqrt{bx-x^2}} \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} \frac{x^2 dx}{2a^2\sqrt{bx-x^2}} + \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{5}{6} \frac{x^3 dx}{2a^3\sqrt{bx-x^2}} + \dots \right\}. \end{aligned}$$

Wird die Integration „nach Newtons Abhandlung über die Quadratur der Kurven“ (Ostwalds Klassiker Nr. 164 S. 20) ausgeführt, so ergibt sich

$$\begin{aligned} \int \frac{1}{2} \frac{dx}{\sqrt{bx-x^2}} &= \int \frac{1}{2} \frac{dx}{\sqrt{bx-x^2}}, \\ \frac{1}{2a} \int \frac{1}{2} \frac{x dx}{\sqrt{bx-x^2}} &= * \\ &\quad + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \frac{b}{a} \int \frac{1}{2} \frac{dx}{\sqrt{bx-x^2}}, \\ \frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4 a^2} \int \frac{1}{2} \frac{x^2 dx}{\sqrt{bx-x^2}} &= * * \\ &\quad + \left(\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4}\right)^2 \frac{b^2}{a^2} \int \frac{1}{2} \frac{dx}{\sqrt{bx-x^2}} \text{ usf.} \end{aligned}$$

Die fortgelassenen, mit * bezeichneten Glieder ergeben bei der Integration Ausdrücke, die die Faktoren $(b-x)$ und eine positive Potenz von x enthalten, also für $x=0$ und $x=b$ (die Grenzen des Integrals) verschwinden. In dem übrig bleibenden, vor die Klammer tretenden Integral substituiert man $b-x = z$, $x = b-z$, dann wird

$$-\int \frac{1}{2} \frac{dx}{\sqrt{bx-x^2}} = \int \frac{1}{2} \frac{dz}{\sqrt{bz-z^2}}.$$

Errichtet man nun über FB als Durchmesser den Halbkreis, so ist

$$\frac{\widehat{FL}}{FB} = \int_0^z \frac{1}{2} \frac{dz}{\sqrt{bz-z^2}}.$$

Das Integral nimmt daher für die ganze Fallstrecke FB den Wert π an; die Größe f ist nach dem Gesetz des freien Falls = $\sqrt{a/2} g$ = $\sqrt{l/g}$, und

$$\begin{aligned} T &= \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \left\{ 1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \frac{b}{2l} + \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4}\right)^2 \left(\frac{b}{2l}\right)^2 \right. \\ &\quad \left. + \left(\frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6}\right)^2 \left(\frac{b}{2l}\right)^3 + \dots \right\} \end{aligned}$$

Endlich kann man, wenn α die Amplitude bezeichnet, noch setzen

$$b = l(1 - \cos \alpha) = 2l \sin^2 \frac{\alpha}{2},$$

oder

$$\frac{b}{2l} = \sin^2 \frac{\alpha}{2},$$

dann wird

$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \left\{ 1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} + \left(\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4}\right)^2 \sin^4 \frac{\alpha}{2} + \left(\frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6}\right)^2 \sin^6 \frac{\alpha}{2} + \dots \right\}.$$

Eine Vereinfachung der Darstellungsweise ist späterhin durch die Theorie der elliptischen Funktionen möglich geworden. Euler hat (1777) das Problem auch für den Fall behandelt, daß $\alpha > 90^\circ$ ist, Legendre hat es noch weiter verallgemeinert für ein in vertikaler Ebene votierendes Pendel.

4. Unterricht und Methode.

Krieg und Unterricht. Über die Beziehungen zum Kriege, die dem Unterricht aus dem jetzigen gewaltigen Völkerringen erwachsen, liegt eine größere Zahl von Veröffentlichungen vor, aus denen wir in erster Reihe die Kriegshefte der Monatshefte für den naturwissenschaftlichen Unterricht (vgl. d. Zeitschr. 1915, Heft 1, S. 56) hervorheben wollen. Unter den für unsere Unterrichtsfächer wichtigen Aufsätzen ist besonders der von W. DONLE (München) über den Flug der Geschosse zu nennen, er bietet an der Hand der ballistischen Literatur eine große Zahl für den Unterricht brauchbarer Daten über die Geschößbahnen und deren Abweichung von der reinen Parabelform, die ja nur den Elementarvorgang und gleichsam das Grundschema der Wurfbewegung darstellt. Bei kleinen Anfangsgeschwindigkeiten, z. B. eines geschleuderten Steins oder Pfeils, ist die Verminderung durch den Luftwiderstand gemäß dem quadratischen Gesetz so unbedeutend, daß die Wurfkurve von der Parabelform kaum abweicht; bei dem deutschen Infanteriegeschöß M. 98/S (Kaliber 8,1 mm, Gewicht 10 g) ist der Einfluß so erheblich, daß die Geschwindigkeit von anfänglich 875 m/sec nach 2,01 sec bereits auf 301 m/sec, nach 6,5 sec (in 2000 m Entfernung) auf 166 m/sec gesunken ist. Mit zunehmender Größe des Geschosses vermindert sich der Einfluß des Luftwiderstandes, bei einer Feldgranate vom Kaliber 8,8 cm und dem Geschößgewicht 7 kg, Anfangsgeschwindigkeit

Eine elementare Ableitung der Formel $T = \pi \sqrt{l/g}$ für kleine Ausschlagswinkel hat zuerst Kulik in Baumgartner und v. Ettinghausen, Zeitschr. f. Physik u. Math., 1. Bd. 1826 gegeben und dabei bereits die Projektion einer gleichförmigen Kreisbewegung auf den Durchmesser benutzt. Grunert (Lehrbuch der Physik, Teil I) vermochte 1845 auch noch das zweite Glied der Reihe elementar abzuleiten; Julius Weingarten zeigte 1855 (Grunerts Archiv, Bd. 25) einen eleganteren Weg zu demselben Ziel; zwei Jahre früher hatte A. Gernerth (im Progr. des k. k. akad. Staatsgymn. in Wien 18'3) durch Benutzung trigonometrischer Additionsformeln die vollständige Reihe auf elementarem Wege hergeleitet.

Weitere Mitteilungen zur Geschichte des sphärischen und des physischen Pendels findet man a. a. O. Heft 4 und 5. P.

442 m/sec, nimmt diese erst nach mehr als 10 sec und in mehr als 3000 m Entfernung auf die Hälfte ab, bei einer Panzergranate (Kaliber 30,5 cm, Gewicht 455 kg) hat die Geschwindigkeit von anfangs 580 m/sec noch nach 34 sec in 12000 m Entfernung den Wert 341 m/sec. Die schweren Geschosse vermögen wegen ihrer gewaltigen Wucht (im letzten Falle anfänglich 7801000 mkg) den Luftwiderstand besser zu überwinden und noch in Entfernungen von mehreren Kilometern eine gewaltige Zerstörungsarbeit zu leisten, die Panzergranate besitzt in 12 km Entfernung noch eine Wucht von über $2,6 \cdot 10^6$ mkg. Über die theoretische Berechnung auf Grund des Luftwiderstandsgesetzes ist unter den Ballistikern noch keine Übereinstimmung erzielt, die Formel für den Luftwiderstand bedarf je nach der Geschwindigkeitszone verschiedener Koeffizienten und verschiedener Exponenten der Geschwindigkeit, (letztere liegen zwischen 1,55 und 5), eine zusammenfassende sehr komplizierte Formel, die von Siacci (1896) angegeben ist, wird neuerdings von Cranz bevorzugt. Wegen des Luftwiderstandes ist bekanntlich sowohl Scheitelhöhe als Wurfweite der ballistischen Kurve bedeutend kleiner als die der für den luftleeren Raum geltenden Wurfparabel. Bereits Fr. C. G. Müller hat in seiner Technik des physikalischen Unterrichts eine graphische Darstellung hiervon nach Kruppschen Schießversuchen gegeben. Interessant ist, daß das Geschöß zum Zurücklegen des kürzeren ab-

steigenden Astes der Flugbahn mehr Zeit braucht als für den längeren aufsteigenden Ast.

Besonders schwierige physikalische Probleme bieten die heute allgemein verwandten gezogenen Geschosse dar, die von Krupp schon vor Jahrzehnten erfunden wurden, um der Unregelmäßigkeit zu begegnen, die bei nicht rotierenden Geschossen zufolge der Abweichungen des Schwerpunktes vom geometrischen Mittelpunkt unvermeidlich sind. Die gezogenen Geschosse, deren Rotation von hinten gesehen stets nach rechts (im Uhrzeigersinn) geht, haben dagegen den Nachteil einer Abweichung nach rechts, die z. B. bei der oben erwähnten Feldgranate auf 1000 m Entfernung bereits 1 m, auf 6000 m Entfernung 114 m beträgt. Man findet sich damit ab, indem man die Abweichung durch die Stellung des Kornes bei der Visiereinrichtung empirisch korrigiert. Die Hauptursache der Abweichung wird darin erkannt, daß der Luftwiderstand dem Geschos eine Drehung nach aufwärts erteilt, die in Verbindung mit der Rotation eine Präzession der Geschosachse nach rechts zur Folge hat. Hierüber haben namentlich photographische Aufzeichnungen auf einer im Geschos selbst befindlichen photographischen Platte (Neesen 1889, 1892, 1894) Licht verbreitet. [Wie C. Cranz in einer Sitzung der Physikalischen Gesellschaft am 30. April d. J. mitteilte, ist die Präzessionsbahn kein Kreis, sondern eine Folge von Cykloidenbögen, die sich einseitig an die Geschosrichtung anlegen; der Grund hierfür ist darin zu suchen, daß die ablenkende Kraft nicht wie beim Kreisel konstant, sondern nach Richtung und Größe veränderlich ist.] Zu der langsamen Präzession kommt noch eine viel raschere Nutation, die durch Unsymmetrie der Massenverteilung um die Geschosachse und namentlich durch eine Stoßwirkung der Pulvergase oder durch einen Stoß des elastische Schwingungen ausführenden Laufs veranlaßt sind. [Auf die Lage des Geschosses bei der Ankunft am Ziel ist nach Mitteilung von C. Cranz die Stärke des dem Geschos durch die Züge erteilten „Dralls“ von wesentlichem Einfluß; die Spitze des Geschosses kann sich zufolge der Präzession soweit senken, daß sie beim Auftreffen den Boden berührt; in andern Fällen bleibt die Geschosachse nahezu sich selbst parallel.] In demselben Aufsatz finden sich noch Mitteilungen über die Photographie der Verdichtungswelle am Kopf der Geschosse, nach der Methode von Mach und Salcher (d. Ztschr. III 250), die in neuester Zeit durch

Cranz zu einem Untersuchungsmittel allerersten Ranges geworden ist. Es sei auf die in dieser Zeitschrift 26. 384 beschriebene Momentaufnahmen von Cranz und B. Glatzel hingewiesen. —

Über Krieg und Witterung handelt in demselben Heft E. ALT (München). Er weist namentlich darauf hin, „daß eine der Entwicklung der Kulturpflanzen und der Durchführung der Ernte günstige Wetterlage von weitgehender Wirkung auf die Kriegsbereitschaft und Stoßkraft eines Volkes ist. „Wo eine schwere Mißernte droht, da steht der Feind bereits vor Ausbruch des Krieges im Lande.“ Nicht minderen Einfluß übt die Witterung auf den Krieg selbst, das Wohlbefinden der Truppen ist in viel weitgehendem Maße als im Frieden von Wind und Wetter abhängig. In den benachbarten Teilen Rußlands bestehen im Winter bei Westwinden ähnliche Klimaverhältnisse wie in Deutschland, bei Ostwinden dagegen setzt das sehr kalte Kontinentalklima ein. Auf der See spielen die Stürme, für die Luftschiffahrt die Böen eine oft verhängnisvolle Rolle. Die Vorhersage ist während des Krieges besonders erschwert, da die Telegramme aus den feindlichen Staaten wegfallen; in gewissem Grade konnte dem Übelstand durch Errichtung von Militär-Wetterdienststellen in den besetzten Gebieten entgegengetreten werden. Als wichtigstes Hilfsmittel der Militärluftschiffahrt sind die Pilotballonaufstiege anzusehen. Verfolgt man einen mit konstanter Geschwindigkeit aufsteigenden geschlossenen Gummiballon mit Hilfe eines Theodoliten, so kann man für jede vom Ballon durchstoßene Höhe mit guter Annäherung Windrichtung und Windstärke angeben. Durch Anstellung solcher Aufstiege an verschiedenen Orten kann man die Änderungen in den Bewegungszuständen der Atmosphäre dauernd überwachen und der Luftschiffahrt gute Dienste leisten. So gelang es Kurt Wegner mit dem Freiballon „Ziegler“ in verhältnismäßig kurzer Zeit von Bitterfeld nach England zu fliegen, nur auf Grund meteorologischer Erwägungen und der Auswahl einer für die Fahrt günstigen Wetterlage.

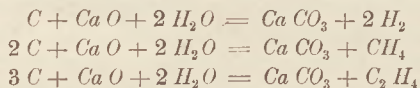
Über die Astronomie in ihrer Beziehung zum Kriege veröffentlichte N. Herz in Wien einen Aufsatz im 2. Kriegsheft der Monatshefte (1915, Heft 1). Zur Orientierung in fremdem Gelände kann Kenntnis des Sternhimmels unter Umständen von großem Wert sein. Die Bekanntschaft mit einer kleinen Anzahl charakteristischer

Sternbilder reicht aus; allerdings bedarf es dazu noch der Kenntnis der Sternzeit, die für den damit Vertrauten in $\frac{1}{2}$ Minute mit hinreichender Genauigkeit zu berechnen sei. Von viel höherer Bedeutung ist die Astronomie im Seekriege; besonders auch für die Taktik der Unterseeboote. Die Seeminen erfordern, wenn sie nicht den eigenen Schiffen gefährlich werden sollen, eine genaue Orientierung nach geographischer Länge und Breite; bei den Kreuz- und Querfahrten der Panzerkreuzer versagen Log und Kompaß fast immer. Hier ist die Orientierung nur durch astronomische Beobachtungen möglich. Gewöhnung an Himmelsbeobachtungen und an Kartenlesen ist schon auf der Schule zu pflegen; auch sollten die Schüler verstehen, wie es möglich ist, in der Weltabgeschiedenheit des Ozeans mit absoluter Sicherheit seinen Standpunkt zu bestimmen. —

Von anderweitiger Literatur sei noch die Schrift erwähnt: „Der Weltkrieg und der Unterricht“, herausgegeben vom Verlag Friedrich Andreas Perthes in Gotha 1915. Darin sind u. a. „neue Erzieherpflichten für unsere Zeit“ von Fr. W. Foerster, der erdkundliche Unterricht von F. Lampe, Mathematik und Naturwissenschaft von K. Umlauf behandelt. Letzterer gibt eine Reihe bemerkenswerter Anregungen für eine anschaulichere und lebensvollere Gestaltung des Unterrichts in diesen Fächern, wobei ebenfalls der Ballistik besondere Aufmerksamkeit zugewendet wird. Der Verfasser stellt auch eine reiche Literatur zur Information des Lehrers zusammen, aus der das Werk „Die Technik des Kriegswesens“, Teil IV, Band 12 der „Kultur der Gegenwart“ (Leipzig, L. G. Teubner) an erster Stelle Beachtung verdient. P.

5. Technik und mechanische Praxis.

Synthetische Darstellung von Steinkohlengas. Weder Generatorgas noch Wassergas weisen die Vorzüge des Steinkohlengases auf, denn sie sind sehr giftig und haben verhältnismäßig nur geringen Heizwert. Die Versuche von LEO VIGNON¹⁾ bezweckten die Darstellung eines brennbaren Gases durch totale Vergasung der Steinkohle, das einen möglichst niedrigen Gehalt an Kohlenoxydgas und einen möglichst hohen Heizwert aufweist und ferner eine analoge Zusammensetzung wie das Steinkohlengas besitzt. Läßt man Kohlenoxydgas in Gegenwart von Wasser auf Kalk einwirken, so bilden sich Kohlenwasserstoffe und Kohlendioxyd. Die Einwirkung von Wasserdampf auf Kohle andererseits verläuft in Gegenwart von Kalk nach folgenden Gleichungen:



Die gleiche katalytische Wirkung wie Kalk üben Eisen, Nickel, Kupfer, Silicium, Aluminium und Magnesium aus. Auf Grund dieser theoretischen Erwägungen lassen sich mehrere technische Verfahren zur Gewinnung von synthetischem Steinkohlengas gestalten. So erhält man aus Wassergas durch Einwirkung auf Kalk in Gegenwart von Wasser bei 400° ein Gas, das im Mittel 85–90% Wasserstoff, 5–10% Methan, 0–0,5%

Kohlenoxyd bei einem Heizwert von ungefähr 3000 W. E. enthält. Aus Koks läßt sich ein Gas gewinnen, das sich aus 80–85% Wasserstoff, 15–20% Methan und 0–0,5% Kohlenoxyd zusammensetzt und 3550 bis 4000 W. E. besitzt, wenn man Wasserdampf über ein Gemenge von Koks und Kalk bei 600–1000° leitet und die gebildete Kohlensäure entfernt. 100 kg Koks geben bei diesem Prozeß 200–230 cbm Gas. Will man von der Steinkohle ausgehen, so destilliert man zunächst ein Gemisch derselben mit Kalk bei 900–950°, wodurch man 25 cbm eines reichen Gases aus 100 kg Steinkohle erhält. Nach Beendigung der Vergasung leitet man einen Dampfstrom über den Koks, indem man die Temperatur auf 900–1000° hält. Man gewinnt so insgesamt aus 100 kg Kohle etwa 200 cbm Gas, das nach Entfernung von Kohlendioxyd aus 70–78% Wasserstoff, 15–20% Methan und 5–10% Kohlenoxyd besteht. Durch passende Regulierung läßt sich jedoch der Kohlenoxydgehalt auf Null herabdrücken. Der Heizwert schwankt zwischen 4000 und 4500 W. E. Die bei diesem Verfahren gewonnene Ammoniakmenge ist mindestens viermal so groß als bei der gewöhnlichen Vergasung der Kohle, sie nähert sich der theoretisch möglichen Ausbeute. Diese synthetische Gewinnung des Steinkohlengases ist weit wirtschaftlicher als das alte Verfahren der trocknen Destillation, da man eine acht- bis zehnmal so große Gasmenge erhält und der größte Teil

¹⁾ Bll. Soc. Chim. 1914, 601–604.

des Stickstoffes der Kohle in Ammoniak übergeführt wird; außerdem läßt sich der Kohlenoxydgehalt des Gases auf Null herabdrücken, so daß es nicht giftig ist.

Otto Bürger.

Weitere Fortschritte in der Wasserstoffherstellung. Auch im vergangenen Jahre sind zahlreiche wissenschaftliche und technische Arbeiten der Herstellung von Wasserstoff gewidmet gewesen, denn außer der Luftschiffahrt benötigt jetzt auch weiterhin die Habersche Ammoniaksynthese große und billige Mengen dieses Gases.

Das Wilibald Näher und Martin Nöding¹⁾ patentierte Verfahren zur Gewinnung von Wasserstoff aus Wasserdampf und Metallen in der Hitze ist dadurch gekennzeichnet, daß reiner, nicht von Luft verunreinigter Wasserdampf auf etwa 1000° überhitzt und über oder durch Kupfer und Eisen, welche in einer Retorte auf etwa 800° erhitzt worden sind, in der Weise geleitet wird, daß der Wasserdampf zuerst auf das Kupfer und dann auf das Eisen auftrifft. Der unzersetzte Wasserdampf, welcher nach der Oxydation der Metalle sich noch in den Retorten befindet, wird zur Bildung von Wassergas in einer auf etwa 800° erhitzten, mit Kohle gefüllten Retorte benutzt und das gebildete Wassergas zuerst über das Eisenoxyd und dann über das Kupferoxyd geleitet, um die Metalle aus den Oxyden wiederzugewinnen. Alsdann wird das entstehende Kohlendioxyd wieder in die auf 800° gehaltene, mit Kohle gefüllte Retorte geleitet, wobei jeweils das doppelte Volumen Kohlenoxyd entsteht, welches wieder in der genannten Reihenfolge mit den Metalloxyden in den Retorten in Berührung gebracht wird.

Jaubert²⁾ empfiehlt zur Bereitung von Wasserstoff durch Einwirkung konzentrierter Lösungen von Alkalihydroxyden auf Silicium, Aluminium oder deren Legierungen mit Eisen oder Mangan die Dichte des Gemisches dadurch herabzusetzen, daß man dem Alkalihydroxyd ein geeignetes Emulgiermittel zusetzt (Paraffin, Vaseline, unverseifbares Fett u. dgl.) und die Konzentration der Reaktionsmasse während der ganzen Dauer der Reaktion dadurch konstant zu erhalten, daß man das im Verlaufe der Umsetzung verschwindende Wasser in gleichem Maße immer wieder ersetzt. Man ist dadurch in

der Lage, eine gleichmäßigere und schnellere Gasentwicklung pro Flächeneinheit des Entwicklers zu erzielen³⁾.

Ein der Badischen Anilin- und Soda-Fabrik⁴⁾ patentiertes Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff durch katalytische Umsetzung von Kohlenoxyd-Wasserdampfgemischen ist dadurch gekennzeichnet, daß dabei Kontaktmassen verwendet werden, welche neben dem als Katalysator dienenden Metall oder Oxyd (oder Gemische solcher), insbesondere Sauerstoffverbindungen des Chroms, Thoriums, Urans, Berylliums, Antimons u. dgl. oder Gemische solcher enthalten. Schon bei verhältnismäßig sehr niedriger Temperatur erreicht man mit derartigen Kontaktmassen auch bei großen Strömungsgeschwindigkeiten eine praktisch vollständige Umsetzung. Auch bei höheren Temperaturen können diese Kontaktmassen mit Vorteil verwendet werden, jedoch ist es ratsam, die Temperatur nicht oder nur vorübergehend wesentlich über 600° zu steigern. — Zur vollständigen Entfernung des Kohlenoxyds ist man genötigt, die Operation mehrfach zu wiederholen. Hierbei ist jedesmal für die Absorption eine Abkühlung der heißen Gase auf gewöhnliche Temperatur erforderlich, so daß auch bei sorgfältiger Wärmeregeneration eine beträchtliche Wärmezufuhr erfolgen muß. Wenn man unter höherem Drucke arbeitet (4–10 Atm.), gestaltet sich das Verfahren besonders ökonomisch. Dieses Verfahren ist im besonderen zweckmäßig für die katalytische Darstellung von Ammoniak nach der Haberschen Synthese, da man nach der Absorption des Kohlendioxyds ohne Entspannung den unter Druck stehenden Wasserstoff unmittelbar oder nach weiterer Kompression und Reinigung verwenden kann.

Über die anodische Wasserstoffentwicklung bei der Elektrolyse von Methylalkohol und Formaldehyd arbeitete Erich Müller und Friedrich Hochstetter⁵⁾. Wenn man Methylalkohol in alkalischer Lösung elektrolysiert, so erhält man an der Anode neben Formaldehyd und Ameisensäure eine erhebliche Menge von Gas, welches vorzugsweise aus Wasserstoff besteht. An Kupferanoden tritt dieser anodische Wasserstoff bei der Elektrolyse von Methylalkohol nicht auf, sondern nur dann, wenn man Formaldehyd elektro-

³⁾ Siehe auch: diese Zeitschr. 1915, Heft 2, S. 106.

¹⁾ D. R. P. 279 726, Angew. Chem. 27. II, 708.

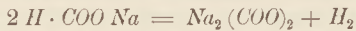
⁴⁾ D. R. P. 279 582, Angew. Chem. 27, II, 708.

²⁾ D. R. P. 272 606, Angew. Chem. 27. II, 302.

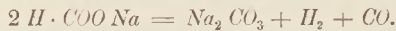
⁵⁾ Zeitschr. f. Elektrochemie 20, 367.

lysiert. Hierbei kann man unter geeigneten Bedingungen an der Anode ebensoviel Wasserstoff entwickeln wie an der Kathode. Zur Erklärung dieser Erscheinung nehmen Müller und Hochstedter an, daß der Formaldehyd in der alkalischen Lösung H_2CO_3 -Ionen bildet, die an der Anode zu Wasserstoff und Kohlendioxyd entladen werden.

Levi und Piva⁶⁾ haben Untersuchungen über die Herstellung von Wasserstoff aus Salzen der Ameisensäure angestellt. Natriumformiat zersetzt sich im Sinne der Gleichungen:



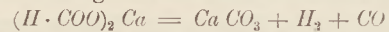
und:



Im ersteren Falle liefert das Salz aus 1 g ungefähr 165 ccm Wasserstoff; im zweiten

Falle entstehen ungefähr 330 ccm einer Mischung gleicher Volumina von Wasserstoff und Kohlenmonoxyd. Die Zersetzung beginnt zwischen 300 und 310° und wächst mit Erhöhung der Temperatur. Bei 550° verläuft der Prozeß fast augenblicklich. Die höchsten Wasserstoffausbeuten werden zwischen 330 und 370° erhalten. An Zersetzungsprodukten wurden festgestellt: Oxalat, Carbonat, Kohle, Kohlenoxyd, Wasserstoff und Kohlendioxyd.

Beim Calciumformiat findet unter Einwirkung der Hitze eine Zersetzung im Sinne der Gleichung:



statt. Die Wasserstoffausbeute beträgt ungefähr 25% der Theorie. *Otto Bürger-Kirn.*

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Didaktik des physikalischen Unterrichts. Von Dr. Friedrich Poske (Didaktische Handbücher für den realistischen Unterricht an höheren Schulen, herausgegeben von A. Höfler und F. Poske, Band IV). Mit 33 Figuren im Text, 428 S. Leipzig und Berlin, B. G. Teubner, 1915. M 12,—.

Der Verfasser des Buches will dem physikalischen Unterricht dienen, indem er versucht, den Stoff nach großen und einheitlichen Gesichtspunkten zu ordnen. Dabei hat ihm der Gedanke vorgeschwebt, daß soviel als möglich die systematische Darstellung der Lehrbücher durch eine an Probleme anknüpfende Behandlungsart zu ersetzen sei. Die Fülle der Möglichkeiten ist indessen so groß, daß es ganz ausgeschlossen ist, in einer solchen Darstellung einen bestimmten Weg zu empfehlen; der lebendige Unterricht wird sich immer wieder auf neue Wege hingewiesen finden. Nur auf manchen Gebieten wird die historische Darstellung Vorzüge darbieten; auf diese hat der Verfasser mehrfach hinzuweisen sich erlaubt. Der allgemeine Teil des Buches enthält Auseinandersetzungen über Aufgabe, Ziel und Methode der Physik sowohl als des physikalischen Unterrichts; daran schließt sich eine ins Einzelne gehende Besprechung der Lehrgänge für die Unter- und Oberstufe, worin auch die in neuerer Zeit hervorgetretenen methodischen Vorschläge eine kritische Würdigung erfahren

haben. Der Schlußabschnitt enthält Bemerkungen über die Stellung der Physik im Ganzen des naturwissenschaftlichen Unterrichts und über die neueren Lehrpläne; in zwei Anhängen ist ein Literaturverzeichnis und eine Übersicht über die Einheiten und Formelzeichen des AEF gegeben. *P.*

Praktische Methodik des physikalischen Unterrichts. Von Hofrat Dr. Ignaz G. Wallentin, k. k. Landesschulinspektor. (Praktische Methodik für den h. Unterricht, herausgegeben von August Scheindler in Wien.) 223 S. Wien, 1914, A. Pichlers Witwe & Sohn. K 4,80 (M 4,10); geb. K 5,30 (M 4,50).

Die österreichische Schulbehörde hat den im Jahre 1909 erlassenen neuen Normallehrplänen nicht, wie es früher üblich war, ausführliche Erläuterungen, sogenannte Instruktionen, folgen lassen. An deren Stelle ist das Unterrichtswerk getreten, von dem die vorliegende Methodik des physikalischen Unterrichts einen Band bildet. Immerhin ist auch hier der Charakter der früheren Instruktionen im großen und ganzen festgehalten, wie schon aus der vielfach peremptorischen Form der Anweisungen hervorgeht, in der sich die amtliche Stellung des Verfassers bemerkbar macht. Selbst in dem wegen seiner straffen Disziplin vielberufenen Preußen sind wir eine solche diktatorische Sprache in Sachen der Methodik nicht gewöhnt. Andererseits betont der Verfasser allerdings in seinem Schlußwort, daß es gerade im Lehren auf die Persönlichkeit und Eigenart des Lehrers an-

⁶⁾ Ann. Chimica appl. 1, 1 (1914); Angew. Chem. 27, II, 749.

komme, die vollste Beachtung und Würdigung erheische, wenn er auch fern von vielbegangenen Pfaden auf einem neuen Wege, den er mit Umsicht und Unermüdlichkeit zurücklegt, das angestrebte Ziel erreiche. Der Text des Buches stellt sich als ein fortlaufender Kommentar zu den Lehrplänen dar, der im wesentlichen die experimentellen Hilfsmittel — unter vielfacher Beziehung auf Rosenbergs Experimentierbuch — bespricht und hier und da allgemeine Bemerkungen einfließt. In dem einleitenden allgemeinen Teil (S. 1–14) wird namentlich auch auf den Wert der praktischen Schülerübungen hingewiesen; es trifft aber nicht mehr zu, daß in Deutschland diese Übungen nur an relativ wenigen Anstalten eingeführt seien; auch sind die Verdienste von K. Noack, der auf diesem Gebiet der eigentliche Bahnbrecher war, nicht genügend gewürdigt. In dem speziellen Teil vermißt man bei den vielen wertvollen experimentellen Bemerkungen häufig die genauen literarischen Nachweise. Auf die Erörterung einzelner methodischer Fragen einzugehen, müssen wir uns versagen; in sachlicher Hinsicht sei erwähnt, daß es gewiß nicht richtig ist, zu sagen: „Streng achte der Lehrer darauf, daß der Schüler im spezifischen Gewicht eine benannte, in der Dichte eine unbenannte Zahl erblickt“ (S. 16). Die angenäherte Pendelformel (S. 80) heißt nicht $4\sqrt{l/g}$, sondern $4\sqrt{2l/g}$, und es ist im übrigen doch recht fraglich, ob man sagen darf: „Der Lehrer unterlasse unter keiner Bedingung“, diese Näherungsformel zu entwickeln, zumal diese der genauen Formel keineswegs dem Werte nach „nahe gleichkommt“ (das Verhältnis selbst bei der berichtigten Formel ist 5,66:6,28). — Den Schluß des Bandes bildet eine gedrängte Übersicht über die Methodik der Kosmographie, die den neueren Bestrebungen auf diesem Gebiet Rechnung trägt und neben dem *Traité de Cosmographie* par A. Grignon auch A. Höflers *Didaktik der Himmelskunde für die Verbindung der Mathematik und der Kosmographie* heranzieht. P.

Über die Natur der Mischfarben auf Grund der Undulationshypothese. Von Dr. O. Zoth, Professor der Physiologie in Graz. Mit 3 Textfiguren und 10 Kurventafeln. (Sammlung Vieweg. Heft 14.) Braunschweig. Friedr. Vieweg und Sohn, 1914. 38 S. M 2,80.

Die Schrift entwickelt an der Hand der Zusammensetzung von Komplementärfarben zu dem physiologischen Eindruck von Weiß eine Auffassung, die in neuerer Zeit bereits

mehrfach vertreten worden ist, wonach die Newtonsche Lehre von der Zusammengesetztheit des weißen oder jedes gemischtfarbigen natürlichen Lichts aus einfachen Farben oder homogenen Strahlungen wieder zu beseitigen und die vor Newton herrschende Ansicht, daß die Farben beim Durchgang von weißem Licht durch ein Prisma erst in diesem entstehen, in gewissem Sinne wieder zur Geltung zu bringen wäre. Die Zerlegung in elementare Schwingungen hätte hiernach eine rein analytische Bedeutung, die Wahrnehmung des Weiß durch die Netzhaut würde nicht durch eine Summation der Wirkungen getrennter Elementarschwingungen, sondern durch eine Folge der unregelmäßigsten Impulse oder Störungen im Äther hervorgerufen, und auch die Weißempfindung infolge komplementärer Farbeindrücke würde durch Lichtstöße bewirkt, die ähnlich den Stößen in der Akustik aus der Superposition zweier oder mehrerer Elementarbewegungen hervorgehen. Der Verfasser hat, um die Möglichkeit einer solchen Erklärung darzutun, die Kombinationen einer Reihe von Schwingungsformen des Spektrums von Rot $700 \mu\mu$ bis Ultraviolett $300 \mu\mu$ auf Tafeln zusammengestellt und daraus die Folgerungen gezogen, daß „komplementären oder annähernd komplementären Farbenmischungen von zwei oder drei Komponenten mehr oder weniger unregelmäßige Wellenbilder der resultierenden Perioden entsprechen, die in der Hauptsache kurz dauernde Schwebungen oder Lichtstöße darstellen“; auch „unterkomplementäre“ (einander näher liegende) Farbenmischungen ergeben resultierende Perioden mittlerer Wellenlängen von Schwebungscharakter, der aber um so weniger hervortritt, je benachbarter die Wellenlängen der Komponenten sind, um so mehr, je mehr sie sich Komplementärfarben nähern. „Überkomplementäre“ (entfernter von einander liegende) Farben, deren Kombination Purpurtönen entspricht, ergeben dagegen regelmäßig aufeinander folgende Doppelschwingungen von der mittleren Wellenlänge eines dem Purpur komplementären Grün, mit sehr kurzen Pausen zwischen je zwei Paaren; diese Pausen werden von je einer einfachen Schwingung sehr kleiner Wellenlänge und Amplitude ausgefüllt.

Diese Forschungen sind auch für unseren Unterricht von Wert, in dem die Frage der Zusammengesetztheit des weißen Lichts bei denkenden Schülern zu nicht geringen Schwierigkeiten Anlaß gibt. Auch die Goethe-

schen Einwände gegen die Newtonsche Farbenlehre erscheinen von diesem Standpunkte aus in anderem Lichte als bisher. P.

Kurzer Abriss der Logik und Erkenntnislehre auf naturwissenschaftlicher Grundlage. Für den Unterricht an höheren Schulen, an Lehrer- und Lehrerinnenbildungsanstalten sowie zum Selbstunterricht. Von A. Schulte-Tiggess, Direktor des Realgymnasiums zu Cassel. Berlin, Georg Reimer, 1914. 55 S.

Das Schriftchen ist ein Auszug aus des Verfassers größerer Schrift „Philosophische Propädeutik auf naturwissenschaftlicher Grundlage“ (2. Auflage 1904). Sie bietet hauptsächlich den ersten Teil dieser Schrift in umgearbeiteter Form für die Hand des Schülers dar und erweitert den Inhalt dieses Teils durch einige Ergänzungen aus der formalen Logik sowie durch einen kurzen Abschnitt über die Subjektivität unserer Erkenntnis. Die Schrift wird sicherlich denkeifrigen Primanern vielfache Anregung bieten und sie zum Interesse an philosophische Studien hinleiten. P.

Grundriß der Physik. Von Dr. Ludwig Zehnder, a. o. Professor der Physik. Mit 373 Abbild. 2. ungearbeitete Auflage. Tübingen, H. Laupp, 1914. 424 S. M 7,—; geb. M 8,—.

Das Buch ist für Studierende, und zwar in dieser Auflage vorzugsweise für jüngere Studierende, bestimmt; das wissenschaftliche Niveau ist dementsprechend gegen die erste Auflage nicht unbeträchtlich herabgesetzt, indem von der Erörterung schwebender Streitfragen fast ganz abgesehen und auf die Benutzung der Infinitesimalrechnung verzichtet worden ist. Das ist objektiv angesehen ein Nachteil, da das Buch hierdurch manches von seiner Eigenart eingebüßt hat. Namentlich in ersterer Hinsicht sollte auch dem jüngeren Studierenden die überaus anregende Einsicht in das Problematische mancher heute herrschenden Anschauungen nicht vorenthalten werden. Die jetzt bevorzugte stark dogmatische Form ist wenig geeignet, in wissenschaftliches Denken einzuführen und gibt dem Buch mehr den Charakter eines elementaren Repetitoriums. Auch was an mathematischen Elementarableitungen eingefügt ist, erscheint nicht immer glücklich, so die Plausibelmachung der Pendelformel und die Behandlung der Zentrifugalkraft, die als ein bloßes Anhängsel an die ebenfalls nicht sehr strenge Ableitung der Zentrifugalbeschleunigung bei der Planetenbewegung

auftritt. Eine so lehrreiche Berechnung wie die des Arbeitswerts der Wärmeeinheit nach Robert Mayers Verfahren ist nicht ausgeführt, obwohl sie ganz elementar ist. Die Werte von c_p und c_v sind nicht einmal angegeben. Sehr auffallend ist, daß in einem modernen Physiklehrbuch noch von elektrolytischer Wasserzersetzung gesprochen wird, offenbar mit bewußter Absicht. Denn es wird hinzugefügt: „Meist wird in diesem Fall angenommen, durch den elektrischen Strom werde nicht das Wasser, sondern die Schwefelsäure H_2SO_4 zersetzt usw.“ Diese Fassung läßt vermuten, daß der Verfasser den modernen Theorien der Elektrolyse nicht durchweg zustimmt. Andererseits behandelt das Buch viele, namentlich auf neuere technische Erfindungen bezügliche Kapitel in lichtvoller und eingehender Weise, so daß sich hier manche wertvolle Anregung gewinnen lassen wird. Der Übersichtlichkeit außerordentlich förderlich ist es, daß am Anfang jedes Paragraphen der Inhalt in einem kurzen Satz zusammengefaßt ist, und daß diese Sätze sämtlich in der Inhaltsübersicht noch einmal zusammengestellt sind. P.

Lehrbuch der Experimentalphysik für höhere Lehranstalten. Von Dr. Wilhelm Donle, Professor d. Physik a. d. k. b. Artillerie- und Ingenieurschule und Privatdozent a. d. Universität München. 7. u. 8. verb. Aufl. Mit 430 Abbildungen, 1 Spektraltafel, 620 Aufgaben und zahlreichen Übungen für das Schülerpraktikum. Stuttgart, Fr. Grub, 1915. 394 S. Geb. M 3,60.

Das Buch hat sich mit seiner knappen und präzisen Fassung Freunde erworben, wie das rasche Erscheinen der neuen Auflage beweist. In der Stoffbehandlung entfernt sich das Buch nicht allzu weit von den älteren Lehrbuchtraditionen, auch das Kapitel der allgemeinen Eigenschaften ist in dem früher üblichen Umfang beibehalten. In der Anordnung ist neu, daß entgegen dem bayrischen Herkommen die bisher an den Schluß gestellte Bewegungslehre nunmehr mit dem Hauptabschnitt über Mechanik vereinigt ist; dies muß als ein entschiedener Fortschritt bezeichnet werden. Neu ist auch die Einfügung zahlreicher Aufgaben für Schülerübungen, die indeß so kurz gefaßt sind, daß sie nicht viel mehr als Überschriften sind und durchweg der Ergänzung durch die Anweisung des Lehrers bedürfen. Von Wert sind daneben die zahlreichen Aufgaben, die teils Rechen-, teils Denkaufgaben sind. P.

Kinetische Stereochemie der Kohlenstoffverbindungen. Von Dr. Arthur von Weinberg, Geh. Regierungsrat. Mit 25 Abbildungen im Text. Braunschweig, Vieweg und Sohn 1914. VIII + 107 S. Geh. M 3.—; geb. M 4.—.

Der Verf., der bekannte Farbstoffchemiker und Großindustrielle, ist auf dem Gebiete der theoretischen Chemie sozusagen ein Außenseiter, der auf die Anregung von Freunden hin seine Gedanken zusammengefaßt und veröffentlicht hat.

Bekanntlich haben in der Chemie und Physik gerade Außenseiter häufig neue originelle Ideen aufgebracht und neue Wege gewiesen. Man muß also, auch wenn man hier und da auf Irrtümer und künstliche Kombinationen stößt, genau prüfen, ob die Wege und Gedankengänge des Buches nicht einen Fortschritt in der Aufklärung der Struktur organischer Körper bedeutete, ob nicht unter den Schlacken Edelmetall verborgen ist. Und das ist in der Tat der Fall.

Der Gedankengang des Verf. ist folgender: Die starren Raumformeln von van 't Hoff, Wislicenus und anderen Forschern genügen nicht, können aber vervollkommen werden, indem man die Bewegungen der Atome im Molekül, die ja sicher vorhanden sind, in Betracht zieht. Je stärker diese Bewegungen sind, desto größer ist der Energiegehalt des Moleküls, der durch die molekulare Verbrennungswärme (bei 18° und konstantem Volumen) gegeben ist. Der Raum, der für die Atombewegungen zur Verfügung steht, folgt aus der Molekularrefraktion $\left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \cdot \frac{M}{d} \right)$.

Aus beiden Reihen von Zahlenwerten muß man sich ein Bild machen können von der Rotation und Vibration der Atome, von der Superposition und Interferenz ihrer Bewegungen, wobei die Struktur der Verbindungen, ihre chemischen Eigenschaften, ihre Farbe usw. mit jenen Vorstellungen zusammenpassen müssen.

Das ist namentlich beim Benzol und seinen Derivaten in überraschender Weise der Fall.

Auf einzelne Irrtümer sei kurz hingewiesen. Krystallisierter Kohlenstoff ist energetisch nicht eindeutig bestimmt; Diamant und Graphit haben verschiedenen Energieinhalt, höchst wahrscheinlich gibt es sogar mehrere Graphitarten. Die auf S. 6 angegebenen Verbrennungswärmen beziehen sich sämtlich auf Diamant. Der direkte Vergleich der Verbrennungswärmen von Gasen, Flüssigkeiten und festen Körpern ist zu beanstanden. Die gleiche Temperatur von 18° macht Körper von verschiedenem

Aggregatzustand noch nicht energetisch vergleichbar, namentlich wenn man auf Bewegungen der Atome im Molekül ausgeht. Das Wiederkehren gewisser Wärmemengen und ihrer Vielfachen bei der Verbrennungswärme der organischen Bausteine (C, H und der organischen Radikale) und bei der Neutralisationswärme starker Basen und Säuren ist ein Zufall — die Rechnung stimmt überdies nur ungefähr — aber durchaus keine Stütze für die Kombinationen des Verfassers.

Der Kern des Buches ist indessen nicht nur originell, sondern auch wertvoll. Und wenn mehr sicheres Zahlenmaterial vorliegt — das bisherige ist z. T. recht inhomogen —, wird man die Ideen des Verfassers mit mehr Erfolg anwenden können als zur Zeit, wo die deutschen Verbrennungswärmen und die russisch-französischen infolge anderer Eichung Abweichungen bis zu einem Prozent aufweisen.
W. Roth, Greifswald.

Die Katalyse in der organischen Chemie. Von Paul Sabatier. Aus dem Französischen übersetzt von Dr. Hans Finkelstein. 1914. Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H. in Leipzig. VIII u. 243 S. Geh. M 10, geb. M 11,50.

Das Buch ist in erster Linie eine fleißige Zusammenstellung der wichtigsten katalytischen Vorgänge, die in der präparativen organischen Chemie Verwendung finden. Vom Wesen der Katalyse handeln nur zwei kurze Abschnitte zu Beginn und am Schluß. Die so wichtigen Wirkungen der Enzyme werden nur geltreift.

Daß die eigenen Untersuchungen des Verf. mit hervorstechender Ausführlichkeit behandelt, die neueren deutschen Arbeiten nicht genügend berücksichtigt, manche wichtigen aus dem Spezialgebiet des Verf. einfach totgeschwiegen werden — all das sind Dinge, denen man bei französischen Büchern immer wieder begegnet, so daß man sie schon als ‚berechtigte Eigentümlichkeiten‘ anzuerkennen scheint; denn sonst wäre doch das Buch kaum ins Deutsche übersetzt worden!

Sabatier hatte für seine wertvollen Arbeiten (hauptsächlich Hydrierungen mit feinverteiltem Nickel als Katalysator) den Nobelpreis erhalten und bei dessen Empfang die übliche Zusammenfassung seiner Arbeiten gegeben. Dabei ist eine gewisse Einseitigkeit erlaubt; aber wenn aus dem Vortrag ein Buch „Die Katalyse der organischen Chemie“ wird, dürfen Forscher wie z. B. Paal und Skita nicht derart in den Hintergrund treten neben Sabatier und Senderens!

Die Übersetzung ist sehr gut; an manchen Stellen gibt der Übersetzer in Anmerkungen seiner eigenen, abweichenden Meinung vorsichtig Ausdruck. *W. Roth-Greifswald.*

Lehrbuch der anorganischen Chemie für Studierende. Von Dr. A. F. Holleman. Prof. d. Ch. a. d. Univ. Amsterdam. 12. verb. Aufl. Mit zahlreichen Abb., 1 Tabelle u. 2 Tafeln. Leipzig, Veit & Co. 1914. 467 S. M 10.—

Das für akademische Kreise bestimmte Lehrbuch ist bei seinem ersten Erscheinen in dieser Zeitschr. (14, 117) eingehend gewürdigt worden; seitdem ist es hier nicht zur Besprechung gelangt. Das dort vom Standpunkt der Hochschulmethodik aus zum Ausdruck gebrachte günstige Urteil kann hinsichtlich des Wertes, den die verbesserte Neuauflage auch für die Mittelschulmethodik besitzt, im ganzen nur bestätigt werden. Zu wünschen wäre jedoch, daß das historische Moment noch etwas ausgiebiger zur Geltung gebracht würde; bei Daltons Atomlehre (S. 28) ist z. B. als Vorläufer nur Proust und nicht auch Jeremias Richter erwähnt. Letzterer fehlt auch bei der Erörterung der „Stöchiometrie“ (S. 31), obgleich er der Begründer dieser ganzen Disziplin und auch der Aufsteller des Namens war. Auch hinsichtlich der chemischen Natur des Wassers ist die Verteilung des Ruhmes — mehr auf Lavoisier als auf Cavendish — historisch nicht einwandfrei. Ähnliches gilt von der Luft bzw. dem Sauerstoff, bei dem nur Priestley und nicht Scheele als Entdecker genannt ist (S. 153). Erfreulich ist dagegen, daß der Begriff des Verbindungsgewichts in dem von der Mittelschulmethodik geforderten Sinne, nämlich im Sinne von Atomgewicht, behandelt wird — über das Äquivalentgewicht wird erst hinterher, in kleinerem Druck, eine Bemerkung hinzugefügt; der Kreis derjenigen Lehrbücher akademischer Autoren, die — wie A. W. v. Hofmann, Seubert, Ostwald u. a. — in dem vom Ref. in dieser Ztschr. (27, S. 330) näher erörterten Sinne verfahren, wächst dadurch um ein weiteres. Was die systematische Anordnung betrifft, so werden, wie meist üblich, Sauerstoff und Wasserstoff vorweg behandelt. Die Frage, ob es wirklich unumstößliches Dogma ist, daß der akademische Lehrgang nach eigenen vorbereitenden Erläuterungen mit diesen gasförmigen Elementen beginnen müsse, oder ob es nicht didaktisch richtiger wäre, den Chemismus der zunächst so schwierig vorstellbaren Vorgänge lieber an einzelnen handgreiflichen, d. h. bei

gewöhnlicher Temperatur in festem Zustande vorliegenden Elementen und Verbindungen zur wirklichen Anschauung zu bringen — diese Frage mag hier nur angedeutet werden. — Im einzelnen ist der Bildstock 8, Synthese des Wassers (S. 19) in experimenteller Hinsicht zu beanstanden; aus einer gewöhnlichen Glasglocke, die über eine Wasserstoffflamme gehalten wird, läuft das entstehende Wasser niemals in kontinuierlichem Strahle in ein darunter gestelltes Gefäß; vielmehr kommt es nur zur Bildung eines Beschlages, wie auch im Text richtig angegeben ist. Ähnliches gilt für den Bildstock 32: Kippscher Apparat veralteter Form nebst veralteter Gaswaschflasche. Es wäre wirklich zu wünschen, daß die Verlagsbuchhandlungen sich leichter von veralteten, seiner Zeit vielleicht ziemlich kostspieligen Bildstöcken trennten; — wenigstens alle Halbjahrhunderte sollte für eine solche Inventur ein Tag allgemein vereinbart werden.

Gegenüber diesen geringfügigen Ausstellungen soll von neuem anerkannt werden, daß wir es in dem Lehrbuch mit einer ausgezeichneten Darstellung des Gesamtstoffes zu tun haben, die vor allem von ganz modernem Geiste getragen ist. Viele der gebrachten Erläuterungen sind Muster von Klarheit und von ungekünsteltem, einfachen Ausdruck. Bemerkt sei noch, daß der Verfasser in ganz überzeugter Weise für die wirkliche Existenz der Moleküle und Atome eintritt. Die Zahl N , d. i. die absolute Anzahl der im Gramm-Mol enthaltenen Moleküle gilt ihm ihrem jetzigen Werte nach als naturwissenschaftlich bewiesen, seitdem die Forschung auf so verschiedenen Wegen immer zur selben Größe bzw. Größenordnung geführt hat. Der Wert der Zahl ist bekanntlich zu $N = \sim 65 \cdot 10^{22}$ bestimmt worden; aus mnemotechnischen Gründen möchte Ref. für diese Zahl den Ausdruck $N = \sim 650$ Trilliarden — *sit venia verbo* — vorschlagen. — Das Lehrbuch sei auch in der Neuauflage der allgemeinen Beachtung empfohlen.

O. Olmann.

Die Materie. Ein Forschungsproblem in Vergangenheit und Gegenwart. Von The Svedberg, Prof. a. d. Univ. Upsala. D. Übersetzung von Dr. H. Finkelstein. Mit 15 Abb. Leipzig 1914. Akad. Verlagsgesellschaft m. b. H. 162 S.

Die populär gehaltene aber geistvoll abgefaßte Schrift gibt in Kürze eine Übersicht der wichtigsten Vorstellungen, die man sich

in Laufe der Entwicklung über das Substrat der chemischen Erscheinungen, über die Materie selbst gemacht hat. Die Gesichtspunkte, von denen aus der Verfasser diese Vorstellungen von der Natur des Stoffes betrachtet, sind aus drei Fragen der kurzen „Einleitung“ zu erkennen: „1. Ist die Materie einheitlich oder gibt es verschiedene Materienarten? Ist letzteres der Fall: Sind diese Arten unveränderlich, oder kann eine in die andere übergehen; kann eine Materie sich in eine andere verwandeln? 2. Wie wirken verschiedene Arten von Materie aufeinander? 3. Wie ist der innere Bau der Materie?“ Die genauere Disposition der Schrift ergibt sich am besten aus den Überschriften ihrer sechs Kapitel: „Die Vorstellungen von der Materie bei den alten Kulturvölkern. Alchemie. Die Erforschung der Materie wird Wissenschaft. Die erste Periode der quantitativen Untersuchungen. Die Wissenschaft von der

Materie am Ende des 19. Jahrhunderts. Die neuesten Entdeckungen.“ Beim letzten Kapitel handelt es sich hauptsächlich um die Radioaktivität. Die neueste Phase der Forschung, die Elektronentheorie, ist auffällig kurz, kaum mehr als dem Namen nach erwähnt. Auch fehlt die Brücke von ihr zur Iontentheorie. Letzterer hätte man ebenfalls eine ausführlichere und anschaulichere Behandlung gewünscht. Dafür sind aber die Wunder der radioaktiven Stoffe umso treffender wiedergegeben. Eine Diskussion der philosophischen Ansichten von der Materie — die man nach dem Untertitel vermuten könnte, wird nicht geboten. Die Schrift wird jedem Leser den Genuß gewähren, den eine lebensvolle Darstellung aus der so vielseitigen Entwicklungsgeschichte der Chemie zu bieten vermag. Sie kann auch strebsamen Primanern empfohlen werden. *O. Ohmann.*

Mitteilungen aus Werkstätten.

Ein hochempfindliches Spiegelgalvanometer für Unterrichtszwecke.

Aus den Physikalischen Werkstätten d. E. d. E. in Göttingen.

Die Anforderungen an ein brauchbares Galvanometer lassen sich in folgenden 9 Sätzen zusammenfassen: 1. Das Instrument muß nach Möglichkeit frei von allen äußeren Störungen sein. — 2. Die Empfindlichkeit muß allen Anforderungen genügen. — 3. Die Dämpfung muß möglichst aperiodisch sein, damit auf die Einstellung des Galvanometers nicht unnützlich gewartet werden muß, eine Forderung, auf deren Erfüllung beim Unterricht besonders Wert zu legen ist. — 4. Die Galvanometerausschläge müssen den Schülern gut sichtbar sein, dabei muß aber auch der Lehrer jederzeit imstande sein, den Ausschlägen ohne Schwierigkeiten folgen zu können. — 5. Der Bau des Instrumentes muß so ausgeführt sein, daß der Lehrer imstande ist, den Schülern das Prinzip des Instrumentes ohne Zuhilfenahme eines zweiten Instrumentes demonstrieren zu können. — 6. Das Instrument muß schnell justiert werden können, um es unter Umständen auch einmal von seinem Platze entfernen zu können. — 7. Das Instrument muß vor Verstauben geschützt sein, damit es nach längerem Außergebrauchstellen sofort wieder verwendungsfähig ist. — 8. Das

Instrument muß möglichst universell gebaut und dabei doch 9. relativ billig sein.

Diese Forderungen sind bei dem von den Physikalischen Werkstätten d. E. d. E. in Göttingen konstruierten Deprez-d'Arsonval-Galvanometer in weitgehendstem Maße erfüllt. Die Unabhängigkeit von äußeren Störungen wurde durch Verwendung eines sehr starken Magnetfeldes erreicht. Zur vollkommenen Homogenisierung des Magnetfeldes ist innerhalb des Spulenrahmens ein Weicheisenkern angebracht. Die Polschuhe sind an die Spule möglichst nahe herangebracht, der Zwischenraum zwischen diesen und dem Weicheisenkern läßt aber dabei der Spule noch genügend Spielraum, so daß die Justierung relativ schnell ausgeführt werden kann.

Die erreichte Stromempfindlichkeit beträgt bei 1 m Skalenabstand etwa 1 mm Ausschlag pro $2 \cdot 10^{-8}$ A. Diese Empfindlichkeit ist so groß, daß sie für alle Zwecke des Unterrichts vollständig ausreicht. Selbst bei Experimentaluntersuchungen gewisser physikalischer Spezialfragen wird wohl meistens keine höhere Empfindlichkeit verlangt werden.

Die Spule ist auf einem Aluminiumrahmen aufgewickelt. Dadurch wird eine so starke elektro-magnetische Dämpfung erzielt, daß die Zeigereinstellung aperiodisch in kürzester Zeit erfolgt. Schwankungen, wie sie an anderen empfindlichen Galvano-

metern beobachtet werden, fallen praktisch vollkommen fort, ein für Unterrichtszwecke besonders hervorzuhebender Vorzug.

Das Instrument wird in erster Linie mit einer objektiven Ablesung ausgerüstet. An

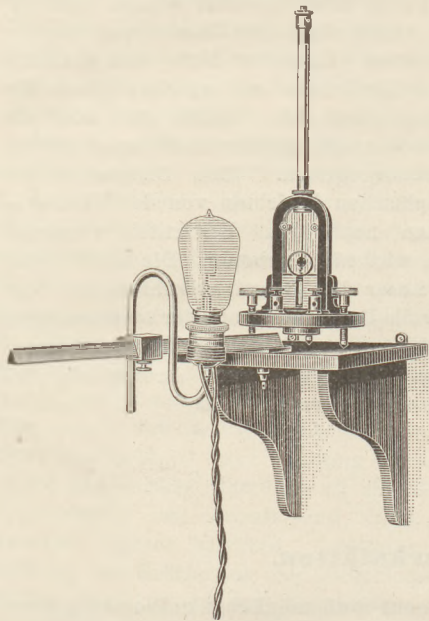


Fig. 1.

einer Zapfenverlängerung der Spule ist in der üblichen Weise ein kleiner Spiegel angebracht, auf den durch eine Linse ein Lichtfaden geworfen wird. Zur Erzeugung des Lichtfadens wird entweder eine moderne Projektions-Nernstlampe oder die mit einem kurzen geraden Faden ausgerüstete Siemensspeziallampe verwandt. Die Nernstlampe muß jeweilig der vorhandenen Spannung und Stromart angepaßt sein, die Siemenslampe, bestehend aus einem geradlinigen Spiraldraht, der an den Zuleitungsdrähten direkt aufgehängt ist, soll mit etwa 6,5 Volt betrieben werden; eine Akkumulatoren-batterie ist wohl überall vorhanden. Soll etwa vorhandene Netzspannung benutzt werden, so muß ein Widerstand vorgeschaltet werden, der der vorhandenen Spannung angepaßt ist. Steht Wechselstrom zur Verfügung, so kann derselbe mittels eines eigens zu diesem Zwecke konstruierten Umformers von der vorhandenen Netzspannung auf 6,5 Volt herabgesetzt werden. Gegenüber dem Vorschaltwiderstande hat dieser Umformer den Vorteil, daß nicht unnütz Strom in Wärme verwandelt wird und dadurch die Betriebskosten der Lampe heraufgesetzt werden.

Die Lampe ist an einem mit einer Konsole beweglich verbundenen Arme angebracht.

Dadurch werden drei Bewegungsrichtungen der Lampe gegen das Galvanometer ermöglicht (s. Fig. 1). Die Skala besteht aus Mattglas, das mit weißem Papier hinterlegt ist. Letzteres dient dazu, die Stärke des Lichteffektes auf der ganzen Länge der Skala unabhängig vom Sehwinkel zu machen. Der Skalenabstand beträgt zweckmäßig 1–3 m, die Brennweite der Linse ist diesem Abstand angepaßt. Die Skala soll sich, wenn irgend möglich, zwischen Lehrer und Schüler befinden und nicht seitlich angebracht sein. Auf diese Weise wird erreicht, daß die Schüler das durchfallende Licht auf der Skala gleichzeitig verfolgen können. Bei dieser Anordnung ist der Lehrer imstande, seine Aufmerksamkeit auf die Versuche, die Galvanometerausschläge und die Klasse gleichmäßig zu verteilen. Eine gute Sichtbarkeit des Fadens von allen Plätzen der Klasse ist dann, wenn die Skala inmitten des Raumes und nicht an der Seite liegt, ebenfalls gewährleistet.

Das Instrument selbst ist so gebaut, daß auch von außen, ohne daß irgend eine Schraube gelöst werden muß, jede Einzelheit erkannt werden kann. (Siehe Fig. 2.)

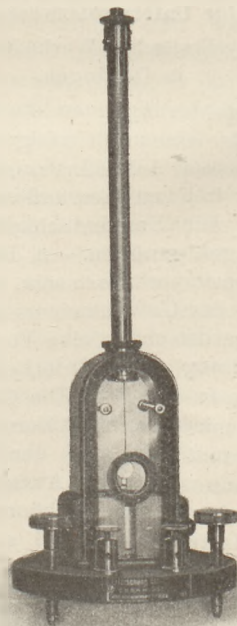


Fig. 2.

Auf einem schweren Messingsockel ist der Magnet mit den Polschuhen montiert. Eine starke Messingkappe umfaßt die Polschuhe. Diese Kappe dient als Träger des

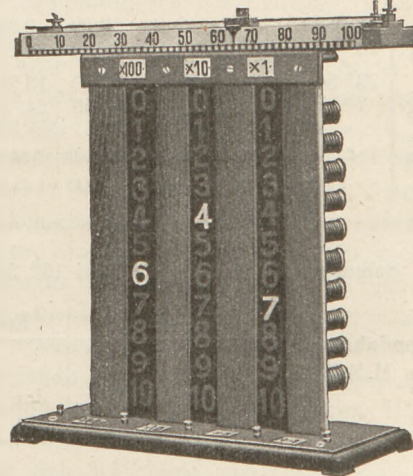
Weicheisenstückes innerhalb der Spule. Der Magnet trägt ein drehbares Messingrohr, die Spulenaufhängung. Ein Torsionskopf am Ende desselben gestattet ein Hoch- und Niederstellen der Spule. Die Spule ist mittels eines Phosphorbronzefadens an der Mikrometerschraube des Torsionskopfes befestigt. Dieser Faden dient gleichzeitig als eine Zuleitung der Spule. Die zweite Zuleitung, bestehend aus einer Silberspirale, ist durch eine Metallkapsel, (die unterhalb des Sockels sitzt) vor Staub geschützt. Aus dieser Kapsel führt ein Zuleitungsdraht frei heraus und geht zu einer Klemme, die mittels einer ebenfalls sichtbaren Hartgummischeibe auf dem Sockel isoliert aufgesetzt ist. Die zweite Zuleitungsklemme ist dagegen unisoliert auf dem Sockel aufmontiert. Der Strom geht demnach von dieser zweiten Klemme durch den Sockel, den Magneten, das aufgesetzte Messingrohr, den Bronzefaden, die Spule und die Silberspirale zur ersten, isolierten Klemme zurück.

Die Windungen der Spule sind direkt auf einen Aluminiumrahmen gewickelt. Die Verbindung mit dem Bronzefaden ist durch den Spiegelhalter an der Spule vermittelt. Das Instrument wird mittels zweier Schrauben, die durch den Sockel gehen, justiert, bis die festaufgesetzte Libelle einspielt. Dann ist das Instrument sofort gebrauchsfertig. Das Spulensystem, d. h. die empfindliche innere Einrichtung, ist durch zwei Spiegel-Glasplatten luftdicht abgeschlossen. In eine derselben ist die Linse mit einer Fassung eingelassen. Die Glasscheiben, die mittels zweier Schrauben gehalten werden, aber auch leicht zu entfernen sind, schützen einmal das System vor Verstaubung, ermöglichen es aber auch andererseits, den Bau des Instrumentes gut zu erkennen, ohne daß das Instrument auseinandergenommen werden muß, worauf beim Unterricht nicht genug Wert gelegt werden kann. Der Spulenwiderstand ist auf 50 Ohm bemessen und zwar in der Erwägung, ein universell verwendbares Instrument zu schaffen. Von der Anbringung zweier Wicklungen mit verschiedenen Widerständen für Induktions- und Thermostrome wurde abgesehen, um das

Instrument nicht wieder wesentlich zu verteuern und seine Übersichtlichkeit nicht zu beeinträchtigen.

Das Instrument wird in besonderem Kasten verschickt. Für den Versand wird zwischen Spule und Eisenkern ein kleiner Holzkeil eingeklemmt. Auf diese Weise konnte auch eine besondere Arretierung erspart werden. Nach Lösen der vorderen Glasscheibe und vorsichtigem Entfernen dieses Holzkeiles ist das Galvanometer sofort gebrauchsfertig. Der Preis konnte seitens der ausführenden Firma, der Physikalischen Werkstätten d. E. d. E. in Göttingen auf M. 85,— für das Instrument allein, der des ganzen Zubehörs im einfachsten Fall auf M. 37,50 festgesetzt werden, so daß die Anschaffung der ganzen Einrichtung auch solchen Anstalten möglich ist, die mit geringen Mitteln ausgerüstet sind. (Siehe auch das Preisblatt S. A. 5.) *Dr. Max Werner.*

Im vorigen Heft S. 114 wurde in der Mitteilung „Präzisions-Demonstrations-Meß-Rheostat. Von GEBR. RUHSTRAT in Göttingen“ durch ein Versehen, an dem die Redaktion nicht die Schuld trägt, ein anderer Figurenstock der Firma eingestellt, der durch die beistehende Figur zu ersetzen ist:



Präzisions-Demonstrations-Meß-Rheostat.
Von GEBR. RUHSTRAT in Göttingen.

Korrespondenz.

Kurse der Kgl. Zentralstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht in Berlin. Im Sommerhalbjahr 1915

finden folgende Kurse für akademisch gebildete Lehrer und Lehrerinnen an den höheren Schulen Groß-Berlins statt: 1. Direktor

Dr. Röseler, Übungen in der Anatomie und Physiologie der Tiere; 2. Prof. Dr. Kolkwitz, Botanische Ausflüge; 3. Dr. Volkmann, Schulversuche aus der Linsoptik; 4. Prof. Hahn, Anleitung zu physikalischen Schülerversuchen; 5. Prof. Dr. Böttger, chemische und elektrochemische Unterrichtsversuche; 6. Prof. Dr. Lampe, Vorträge und Übungen über Lehr- und Hilfsmittel des erdkundlichen Unterrichts; 7. Prof. Dr. Lampe, Anleitung zum Unterricht in der Heimatkunde von Berlin; 8. Oberlehrer Urbahn, erdkundliche

Ausflüge; 9. Mechaniker Hintze, praktische Übungen in der mechanischen Werkstatt.

In dem Aufsatz „Ein Versuch zur Iontentheorie. Von Dr. F. SCRIBA in Darmstadt“ im vorigen Heft S. 94 wurde versehentlich in der Druckerei der beistehende Figurenteil weggelassen; er soll die dortige Figur linkerseits ergänzen.



Himmelserscheinungen im Juni und Juli 1915.

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

	Juni						Juli							
	1	6	11	16	21	26	1	6	11	16	21	26	31	
♄	AR	6 ^h 14 ^m	6.30	6.39	6.39	6.32	6.21	6. 9	6. 2	6. 3	6.13	6.32	7. 1	7.38
	D	+ 25 ^o	+ 24	+ 23	+ 21	+ 20	+ 19	+ 19	+ 19	+ 19	+ 20	+ 21	+ 22	+ 22
♀	AR	2 ^h 42 ^m	3. 6	3.30	3.55	4.20	4.45	5.11	5.38	6. 4	6.31	6.57	7.24	7.50
	D	+ 14 ^o	+ 16	+ 18	+ 19	+ 20	+ 21	+ 22	+ 23	+ 23	+ 23	+ 23	+ 22	+ 22
☉	AR	4 ^h 33 ^m	4.54	5.14	5.35	5.56	6.17	6.37	6.58	7.18	7.39	7.59	8.19	8.38
	D	+ 21,9 ^o	+ 22,6	+ 23,0	+ 23,3	+ 23,4	+ 23,4	+ 23,2	+ 22,8	+ 22,2	+ 21,5	+ 20,8	+ 19,6	+ 18,5
♂	AR	2 ^h 11 ^m	2.25	2.40	2.54	3. 9	3.23	3.38	3.52	4. 7	4.22	4.36	4.51	5. 6
	D	+ 12 ^o	+ 14	+ 15	+ 16	+ 17	+ 18	+ 19	+ 20	+ 21	+ 21	+ 22	+ 22	+ 23
♄	AR		23.46		23.50		23.53		23.56		23.57		23.56	
	D		- 3		- 2		- 2		- 2		- 2		- 2	
♄	AR	6 ^h 11 ^m						6.27						
	D	+ 23 ^o						+ 23						
☾	Aufg.	3 ^h 46 ^m	3.42	3.40	3.39	3.39	3.40	3.43	3.46	3.51	3.57	4. 3	4.10	4.18
	Unterg.	20 ^h 9 ^m	20.14	20.19	20.22	20.24	20.24	20.24	20.22	20.18	20.14	20. 8	20. 1	19.53
☾	Aufg.	23 ^h 54 ^m	0.48	2. 8	6.49	13.24	20.34	22.44	23.48	2.18	8.32	15.32	20.18	21.34
	Unterg.	7 ^h 5 ^m	13.48	19.47	22.55	24. 0	1.56	8.58	15.16	20.12	21.43	23. 5	3.30	10.30
Sternzeit im mittl. Mittg.		4 ^h 35 ^m 24 ^s	4.55. 7	5.14.50	5.34.33	5.54.16	6.13.58	6.33.41	6.53.24	7.13. 7	7.32.49	7.52.32	8.12.15	8.31.58
	Zeitgl.	- 2 ^m 31 ^s	- 1.43	- 0.46	+ 0.16	+ 1.20	+ 2.25	+ 3.26	+ 4.22	+ 5. 9	+ 5.46	+ 6.10	+ 6.20	+ 6.15

Mittlere Zeit = wahre Zeit + Zeitgleichung.

Sommersolstitium am 22. Juni 13^h 30^m M.E.Z.

Mondphasen in M.E.Z.	Neumond	Erstes Viertel	Vollmond	Letztes Viertel
	Juni 12, 19 ^h 57 ^m	Juni 20, 15 ^h 25 ^m	Juni 27, 5 ^h 27 ^m	Juni 4, 17 ^h 32 ^m
	Juli 12, 10 ^h 31 ^m	Juli 19, 22 ^h 9 ^m	Juli 26, 13 ^h 11 ^m	Juli 4, 6 ^h 54 ^m

Planetensichtbarkeit	Merkur	Venus	Mars	Jupiter	Saturn
im Juni	nur noch bis zum 9. abends für kurze Zeit sichtbar	morgens 1/4 bis 1/2 Stunde lang sichtbar	wird in der zweiten Monats-hälfte morgens sichtbar, zuletzt 1/2 Stunde lang	morgens 1 1/2 bis 2 1/2 Stunden lang sichtbar	unsichtbar; Konjunktion am 28.
im Juli	erst am Ende des Monats für einige Minuten morgens im NO sichtbar	morgens etwa 3/4 Stunden lang im NO sichtbar	die Sichtbarkeitsdauer wächst bis auf 2 1/2 Stunden	die Sichtbarkeitsdauer wächst bis auf 5 1/2 Stunden	wird am Schluss des Monats morgens für kurze Zeit sichtbar

F. Koerber.

Nachdruck nur mit Quellenangabe und mit Genehmigung der Verlagsabhandlung gestattet