

Über Selbstinduktion.

Von Dr. K. Schütt in Hamburg.

Für das Verständnis der Wirkungsweise des Funkeninduktors, der Vorgänge im Wechselstromkreise, der Kondensatorschwingungen und der drahtlosen Telegraphie ist die Selbstinduktion von grundlegender Bedeutung. Dieser Tatsache wird nach meinen Erfahrungen im Unterricht meistens nicht in ausreichender Weise Rechnung getragen. Die Besprechung des Funkeninduktors gibt Gelegenheit, auf die Extrastrome und ihren Einfluß auf die Induktionserscheinungen in der sekundären Spule hinzuweisen. Die Selbstinduktion erscheint dem Schüler als eine unbequeme, störende Erscheinung, deren Nachteile man wenigstens für den Öffnungsstrom durch Parallelschalten eines Kondensators zur Funkenstrecke beseitigen kann. Die Selbstinduktion wird in der Weise eingeführt, daß man vom Induktionsgesetz ausgehend, darauf hinweist, daß beim Öffnen und Schließen des Stromes die aus der Spule herausquellende bzw. in sie zurücksinkenden Kraftlinien die Windungen schneiden und in ihnen eine E.M.K. induzieren, deren Richtung sich aus der Lenzschen Regel oder nach der Induktionsregel ergibt¹⁾. Bei dieser Darstellung bleibt es unverständlich, daß auch in gerade ausgespannten Drähten Extrastrome auftreten. Die Hilfsvorstellung, den Draht in eine Anzahl paralleler Drähte, die jeder einen Teil des Gesamtstroms befördern, zu zerlegen, ist etwas gezwungen und für den Schüler nicht befriedigend. Der weitere viel schwerer wiegende Nachteil dieser Darstellungsart ist der, daß es nicht möglich ist, die elektrischen Schwingungen und die hierbei stattfindenden periodischen Energieverwandlungen zu verstehen. Der wertvolle Vergleich der elektrischen mit Pendelschwingungen läßt sich nicht befriedigend durchführen, da der Schüler nicht weiß, daß der Vorgang der Selbstinduktion auf eine Umwandlung von Stromarbeit in potentielle magnetische Energie beruht. Er ist gewohnt, bei einem Strome, der einen Leiter durchfließt, nur an die irreversible Energieverwandlung im Leiter (Joulesche Wärme), also an das, was die Schwingungen dämpft, zu denken und nicht an die reversible Aufspeicherung von magnetischer Feldenergie.

Ich halte es daher für vorteilhafter und sachlich richtiger, wenn man auf einem anderen Wege die Selbstinduktion einführt, indem man energetische Betrachtungen voranstellt und erst im Anschluß hieran von den elektromotorischen Gegenkräften spricht. Das Verfahren sei im folgenden skizziert: Nach FARADAY sind im Felde eines Magneten Zug- und Druckspannungen, wie sie auch im Innern deformierter elastischer Körper auftreten, wirksam. Die Kraftlinien geben uns Auskunft über die Richtung der Kräfte (Zug in Richtung der Kraftlinien, Druck quer zu ihnen, Vergleich mit gespanntem Gummischlauch), ihre Dichte über die Feldstärke. Wie in jeder gespannten Feder ein bestimmtes Quantum potentieller Energie steckt, das beim Dehnen von außen hineingebracht und beim Zurückschnellen der Feder wieder nach außen abgegeben wird, so enthält auch das magnetische Feld

¹⁾ Von den zahlreichen Büchern, die ich daraufhin durchgesehen habe, bringen alle diese Darstellung, einige wenige (Ebert, „Magnetische Kraftfelder“; Grimsehl, Lehrbuch der Physik; Poske, Naturlehre) neben dieser auch die energetische (die beiden ersteren ausführlich), jedoch an zweiter Stelle.

potentielle Energie. Fließt durch einen Leiter ein Strom, dann ist in seiner Umgebung ein magnetisches Feld nachweisbar, dessen Kraftlinien ihn in konzentrischen Kreisen umgeben und dessen Stärke von der Stromstärke i_0 abhängt. Beim Einschalten des Stromes wandert ein Teil der dem Leiter zugeführten elektrischen Energie ins Feld, um hier als magnetische Energie aufgespeichert zu werden. Hat der Strom seine volle Stärke i_0 erreicht, dann treten im Felde keine Änderungen mehr auf, die Energiezufuhr hört auf. Ein bestimmter Betrag von Wattsekunden steckt jetzt im Felde. Seine Erhaltung erfordert ebensowenig Energie, wie das Festhalten einer gespannten Feder oder eines gehobenen Gewichtes. Von jetzt an dient also die zugeführte elektrische Arbeit lediglich dazu, den Widerstand des Leiters zu überwinden, also die in ihm entwickelte Wärme W aufzubringen, wo $W = i^2 R \cdot t$ ist; es ist Stromarbeit $A (= e i t) = W$. Zu dieser bei konstantem Strom geleisteten Arbeit W kommt beim Einschalten für jedes Zeitelement der Betrag M , der ins Feld wandert, um dieses aufzubauen, so daß man als allgemeine Gleichung für den Stromschluß erhält

$$(1.) \quad A = W + M$$

Hat die Stromstärke den Wert $i_0 = \frac{v}{R}$ erreicht, dann wird M gleich 0, da ja das magnetische Feld jetzt seine volle Stärke erreicht hat und keine weitere Energie mehr aufnimmt; sein Energieinhalt ist M_0 . Dieselben energetischen Verhältnisse liegen vor, wenn es sich darum handelt, durch Arbeitsleistung einen Körper von der Masse m (z. B. das Wasser in einer Leitung beim Öffnen des Hahnes) auf die Geschwindigkeit v_0 zu bringen. Bevor diese erreicht ist, nimmt die Masse Energie in sich auf und steigert ihren Energieinhalt, der in diesem Fall Bewegungsenergie ist, während ein weiterer Teil der zugeführten Arbeit bei Überwindung der Reibung in Wärme verwandelt wird. Bei der Endgeschwindigkeit v_0 steckt das Quantum kinetischer Energie $\left(\frac{m}{2} v_0^2\right)$ im bewegten Körper und beansprucht, da es sich nun nicht mehr ändert, keine weitere Energiezufuhr (die Masse ist nur so lange träge, als sie beschleunigt wird, für die gleichförmige Bewegung spielt die Masse keine Rolle, sie kommt nicht in den Gleichungen vor), während von jetzt an dauernd ein konstanter Betrag in der Zeiteinheit in Wärme transformiert wird und durch die Energiequelle nachgeliefert werden muß. Wie die bewegte Masse nun beim Abschalten der Energiezufuhr ihre Wucht wieder herausgibt und sich mit abnehmender Geschwindigkeit weiter bewegt, so wandert beim Ausschalten des Stromes, wenn das magnetische Feld zusammenbricht, die in ihm aufgespeicherte Energie in den Leiter zurück. Dieser empfängt aus dem Felde plötzlich das Energiequantum M_0 , die Folge ist, daß der Strom — als Extrastrom — noch weiter fließt. Wir haben den Eindruck, als wenn die Elektrizität (die Elektronen) in ihren Bewegungen träge sind; ist sie in Bewegung, dann sucht sie diese Bewegung beizubehalten. Daß beim Öffnen infolge der in die Leitung hineinschießenden Energie sehr hohe Spannung — viel höher als die vorher wirkende v — auftreten können, wird verständlich, wenn man bedenkt, daß die elektrische Energie sich aus drei Faktoren (Spannung, Stromstärke und Zeit) zusammensetzt, von denen einer auf Kosten der anderen groß werden kann.

Aus diesen Betrachtungen geht hervor, daß es nicht gelingen kann, den Schließungsextrastrom außerhalb der Spule nachzuweisen, er macht sich nur durch das Verschwinden von elektrischer Energie, also durch eine scheinbare Erhöhung des Widerstandes und ein allmähliches Ansteigen der Stromstärke bis zum vollen Betrag i_0 bemerkbar. Den Öffnungsstrom dagegen kann man aus der Spule herausholen.

Das im Innern einer eisenfreien Spule erzeugte Feld hängt außer von der Stromstärke i_0 von der Zahl n der Windungen und ihrer Anordnung ab; wird z. B. n verkleinert oder die Spule durch Auseinanderziehen ihrer Windungen verlängert, so wird das Feld schwächer. Zahl und Anordnung sind für eine gegebene Spule

eine Konstante, die man als Selbstinduktionskoeffizienten L bezeichnet. Auch die magnetische Energie M_0 , welche die Spule beim Stromschluß aufspeichert, wird von i_0 und L abhängen. Es ergibt sich, daß

$$(2.) \quad M_0 = \frac{1}{2} L \cdot i_0^2 \text{ ist}^1).$$

Man sieht, daß die Formeln für die Energie der bewegten Masse $\frac{1}{2} m \cdot v_0^2$ und für die magnetische Energie auch formell übereinstimmen, indem L die Rolle der trägen Masse spielt. Liegt ein Eisenkern, dessen Permeabilität μ ist, in der Spule (die Masse m bewegt sich in einem sehr zähen Medium, so daß sie einen Teil des Mediums mitführt, wodurch ihre Trägheit vergrößert wird), dann ist die Feldstärke und damit auch L und M_0 μ mal so groß.

Um zu untersuchen, wie sich die Verhältnisse bei Stromschluß und Öffnung in einer Spule vom Widerstande R , an deren Enden die Spannung v liegt, gestalten, geht man von Gleichung (1.) aus. In der Zeit dt ist die angeführte elektrische Energie $A = i \cdot v \cdot dt$, die in der Spule entwickelte Wärmemenge $W = i^2 \cdot R \cdot dt$ und die ins Feld hinauswandernde und sich dort aufspeichernde Energie $M = d(\frac{1}{2} L i^2) = i L di$. Man erhält aus (1.) die Gleichung:

$$\begin{aligned} i v dt &= i^2 \cdot R \cdot dt + i L \cdot di \\ v &= i \cdot R + L \cdot \frac{di}{dt} \text{ od} \\ (3.) \quad v - i R - L \frac{di}{dt} &= 0. \end{aligned}$$

Der Ausdruck $-L \frac{di}{dt}$ wirkt wie eine elektromotorische Gegenkraft, welche die Spannung v außer dem Spannungsabfall $i R$ überwinden muß. Man nennt sie die elektromotorische Gegenkraft (E.M.G.) der Selbstinduktion. Die Einheit des Selbstinduktionskoeffizienten²⁾ L läßt sich hieraus in bekannter Weise als Henry definieren³⁾. Man sieht, daß sich die gebräuchliche Auffassung der Selbstinduktion als durch Schneiden von Kraftlinien erzeugte E.M.G. jetzt als Folge der energetischen Betrachtungen ergibt.

Die Lösung der allgemeinen Stromgleichung, die für konstanten Strom ($di = 0$) zum Ohm'schen Gesetz führt, läßt sich in der Prima⁴⁾ ohne weiteres durchführen. Zwei Wege führen zum Ziel: man differenziert nach t und erhält: $\frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di}{dt} = 0$. In dieser homogenen linearen Differenzialgleichung setzt man $i = e^{\alpha \cdot t}$; man erhält zur Bestimmung von α die Gleichung: $\alpha^2 + \frac{R}{L} \cdot \alpha = 0$ und als ihre Lösungen:

$$\alpha_1 = 0, \quad \alpha_2 = -\frac{R}{L}.$$

Näher liegend für den Schüler ist der andere Weg, indem man Gleichung (3.) auflöst

$$dt = \frac{L}{v - R i} di$$

Durch Integration findet man $t = -\frac{L}{R} \ln(v - R i) + C_1$. Da zur Zeit des Strom-

¹⁾ Ableitung s. Grimsohl, Lehrbuch der Physik. Leipzig 1909. S. 916.

²⁾ Der unbequeme lange Name läßt sich nicht vermeiden, da das von Ebert dafür gebrauchte Induktanz jetzt meistens nicht für L sondern $L \cdot \omega = 4 \pi n L$ verwendet wird, wo n die Frequenz des Wechselstromes bedeutet.

³⁾ Vgl. diese Zeitschrift XXXI (1918), S. 197. F. Hochheim, Über die Selbstinduktion und Eigenfrequenz von Schwingungskreisen.

⁴⁾ Der Verfasser steht auf dem Standpunkt, daß es wünschenswert und möglich ist, die Differential- und Integralrechnung, dieses wertvolle Hilfsmittel in Mathematik und Physik, recht frühzeitig, also schon in der Unterprima einzuführen.

schlusses $t = 0, i = 0$ ist, ergibt sich die Integrationskonstante $C_1 = \frac{L}{R} \cdot \ln v$. Nach einigen Umformungen erhält man

$$(4.) \quad i = i_0 \left(1 - e^{-\frac{R}{L} \cdot t} \right), \text{ wo } i_0 = \frac{v}{R} \text{ ist.}$$

Der Strom steigt also allmählich zum vollen Betrag i_0 an, da von i_0 ein mit zunehmendem t abnehmender Betrag abzuziehen ist, dessen Größe vom Verhältnis $\frac{R}{L}$ abhängt. Je kleiner dieser Bruch, je größer also der Selbstinduktionskoeffizient L und je kleiner der Widerstand R der Spule ist, desto langsamer steigt der Strom an. Man nennt $\frac{L}{R}$ die Zeitkonstante z der Spule; bei großem z wächst i langsam. z wird, wenn die Spule einen Eisenkern enthält, μ mal so groß. Für $t = \infty$ wird $i = i_0$.

Wird durch Kurzschließen der Spule $v = 0$, dann lautet Gleichung (3) $L \cdot \frac{di}{dt} + iR = 0$, woraus man unter Berücksichtigung, daß für $t = 0$ $i = i_0$ ist, erhält

$$(5.) \quad i = i_0 e^{-\frac{R}{L} \cdot t}.$$

Setzt man $t = z = \frac{L}{R}$, dann erhält man $i = \frac{i_0}{e} = \frac{i_0}{2,7}$, d. h. die Zeitkonstante gibt an, nach wie viel Sekunden die Stromstärke auf den 2,7ten Teil ihres Anfangswertes i_0 gesunken ist.

Trägt man auf der Horizontalen die Zeit, auf der Vertikalen die aus (5) berechneten Augenblickswerte von i auf, dann erhält man die bekannte Kurve in Fig. 1. Nach t_1 Sekunden hat der Strom seine volle Stärke i_0 , bei B wird v gleich 0. Der Inhalt des Rechtecks $A B C D$ $\left(\int_{t_1}^{t_2} i \, dt \right)$ gibt die in $t_2 - t_1$ Sekunden durch die Spule geflossene Elektrizitätsmenge in Coulombs. Multipliziert man sie mit v , dann erhält man die während dieser Zeit im Leiter geleistete Arbeit in Watt; sie wird nach

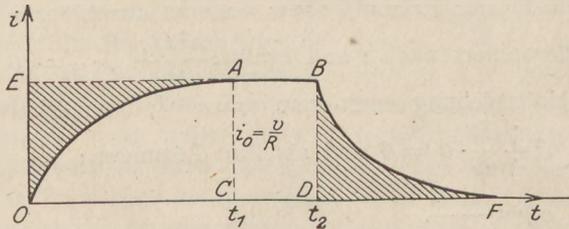


Fig. 1.

Gleichung (1), da wegen Konstanz der Stromstärke $M = 0$ ist, in Joulesche Wärme umgewandelt. Wäre die Spule induktionsfrei gewickelt, dann würde der Strom in ihr sofort beim Einschalten die volle Stärke i_0 ($O E$) annehmen, die zugeführte elektrische Energie, die gleich $i_0 \cdot t_1 \cdot v$ ($v \times$ Rechteck $O E A C$) ist, würde in Stromwärme umgesetzt. Ebenso würde zur Zeit t_2 , der Strom momen-

tan auf 0 abfallen. Hat die Spule Selbstinduktion, d. h. wandert beim Schließen in das Feld Energie hinein, dann ist die in der Spule entwickelte Stromwärme geringer, nämlich gleich $v \times$ Fläche $O A C = v \cdot \int_0^{t_1} i \cdot dt = v \cdot \int_0^{t_1} i_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{R}{L} \cdot t} \right) \cdot dt$. Wenn man Fläche $O E A$ mit v multipliziert, erhält man mithin den im Felde aufgespeicherten Teil, die magnetische Energie M_0 . Dieser Betrag wandert beim Kurzschließen in die Spule zurück. Wie man ohne weiteres sieht und durch Berechnung der Integrale leicht zeigen kann, sind die beiden schraffierten Flächen $O E A$ und $D B F$ gleich groß. Beim Öffnen gibt das Feld den Energiebetrag, der beim Schließen aus dem Draht ins Feld wanderte und daher nicht im Stromkreise arbeitete an diesen zurück; der Strom fällt langsam ab und die am Anfang fehlende Wärme wird

gleichsam nachgeliefert. Die eingehende Betrachtung der Kurve ist also wertvoll, da sie ein anschauliches Bild der Energieverhältnisse liefert.

Für den experimentellen Nachweis der Extraströme gibt es eine ganze Reihe hübscher Versuche¹⁾. Ich benutze eine Bifilarspule²⁾, die mit 150 m Doppel- (Klingel-) Draht bewickelt ist, so daß sie zwei getrennte Spulen von je 150 m Länge und je 6 Ω Widerstand enthält; diese kann man durch eine auf dem Grundbrett angebrachte Stöpselschaltung so schalten, daß sie hintereinander in gleicher („Gleichschaltung“) oder in entgegengesetzter Richtung („Gegenschaltung“) vom Strome durchflossen wird. Im ersteren Fall erzeugt sie ein kräftiges magnetisches Feld und besitzt Selbstinduktion — ihr Koeffizient L ist (mit den Kohlrauschschen Universalbrücken gemessen) 0,04 Henry. Durch Einführen eines unterteilten Eisenkerns kann die magnetische Wirkung und damit die Selbstinduktion beträchtlich gesteigert werden. In Gegenschaltung ist beides gleich 0, die Spule ist induktionsfrei. Man kann also ihre Selbstinduktion von einem hohen Wert durch allmähliches Herausziehen des Eisens erniedrigen und schließlich durch Gegenschalten auf Null bringen.

An die Spule L (Fig. 2) in Gleichschaltung schaltet man die Starkstromleitung von 110 Volt, in Nebenschluß zur Spule eine niedrigkerzige (5 HK) 110 Volt-Metalllampe G , so daß sie eben leuchtet (Regulieren durch Vorschaltwiderstand). Beim Öffnen des Schalters U leuchtet G hell auf; ist das Eisen entfernt, schwächer; nimmt man Gegenschaltung, gar nicht. Legt man bei C einen Papierkondensator ($\sim 40 \mu F$) in die Leitung, dann hat man einen Schwingungskreis, der beim Abschalten der Spannung gedämpft ausschwingt, die Lampe leuchtet heller (nicht bei Gegenschaltung). Man legt bei D einen Wehneltunterbrecher in die Leitung (ohne Kondensator C) und schraubt den Platinstift so weit heraus, daß er nicht unterbricht. Der hindurchfließende Gleichstrom läßt die Lampe schwach leuchten.

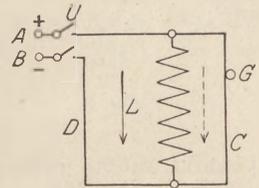


Fig. 2.

Bringt man jetzt durch Zurückschrauben des Stiftes den Unterbrecher zum Arbeiten (wegen der hohen Selbstinduktion unterbricht er langsam, tiefer Ton), dann leuchtet die Lampe wegen des Öffnungsextrastroms, der sie z. T. durchfließt (der andere Teil geht in den Unterbrecher), sehr hell auf.

Sehr augenfällig werden die Versuche, wenn man an Stelle der Metallfadenslampe eine Neon-Glimmlampe³⁾ bringt und als Stromquelle drei Sammler nimmt. Beim Öffnen leuchtet die Lampe auf, jedoch nur, wenn das untere Spulenende (Fig. 2) mit ihrem positiven Pol verbunden ist. Der Versuch gibt also Aufschluß über die Richtung des Öffnungsextrastromes, ferner zeigt er, daß die E.M.G. mindestens 220 Volt beträgt bei einer Spannung des Spulenstromes von 6 Volt. Dieselben Versuche lassen sich auch mit einem Gehrkeschen Glimmlichtoszillographen ausführen; beim Öffnen überzieht sich die eine Nিকেlelektrode mit dem Glimmlicht. Betreibt man einen kleinen Induktor von etwa 5 cm Schlagweite mit drei Sammlern und legt den Oszillo-

¹⁾ Vgl. z. B. Grimsehl, Lehrbuch. 1. Aufl., S. 910 u. 917—919.

²⁾ Diese Zeitschr. XXVII (1914), S. 270. K. Schütt, Versuche über Wechselströme und elektrische Schwingungen.

³⁾ Die bekannte Firma J. Pintsch, Berlin bringt seit kurzem Neonlampen, und zwar Glimmwie Bogenlampen in den Handel. Beide sind mit Neon und 25% Helium von niedrigem Druck gefüllt. Legt man an erstere 220 Volt, so überzieht sich die halbkugelförmige Kathode, der in 1 mm Abstand die Anode gegenübersteht, mit rosafarbenem, mattleuchtendem Glimmlicht. Die Bogenlampe besitzt nach Art der Quecksilberdampf Lampe ein längeres Leuchtrohr mit Eisenanode und einer Kathode aus Kadmium-Thalliumlegierung. Durch den Hochspannungsstoß, den eine Spule von hoher Selbstinduktion in Verbindung mit einem Vakuumunterbrecher beim Einschalten liefert, wird die Lampe gezündet und sendet (bei 220 Volt) blendendes rosafarbenes Licht aus. Setzt man die Lampe in einen lichtdichten, mit Spalt versehenen Kasten, dann kann man den Schülern unter Benutzung eines geeigneten Beugungsgitters sehr schön und hinreichend hell das Spektrum von Neon und Helium vorführen.

graphen parallel zur Primärspule, dann leuchtet, wenn man die Sekundärpole so weit auseinander zieht, daß keine Funken überspringen, der eine Pol bei Betätigung des Unterbrechers auf. Wesentlich besser geht der Versuch, wenn man die Selbstinduktionsspule der in der Fußnote erwähnten Neonbogenlampe benutzt. Die Neonleuchtöhre nimmt man heraus und bringt an ihre Stelle ein etwa 50 cm langes Entladungsröhr, das die Schichtung des positiven Lichtes gut zeigt, also sehr weich ist. Legt man 220 Volt an, so tritt der Vakuumunterbrecher dauernd in Tätigkeit. Die Öffnungsströme der Spule bringen die Röhre zu hellem Leuchten.

Zum Nachweis der Selbstinduktion und zur Messung des Koeffizienten kann man bekanntlich auch die Wheatstonesche Brücke benutzen; sehr praktisch ist die Universalmeßbrücke von Kohlrausch¹⁾. Fig. 3 zeigt die Schaltung. Man verschiebt den Gleitkontakt, bis das Galvanometer G auf 0 steht. Öffnet man mittels

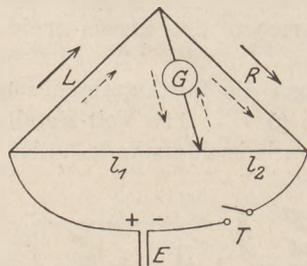


Fig. 3.

Tasters T die zum Tauchelement E führende Leitung, dann schlägt das Galvanometer aus; der in der Spule entstehende Extrastrom gleicht sich durch die Leitungen $l_1 G$ und $l_1 l_2 R$ aus. Schließt man wieder, dann zeigt sich ein Ausschlag nach der entgegengesetzten Seite. Dieser ist nicht etwa so zu erklären, daß ein Öffnungsstrom in entgegengesetzter Richtung die oben genannten Leitungen durchfließt. Vielmehr erhöht der Schließungsstrom, da er dem Hauptstrom entgegen gerichtet ist, für einen Augenblick den Widerstand von L . Die Einstellung des Gleitkontaktes stimmt nicht für den Moment des Schließens, der Gleit-

kontakt müßte weiter nach rechts liegen. Daher schlägt der Zeiger aus. Schaltet man bei R eine Selbstinduktionsnormale ($0,1 H$) (bei der Universalbrücke nimmt man zu dem Zweck den kurzen Kupferdraht, der zwischen Vergleichswiderstand und hinterer Galvanometer-(Telephon-)Klemme liegt, heraus und ersetzt ihn durch die Normale) und in die Leitung L einen induktionsfreien Stöpselrheostaten ein, dann gelingt es nach einigem Probieren, die Widerstände so abzugleichen, daß die Brückenleitung sowohl bei dauernd geschlossenem Strom als auch beim Öffnen und Schließen stromlos ist. (Die gestrichelten Pfeile zeigen die Richtung der Öffnungsextrastrome.) Dann verhalten sich nicht nur die Widerstände der beiden Zweigen wie $l_1 : l_2$, sondern auch ihre Selbstinduktionskoeffizienten, da ihre Extrastrome, die sich durch G (in entgegengesetzter Richtung) ausgleichen, sich aufheben. Also ist $L = N \cdot \frac{l_1}{l_2}$ (Maxwellsche Methode)²⁾. Als Galvanometer nimmt man am besten ein aperiodisches Drehspulinstrument.

Zur Untersuchung des Stromverlaufs beim Schließen und Öffnen kann man den Oszillographen benutzen, der vor der Braunschen Röhre den großen Vorzug hat, daß man die Kurven mühelos einem großen Zuschauerkreise vorführen kann. Allerdings gibt letztere, da die Elektronen praktisch keine Trägheit haben, die Vorgänge absolut genau an, was beim Oszillographen nur der Fall ist, wenn er richtig gedämpft ist und wenn ferner die Dauer seiner Eigenschwingung hinreichend klein (etwa der 50. Teil) ist gegenüber der Dauer der zu untersuchenden Vorgänge. Mit dem in der oben angeführten Abhandlung (vgl. Fußnote 2, vorige Seite) beschriebenen Oszillographen, den man unschwer selber herstellen und auf jedem Elektromagneten anbringen kann, und dem ebenda erwähnten Pendelspiegel sind die jetzt folgenden Versuche ausgeführt. Einen wesentlich helleren Lichtfleck erzielt man durch die in Fig. 4 dargestellte Anordnung: In K befindet sich der positive Krater der Universal-

¹⁾ Z. B. v. Hartmann u. Braun, Frankfurt a. M.

²⁾ Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik. 4. Aufl., 1901, S. 479.

bogenlampe; ihr Kondensator *A* konzentriert das Licht auf die $\frac{1}{2}$ bis 1 mm weite Lochblende *B*; von dieser entwirft die Linse *C* (etwa 10 Dioptrien) das Bild *D*. Bevor dieses zustande kommt, bringt man den Spiegel des Oszillographen in den Strahlengang, so daß sämtliche Strahlen reflektiert werden und das Bild von *B* in *E* entsteht. Von diesem entwirft das Objektiv (nicht zu große Brennweite und zu kleine Öffnung!), nachdem das Licht vom Pendelspiegel reflektiert ist, auf dem Schirm oder der photographischen Platte den Lichtfleck. (Liegt *S* auf *D*, dann bildet *O* den Spiegel

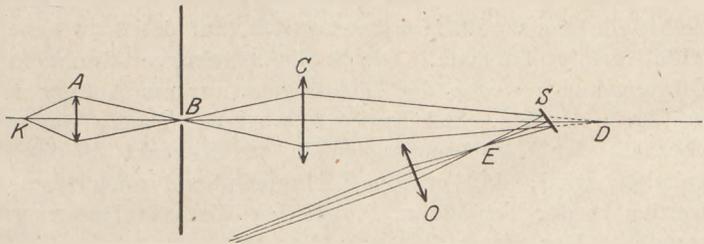


Fig. 4.

ab und bei seiner Drehung behält der Lichtfleck seine Lage.) Sorgt man dafür, daß möglichst viel Licht durch *O* geht, dann sind die Kurven recht lichtstark. Als Spiegel, der die zeitlich aufeinander folgenden Vorgänge räumlich nebeneinander liegend darstellt, dient besser als ein Würfel- ein um eine vertikale Achse hin- und herpendelnder Spiegel (über seine Vorzüge s. die angeführte Abh. S. 277). Er wird durch eine mittels Elektromotors in Drehung versetzte Eisenscheibe *E* (Fig. 5) bewegt; ein an derselben angebrachter Nocken *D* und Schleifkontakte schließen und öffnen den Strom im Augenblick, wo der Spiegel seine größte Geschwindigkeit hat. Fig. 5 zeigt die Schaltung. Der positive Pol *A* der Starkstromleitung ist durch Schleifkontakt mit der Achse *E* der Kreisscheibe *C* verbunden, der negative über Oszillographenschleife *F* und Bifilarspule *L* mit dem Schleifkontakt *H*. Kommt bei der Drehung der Scheibe der etwa 2 mm breite Nocken *D* mit *H* in Berührung, dann wird der Strom geschlossen, um nach kurzer Zeit, wenn nämlich *D* sich an *H* vorbeibewegt hat, wieder geöffnet zu werden. Man sorgt durch Verschieben von Kontakt *H* auf einem halbkreisförmigen Bügel dafür, daß dies in dem Augenblick geschieht, wo der Spiegel seine größte Geschwindigkeit hat, sich also nahezu gleichförmig bewegt, und daß die Kurve auf dem Schirm liegt.

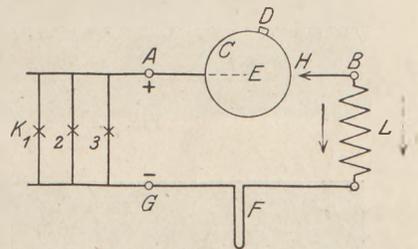


Fig. 5.

Die im folgenden wiedergegebenen Oszillogramme zeigen gleichzeitig die Schwingung einer Stimmgabel, die in der Sekunde 128 ganze Schwingungen macht, so daß man die Zeitdauer der Vorgänge aus den Aufnahmen ablesen kann. Bei allen Kurven betrug die Stromstärke i_0 in *L* 2,2 A; daß die Ordinaten verschieden sind, erklärt sich durch verschieden starke Erregung des Magnetfeldes des Oszillographen. Bei Fig. 6 lag die Bifilarspule in Gegenschaltung ($L = 0$) in der Leitung; der Strom steigt links senkrecht sehr schnell zur vollen Stärke an. Durch den plötzlichen heftigen Stoß führt die Schleife ihre Eigenschwingungen aus. Dann tritt die Unterbrechung ein, der Lichtbogen entsteht, durch ihn fließt der Strom mit abnehmender Stärke eine kurze Zeit weiter, um dann plötzlich nach Abreißen des Bogens auf 0 zu sinken.

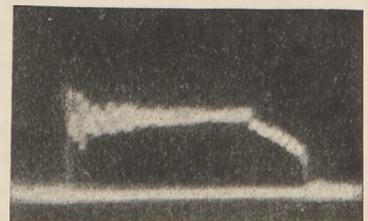


Fig. 6.

Nun wird die Spule in Gleichschaltung gebracht ($L = 0,04 H$, Fig. 7). Jetzt steigt i langsamer an; i_0 ist in etwa $1/50$ Sek. erreicht, der Stromabfall erfolgt, da dem Lichtbogen durch den Extrastrom Energie zugeführt wird, langsamer, nach Erlöschen des Bogens plötzlich.

Bringt man jetzt den Eisenkern in die Spule (Fig. 8), dann wird dadurch ihr Selbstinduktionskoeffizient beträchtlich (auf das 3–4fache, s. u.) erhöht. Anstieg und Abfall erfolgt langsam. Die Schließungskurve stimmt in ihrem ganzen Verlauf, die Öffnungskurve wegen des Lichtbogens nur am Anfang mit den theoretischen Kurven in Fig. 1 überein. Bei Kurve 9 wird der Funke dadurch früher ausgeblasen, daß oberhalb der Unterbrechungsstelle am Kontakt H der Pol eines Stabmagneten so gehalten wird, daß er das Lichtbogenband nach oben treibt. (Funkenlöschspulen werden in der Technik z. B. bei den Walzenanlassern größerer Elektromotoren verwendet.) Der Strom fällt schneller ab.

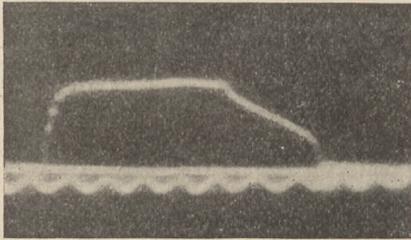


Fig. 7.

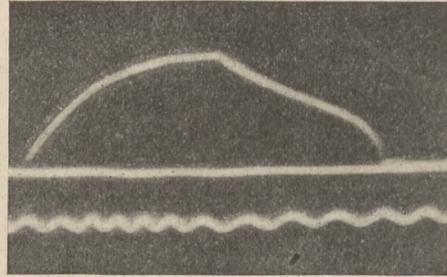


Fig. 8.

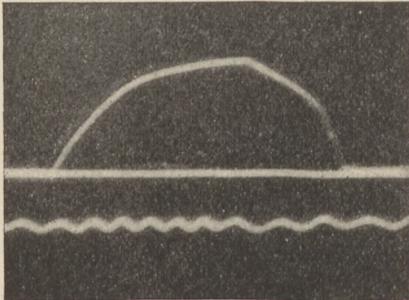


Fig. 9.

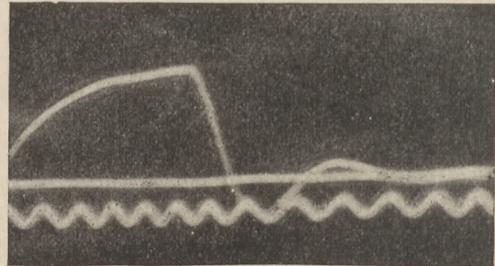


Fig. 10.

Fig. 10 zeigt die Wirkung eines Papierkondensators von etwa $90 \mu F$, der parallel zur Unterbrechungsstelle bei A und B angelegt wird. Der Öffnungslichtbogen wird dadurch stark verkleinert und der Stromabfall erfolgt sehr schnell. Der in der Spule entstehende Extrastrom (gestrichelter Pfeil, Fig. 5) lädt die mit B verbundene Belegung negativ, während die positive Elektrizität durch die Oszillographenschleife F und die sämtlichen AG parallel geschalteten Leitungen $K(1, 2, 3$ usw.), also durch die Bogenlampe, die Magnete des Oszillographen, die Lampen der Zimmerbeleuchtung usw., auf die mit A verbundene zweite Belegung fließt. Kondensator C Bifilarispeule L und die genannten Leitungen stellen einen Schwingungskreis dar. Das Oszillogramm zeigt, wie er ausschwingt, und zwar wegen der zahlreichen Eisen enthaltenden Spulen (L , Magnetspulen) stark gedämpft. Durch Messung ergibt sich für die Schwingungsdauer $0,03$ Sek., während man aus der Kirchhoffschen Formel $T = 2\pi \sqrt{L \cdot C}$, wenn man den aus dem Oszillogramm einer Kondensatorschwingung

ermittelten Wert $0,25 H$ für L einsetzt, $0,028$ Sek. erhält¹⁾. Der Strom fällt in $0,006$ Sek. von i_0 auf 0 ab, das ist etwa ein Viertel der Schwingungsdauer. Wie auch im Oszillogramm der erste abfallende Teil, der im unter der Achse liegenden Teil seine organische Fortsetzung findet, setzen sofort beim Öffnen die Kondensator-schwingungen ein; ihre Schwingungsdauer bestimmt die Zeit, in der die Stromstärke auf 0 sinkt. Um eine möglichst günstige Wirkung beim Funken-induktor zu erhalten, wird man dafür sorgen, daß C und L möglichst klein sind, damit T auch klein und die Induktionswirkung beim Öffnen groß wird.

Fig. 11 zeigt die Kurve, die man erhält, wenn man $40 \mu F$ parallel zur Unterbrechungsstelle legt. Entsprechend der kürzeren Eigenschwingungsdauer des Kondensator-kreises erfolgt der Stromabfall in noch kürzerer Zeit, etwa $0,004$ Sek.

Bei den Versuchen mit den Kondensatoren muß man sehr vorsichtig sein, da sonst wegen der auftretenden hohen Spannung die Kondensatoren, für die 330 Volt als Höchstbelastung angegeben wird, leicht durchschlagen werden. Man muß die

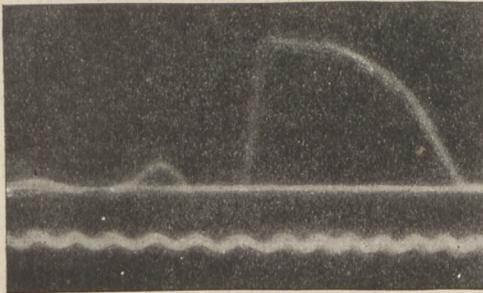


Fig. 11.

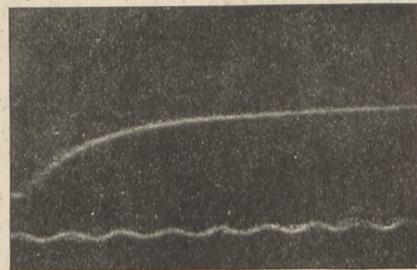


Fig. 12.

Stromstärke i_0 möglichst niedrig halten. Um hinreichend große Ordinaten zu erhalten, erregt man das Feld des Oszillographenmagneten kräftiger. Wird ein Kondensator, wie es dem Verfasser beim Ausprobieren der Versuche mehrfach passiert ist, beschädigt, dann öffnet man den Holzkasten, entfernt das Paraffin und legt an die Klemmen Starkstromspannung. Dann geht der Strom an der Durchschlagsstelle über, bringt das Paraffin zum Schmelzen und Verdampfen und man sieht, wo der Fehler sitzt. Man nimmt die betreffende Rolle heraus und wickelt sie so weit ab, bis die schadhafte Stelle entfernt ist. Hat man Glück, dann schließt sich die Durchbruchsstelle in der Isolation durch das schmelzende Paraffin von selber.

Die Tabelle gibt Auskunft über die Zeit, die bei den verschiedenen Versuchen vergeht, bis die Stromstärke von i_0 auf 0 abfällt.

Spule in	L	
	0	12 Tausendstel Sek.
Gegenschaltung	$0,04 H$	20
„ „ Gleichschaltung	$0,16 H$	19
„ mit Eisen	$\sim 0,16 H$	16
„ „ Funkenlöschung	$0,16 H$	6
„ $90 \mu F$ parallel zu U	$0,16 H$	4
„ $40 \mu F$ „ „	$0,16 H$	4

Fig. 12 zeigt bei schnellerer Bewegung des Spiegels den Schließungsstrom der Spule mit Kern, $i = 2,0 A$. Berechnet man aus ihr den Selbstinduktionskoeffizient L

¹⁾ Daß die Übereinstimmung so gut ist, ist überraschend, da man nicht weiß, wie groß die Kapazität C in der Formel anzunehmen ist. Sie ist keineswegs gleich $90 \mu F$, da der Schwingungskreis durch die Leitungen K (1, 2, 3 usw.) geschlossen wird, so daß das ganze Leitungsnetz mit ihm in Verbindung steht. Wie groß seine Kapazität ist, darüber läßt sich nichts sagen. Eine ähnliche Unsicherheit besteht wegen des Wertes von L , der in die Formel einzusetzen ist.

mit Hilfe von Gleichung (5), dann erhält man 0,11, 0,11 und 0,12 H , wenn man die Länge der Ordinate nach $\frac{1}{128}$, $\frac{2}{128}$ und $\frac{3}{128}$ Sek. nach Stromschluß mißt. Die Werte wachsen, da mit zunehmender Stromstärke die Stärke des Feldes der Spule und damit die Permeabilität des Eisens wächst. Ein zweites (hier nicht wiedergegebenes Oszillogramm), das mit etwas größerer Stromstärke i_0 aufgenommen wurde, ergab für L die

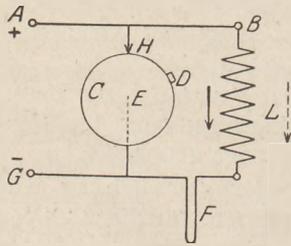


Fig. 13.

Werte 0,14, 0,15 und 0,15 H . Da L wegen des Eisenkerns von i abhängt, sind die Voraussetzungen der oben gegebenen Theorie nicht vollkommen erfüllt, doch ist die Übereinstimmung zwischen theoretischer und beobachteter Kurve beim Schließen befriedigend. Daß der Öffnungsstrom einen von dem errechneten wesentlich abweichenden Abfall zeigt, liegt daran, daß hier im Versuch die Voraussetzungen der Theorie nicht erfüllt sind, insofern als durch das Öffnen des Kreises die Spannung nicht 0 wird, sondern auf den vollen Wert der Netzspannung 110 Volt steigt, allerdings erst dann, wenn der Licht-

bogen erloschen ist. Schaltet man, wie Fig. 13 zeigt, den rotierenden Unterbrecher parallel zu L , dann ist, so lange der Nocken D (man nimmt einen solchen von etwas größerer Breite) mit Kontakt H in Berührung ist, die Spannung v gleich 0. Die Schleife F zeichnet den Abfall der Stromstärke in L auf, und zwar in guter Übereinstimmung mit der von der Theorie geforderten Kurve. (Eine photographische Aufnahme wurde leider nicht gemacht).

Daß auf allen Oszillogrammen die Maxima der Zeitkurve, solange der Strom geschlossen ist, dichter zusammenliegen als vor- und nachher, liegt daran, daß die Scheibe, wenn der Nocken D auf dem Kontakt H schleift, in ihrer Bewegung gehemmt wird. (Die Tourenzahl des Motors, die Scheibe und Spiegel in Bewegung setzte, wurde nämlich durch Vorschalten von Widerstand, wodurch seine Zugkraft vermindert wurde, geregelt). Um festzustellen, ob die Trägheit des Spiegels (seine Masse ist ~ 40 mg, sein Trägheitsmoment $\sim \frac{1}{1000} g \cdot \text{cm}^2$) die Kurven verzerrt, wurden die gleichen Vorgänge an der Braunschen Röhre im Pendelspiegel beobachtet, indem an Stelle der Schleife ein kleiner Elektromagnet trat, der neben der Röhre stand und die Kathodenstrahlen ablenkte. Ein Unterschied war nicht festzustellen. Man kann mit dem Oszillographen noch gut Kondensatorschwingungen von der Frequenz 500 pro Sek. beobachten.

Im weiteren Verlauf des Unterrichts findet man ja mehrfach Gelegenheit auf Selbstinduktion und Extraströme hinzuweisen, so beim Wehnelt-Unterbrecher, wo der Öffnungsstrom der Primärspule die an der Platinspitze gebildete Sauerstoffblase zum Glühen und damit zum Aufsteigen bringt, so daß der Strom wieder geschlossen wird. Die Energie des Extrastromes setzt sich also hier in Wärme um; der Kondensator ist überflüssig. Ferner bei der Dynamomaschine und beim Wechselstrom (Unterschied zwischen Ohm'schem Widerstand, der energieverzehrend ist und Induktanz, die die Stromvorgänge verzögert). Die durch Selbstinduktion bedingte Trägheit spielt eine Rolle, wenn es sich darum handelt, einen Apparat gegen Spannungsschwankungen des Netzes zu sichern (z. B. Quecksilberdampf (Uviol)lampe, Hinweis auf Pufferbatterie, Schwungrad). Die elektrischen Schwingungen machen, wenn man die hier gegebene energetische Einführung der Selbstinduktion wählt, dem Schüler weit geringere Mühe, da nur so eine einwandfreie Durchführung des Vergleichs mit mechanischen Schwingungen möglich ist.

Zur Erklärung des Kreiselkompasses.

Von Paul Hanck in Pasewalk.

Bei der Behandlung des Kreisels wird man wohl im allgemeinen auf eine Besprechung des Kreiselkompasses verzichten. Die gebräuchlichen Schullehrbücher der Physik veranlassen mich zu dieser Vermutung, denn nur in einem einzigen fand ich eine eingehendere Erörterung. Nun haben aber die Schüler vielfach in Zeitschriften oder Heften technischen Inhalts vom Kreiselkompaß gelesen, sie haben auch wohl während des Krieges hier und dort von ihm erzählen hören und bringen daher häufig von selbst die Sprache auf diese wichtige Anwendung des Kreisels. Da wird ihnen dann der Lehrer gerne eine Erklärung geben wollen, zumal er bei der Behandlung von Fragen, die durch die Schüler selbst angeregt sind, immer auf eine interessierte Zuhörerschaft zu rechnen hat. Ohne Versuche wird eine solche Erklärung aber immer mangelhaft bleiben, denn für die Schüler ist diese eigenartige Verwendung, die auf einer der merkwürdigsten physikalischen Tatsachen beruht, schwer faßbar. Ich will daher zeigen, wie man ohne große Hilfsmittel mit Apparaten, die für gewöhnlich vorhanden sein werden, den Schülern die dem Kreiselkompaß zugrunde liegenden Erscheinungen zum klaren Verständnis bringen kann.

Versuch 1. Man setzt einen einfachen Kreisel in Rotation und beobachtet an ihm eine allbekannte Erscheinung des täglichen Lebens, die unter dem Einfluß der Erdschwere entstehende Präzessionsbewegung. Erklärung durch den POGENDORFSCHEN Beweis.

Versuch 2. Durch einen weiteren Versuch überzeugt man sich davon, daß tatsächlich die Anziehungskraft der Erde die Präzessionsbewegung hervorruft. Man hängt den Kreisel mit horizontaler Achse in eine Bindfadenschlinge, so daß er sich im Gleichgewicht befindet. (Vergleiche ROSENBERG, Experimentierbuch für den Unterricht in der Naturlehre, II. Bd., S. 44.) Die Achse behält dann ihre Lage unverändert bei, auch wenn der Kreisel rotiert, sie bewegt sich dagegen in horizontaler Ebene, führt also die Präzession aus, wenn man auf eine Seite ein Übergewicht legt. Die Bewegung findet in entgegengesetzter Richtung statt, wenn man das Übergewicht auf die andere Seite der Achse legt.

Versuch 3. Man zeigt an dem BOHNENBERGERSCHEN Apparat, daß der um eine freie Achse rotierende Kreisel seine Lage im Raume infolge des Beharrungsgesetzes nicht verändert, selbst wenn man dem Fuße beliebige Drehungen erteilt, weil auf ihn infolge der allseitigen Beweglichkeit in der CARDANISCHEN Aufhängung keine äußere Kraft einwirkt.

Versuch 4. Durch ein kleines Übergewicht, das man an dem inneren Ring des Apparates befestigt, wird auch hier die Präzessionsbewegung hervorgerufen. Durch dieses Übergewicht würde der Ring und damit auch der Kreisel im Ruhezustande um eine horizontale Achse gedreht werden. Diese Drehung ist es also, die dem rotierenden Kreisel die Präzessionsbewegung erteilt, denn nach Versuch 3 würde er ja, wenn er durch keine Kraft beeinflusst wird, seine Lage ständig beibehalten. Dieselbe Bewegung muß natürlich eintreten, wenn man den Kreisel auf anderem Wege durch irgend eine Kraft um eine horizontale Achse dreht, etwa dadurch, daß man mit einem Bleistift leicht gegen den inneren Ring drückt. Wir kommen also zu dem wichtigen Schlusse, daß der rotierende Kreisel eine Drehung um eine horizontale Achse durch eine Drehung um eine vertikale Achse beantwortet.

Versuch 5. Man dreht den mittleren Ring des Apparates. Der Kreisel erfährt hierdurch eine Drehung um eine vertikale Achse, die ihn veranlaßt, sich um eine horizontale Achse zu drehen. Infolgedessen richtet sich der Kreisel auf, er wird gezwungen, seine Achse vertikal einzustellen.

Versuch 6. Dasselbe wird erreicht, wenn man den mittleren Ring durch die obere Schraube, um deren Spitze er drehbar ist, festklemmt und dem Apparat auf dem PRANDTL'Schen Drehschemel eine Drehung um eine vertikale Achse erteilt. Der Kreisel stellt seine Achse schnell parallel zur Drehungsachse des Schemels, also vertikal ein, weil er jetzt nicht mehr allseitig beweglich ist. Dreht man den Schemel in entgegengesetzter Richtung, so kehrt auch der Kreisel seine Achse um.

Wer den Drehschemel nicht besitzt, kann diesen und die folgenden Versuche auch auf einem einfachen Tischstativ ausführen, besser aber wird man in diesem Falle die Schwungmaschine verwenden, zu der man sich einen passenden Einsatz leicht selbst verfertigen kann. Bei der Herstellung eines solchen kann man den Angaben von MERKELBACH in dieser Zeitschrift (30. Jahrg., S. 126) folgen. Ich selbst verwende die dort zur Verarbeitung vorgeschlagenen hohlen Gardinenstangen schon seit längerer Zeit zur Anfertigung von Nebenteilen zu Apparaten und habe mich von ihrer Brauchbarkeit überzeugt. Für den vorliegenden Zweck will mir allerdings eine andere Verbindung von Achse und Teller zweckmäßiger erscheinen, da sie einen festeren Halt gewährt. Man sägt von einer Garnrolle den einen Rand ab und schraubt sie mit dem anderen auf einen kreisförmigen Holzteller von entsprechender Größe. In die Durchbohrung der Rolle klopft man ein etwa 10 cm langes Stück einer Gardinenstange. Wenn die Dimensionen passend gewählt sind, sitzt dieses infolge der Federkraft außerordentlich fest, so daß es mit der Hand kaum wieder aus der Rolle herausgezogen werden kann. Außerdem steht es genau senkrecht zur Holzplatte, so daß sich ein Geraderichten erübrigt.

Versuch 7. In Fig. 1 möge A einen Punkt der Erdoberfläche mit der geographischen Breite φ vorstellen, der durch diesen Punkt hindurchgehende Kreis den Ortsmeridian, AB den Horizont, QQ_1 den Äquator und PP_1 die Erdachse. Durch die Pfeile ist dann die Nord-Süd-Richtung bestimmt. Setzt man nun eine schiefe Ebene auf den Drehschemel, so kann man diese, wie ein Vergleich mit der Fig. 1 ergibt, als Horizont eines Punktes, die Platte des Drehschemels als Äquator und die Drehachse als Erdachse auffassen. Desgleichen ist durch die schiefe Ebene und die Platte die Lage des Meridians, die Nord-Süd-Richtung und die geographische Breite gegeben. Auf diese schiefe Ebene setzt man den BOHNENBERGERSchen Kreisel so, daß der äußere Ring

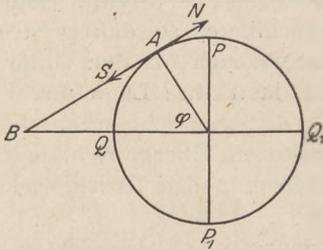


Fig. 1.

in die Ebene des vorher festgelegten Meridians fällt. Den mittleren Ring klemmt man wieder fest, und zwar in der Weise, daß seine Ebene senkrecht zu der Ebene des äußeren Ringes und daher zum Meridian steht. Der Kreisel kann sich dann, da der innere Ring frei ist, um eine horizontale Achse bewegen.

Gibt man nun dem freien Ring eine beliebige Lage, am besten vielleicht die durch Fig. 2 angegebene und dreht den Schemel, so erfolgt wie nach Versuch 6 zu erwarten war, eine Drehung des rotierenden Kreisels um eine horizontale Achse und die Kreiselachse stellt sich wieder parallel zur Drehungsachse ein, d. h. sie nimmt die Richtung der Erdachse an (Fig. 3). Das interessante Ergebnis unserer Betrachtungen ist also, daß ein im Meridian um eine horizontale Achse beweglicher Kreisel die Richtung der Erdachse annimmt oder anders ausgedrückt, auf den Polarstern zeigt, wenn er in Rotation versetzt wird. Vergleich: Eine um eine horizontale Achse im magnetischen Meridian drehbare Magnetnadel (Inklinationsnadel) zeigt nach dem magnetischen Pol.

Versuch 8. Klemmt man den mittleren Ring in einer andern Lage z. B. in der durch Fig. 4 angegebenen fest, so daß sich der innere Ring nur in einer zum Meridian senkrechten Ebene um eine horizontale Achse bewegen kann, so ist es dem Kreisel nicht möglich, sich in Richtung der Erdachse einzustellen. Bei einer Drehung

des Schemels nimmt er die in Fig. 5 dargestellte Lage an, d. h. er stellt sich vertikal ein. In dieser Lage kommt seine Achse nämlich der Richtung der Erdachse möglichst nahe, sie bildet mit ihr, wie sich geometrisch beweisen läßt, den kleinsten Winkel. Vergleich: Eine um eine horizontale Achse in einer zum magnetischen Meridian senkrecht stehenden Ebene bewegliche Magnetrudel steht vertikal.

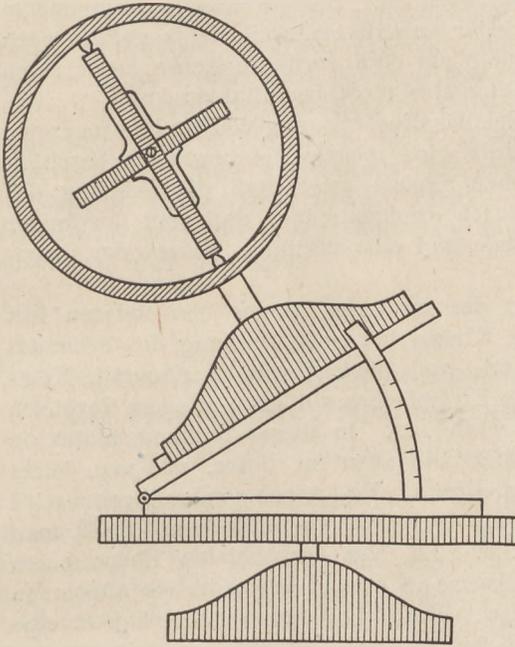


Fig. 2.

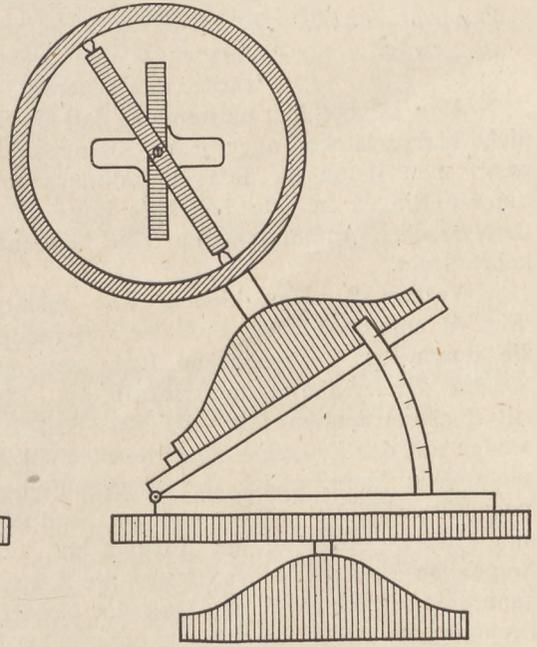


Fig. 3.

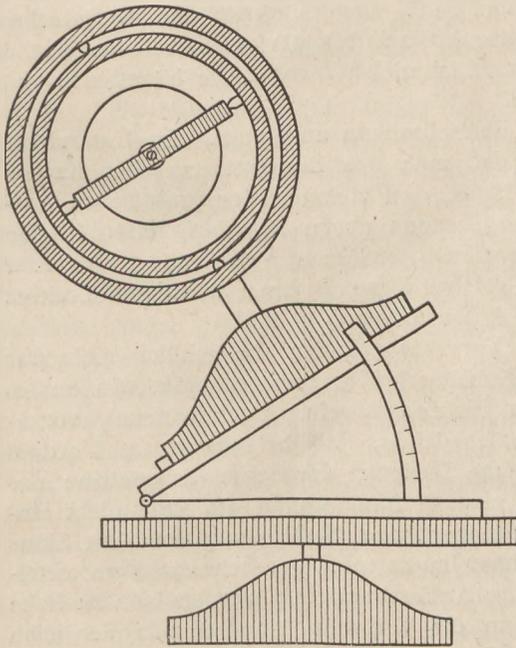


Fig. 4.

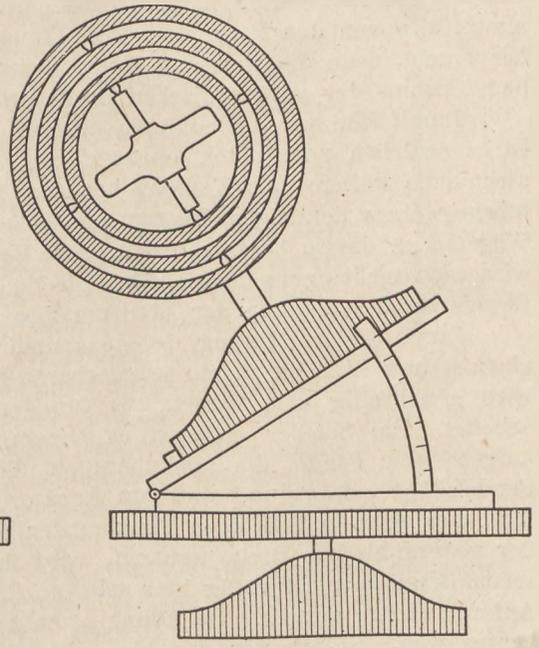


Fig. 5.

Erklärung: Auf die Magnetnadel wirkt von den beiden Komponenten, in die die Gesamtintensität des Erdmagnetismus zerlegt werden kann, nur die vertikale, weil die horizontale in die Richtung der Drehungsachse der Nadel fällt. Ebenso kann von der horizontalen und vertikalen Komponente H und V (Fig. 6), in die die Drehbewegung D um die Achse des Schemels zerlegbar ist, nur die vertikale einen Einfluß ausüben. Die horizontale Komponente ist in diesem Falle wieder unwirksam, weil sie ja gerade nach Versuch 4 eine Drehung um eine vertikale Achse hervorrufen würde, den inneren Ring also nicht beeinflussen kann.

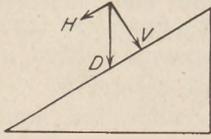


Fig. 6.

Man könnte hier einwenden, daß die Schüler die Zerlegung von Drehbewegungen nicht klar erfassen, aber jedes Mißverständnis wird meiner Meinung nach beseitigt, wenn man ihnen an dem BOHNENBERGERschen Kreisel zeigt, daß die Drehung des inneren Ringes in jede beliebige Lage dadurch erfolgen kann, daß man ihn in der CARDANISCHEN Aufhängung um eine horizontale und eine vertikale Achse oder umgekehrt dreht.

Versuch 9. Man klemmt nun anstatt des mittleren Ringes den inneren fest (Fig. 4) und beobachtet, daß der rotierende Kreisel bei einer Drehung des Schemels die durch Fig. 2 angegebene Lage einnimmt, weil jetzt nur die horizontale Komponente der Drehbewegung wirksam ist. Die Kreiselachse gibt also, wie ein Vergleich mit Fig. 1 erkennen läßt, die Nord-Süd-Richtung an. In dieser Stellung bildet sie wieder mit der Erdachse den kleinsten Winkel, und zwar ist dieser, wie man leicht nachweisen kann, gleich der geographischen Breite. Bei zunehmender Breite wird auch dieser Winkel größer und am Nordpol ist er gleich einem Rechten. Stellt man nun aber den Kreisel am Nordpol auf, d. h. gibt man der schiefen Ebene einen Neigungswinkel von 0° , so bildet die Kreiselachse in allen Lagen, die sie annehmen kann, einen rechten Winkel mit der Erdachse. Die Folge davon ist, daß jetzt eine Drehung des Schemels auf den rotierenden Kreisel keinen Einfluß auszuüben vermag, wovon man sich durch einen Versuch überzeugen kann. Anders liegen die Verhältnisse am Äquator. Der genannte Winkel ist in diesem Falle gleich 0° . Die Kreiselachse muß daher der Erdachse parallel sein. Die Richtung der Kreiselachse nimmt also von den Polen nach dem Äquator hin zu, was übrigens auch aus Fig. 6 hervorgeht, denn die wirksame Komponente H ist gleich $D \cos \varphi$, sie hängt also von dem Cosinus der geographischen Breite ab.

Damit sind wir am Schlusse unserer Betrachtungen angelangt. Im Unterrichte ist es natürlich noch nötig, hinzuzufügen, daß man den BOHNENBERGERschen Kreisel nicht ohne weiteres als Kompaß benutzen kann, daß vielmehr der praktischen Ausführung eines derartigen Instruments anfangs mannigfache Schwierigkeiten in den Weg treten, die zu beseitigen das große Verdienst der Firma Anschütz ist. Ferner wird man nicht unerwähnt lassen, daß ein solcher Kompaß einen wichtigen direkten Beweis für die Rotation der Erde um ihre Achse liefert.

Durch die Ausführung der genannten Versuche erhalten die Schüler nicht nur einen klaren Einblick in ein wunderbares Kunstwerk der Feinmechanik, sondern es wird gleichzeitig dem Verständnis für den Foucaultschen Pendelversuch vorgearbeitet. Die Schüler erfassen es bekanntlich leicht, daß bei einem am Nordpol aufgehängten Pendel die scheinbare stündliche Drehung der Schwingungsebene des Pendels 15° beträgt und daß am Äquator eine Drehung gegen die Erde nicht eintritt, daß aber an beliebigen Punkten der Erdoberfläche die Drehung von dem Sinus der geographischen Breite abhängt, wird ihnen meist trotz des bekannten geometrischen Beweises nicht völlig klar sein, an ihre Auffassungskraft werden hier zu hohe Anforderungen gestellt. Da könnte man nun die Versuche 8 und 9 zum Vergleich heranziehen. So wie wir uns hier die Drehbewegung um die Achse des Schemels also um die Erdachse in eine der schiefen Ebene parallele Komponente und in eine

zu ihr senkrecht stehende, d. h. in eine horizontale und vertikale Komponente zerlegt dachten, so können wir auch für den Foucaultschen Pendelversuch bei einer beliebigen geographischen Breite die Drehung der Erde um ihre Achse in zwei Komponenten, eine horizontale und eine vertikale zerlegen. Für die scheinbare Drehung der Schwingungsebene des Pendels ist nur die um eine vertikale Achse drehende Komponente V (Fig. 7) von Einfluß (Vergleich mit einem am Nordpol aufgehängten Pendel) und diese ist gleich $D \sin \varphi$. Die andere Komponente H ist unwirksam, da eine Bewegung um eine horizontale Achse eine relative Drehung der Schwingungsebene gegen die Erde nicht hervorrufen kann. (Vergleich mit einem am Äquator aufgehängten Pendel). Der übliche geometrische Beweis dürfte nach diesen Erläuterungen ganz überflüssig sein, zum Verständnis des Versuches würde er jedenfalls nicht mehr beitragen.

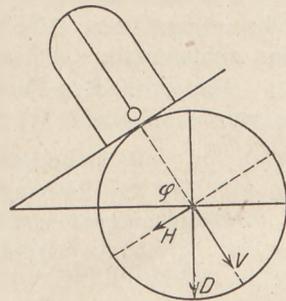


Fig. 7.

Eine einfache Form des Pronyschen Zaumes und ihre Anwendung zur Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents.

Von Dr. Ad. Lindemann in Hamburg.

Die Bestimmung der Leistung eines Motors wird im Unterricht seltener ausgeführt, als es mit Rücksicht auf die dabei mögliche Klärung wichtiger Begriffe wünschenswert ist. Es liegt dies zum Teil daran, daß die käuflichen Bremsvorrichtungen in der Regel angepaßt sind an Motoren mit Riemenscheiben, während die meist in den Sammlungen vorhandenen Kleinmotoren mit Schnurscheiben ausgestattet sind. Für solche Motoren erziele ich seit längerer Zeit befriedigende Ergebnisse mit folgender Anordnung:

An einem Stativ wird eine Federwage mit Einteilung in $\frac{1}{10}$ kg aufgehängt und an dieser ein Bindfaden befestigt, der einmal um die Schnurscheibe herumgeschlungen wird und unten durch ein angehängtes Gewicht belastet (Fig. 1). Durch Verwendung verschiedener Gewichte läßt sich die Bremsung und damit die der Maschine entnommene Leistung in weiten Grenzen verändern. Es empfiehlt sich, den Bindfaden etwas zu ölen, da dann die Reibung gleichmäßiger ist. Die Angabe der Federwage, vermindert um das angehängte Gewicht, gibt die Größe des Reibungswiderstandes, die man nur mit dem Umfang der Schnurscheibe und der Zahl der Umdrehungen zu multiplizieren braucht, um die geleistete Arbeit zu erhalten. Das Fehlen von Hebelübertragungen macht bei der angegebenen Anordnung die Berechnung der Reibungsarbeit besonders übersichtlich. Am einfachsten stellt man sich den Motor stillstehend vor und die Arbeit dadurch geleistet, daß man die Schnur an dem an der Federwage hängenden Ende faßt und reibend über die Schnurscheibe hinwegzieht. Man müßte dann mit einer Kraft ziehen, welche gleich dem Reibungswiderstande ist, und einen Weg zurücklegen, der gleich dem Umfang des Rades mal Zahl der Umdrehungen ist, um dieselbe Arbeit zu erhalten, die bei wirklicher Drehung des Motors geleistet worden. Dividiert man die erhaltene Zahl von Meterkilogrammen durch die Zahl der Sekunden, die für die Arbeit erforderlich war, so erhält man die Leistung der Maschine in Meterkilogramm pro Sekunde, durch weitere Division durch 75 in Pferdestärken (P.S.).

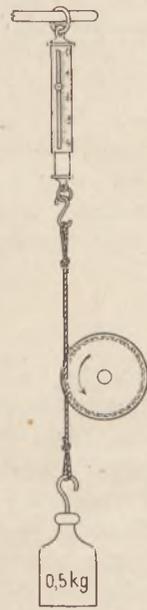


Fig. 1.

Zur Ermittlung der Zahl der Umdrehungen benutze ich einen kleinen Tourenzähler zum Andrücken an die Motorachse mit Glockensignal bei je 100 Umdrehungen. Es ist dies das billigste System, zudem verdient es wegen des für den Klassenunterricht angenehmen Glockensignals den Vorzug vor Tourenzählern, welche lediglich eine zahlenmäßige Ablesung der erfolgten Zahl von Umdrehungen gestatten.

Die erreichten Resultate sind in der Regel von beachtenswerter Genauigkeit. So wurde an einem Gleichstrommotor gemessen:

Belastung der Bremssehnur: 1 kg. Ablesung an der Federwage im Mittel 2,88 kg, Reibung also 1,88 kg. Umfang der Schnurscheibe 12,5 cm. 1000 Umdrehungen erforderten 22,8 Sekunden. Daraus folgt:

$$\text{Leistung} = \frac{1,88 \cdot 0,125 \cdot 1000}{22,8} = 10,31 \text{ mkg pro Sek.} = \text{rund } \frac{1}{7} \text{ P.S.}$$

Fast dasselbe folgt aus dem Aufwand an Strom: Es wurden aufgewandt 1,65 Amp. bei 109 Volt = 180 Watt, von denen 4,9 Watt in der Maschine durch Joulesche Wärme verbraucht wurden (berechnet als $i^2 w$, wo w der Gesamtwiderstand der

ruhenden Maschine, hier zu 1,8 Ω bestimmt). Bei Leerlauf mit annähernd derselben Tourenzahl verbrauchte die Maschine $0,7 \times 107 = 75$ Watt. Die Joulesche Wärme betrug hierbei 0,9 Watt, so daß für die Reibung in der Maschine 74,1 Watt verbraucht werden. Für die an der Bremsvorrichtung angezeigte Leistung verbleiben mithin: $180 - 4,9 - 74,1 = 101$ Watt. Da nun 1 Kilowatt rund gleich 102 mkg pro Sek., so entsprechen diese 101 Watt einer Leistung von rund 10,3 mkg pro Sek.

Die angegebene Bremsvorrichtung benutze ich auch als Teil einer Versuchsanordnung zur Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents. An einer Schwungmaschine, am besten einer solchen mit Elektromotor, wird eine zylindrische, an einem Ende offene Messingbüchse

befestigt, und zwar der Wärmeisolation wegen an einem Holzstiel (Fig. 2). Die Büchse wird mit Wasser gefüllt, möglichst ohne daß Luft darin verbleibt, und mit einem Kork verschlossen, durch den ein in $\frac{1}{5}^\circ$ geteiltes Thermometer eingeführt wird. Um die Büchse kommt der Bindfaden der Bremsvorrichtung. Der Tourenzähler wird durch Teile eines Bunsenschen Stativs fest mit der Achse der Maschine verbunden. Am einfachsten geschieht das, indem man die Schraubmutter zur Aufnahme eines Hakens, die sich meist an einem Ende der Drehungsachse der Schwungmaschine befindet, fein durchbohrt und einen Draht hindurchzieht, über den dann das mit Kreuzschlitz versehene Ansatzstück paßt, das gewöhnlich mit dem Tourenzähler geliefert wird. Die Anpassung von Tourenzählern anderer Systeme dürfte ebenfalls keine Schwierigkeiten bieten.

Die Ausführung der Messung vollzieht sich nun so, daß man Tourenzähler und Thermometer sowie die Zimmertemperatur abliest, sodann die Schwungmaschine in Bewegung setzt und die Angabe der Federwage abliest. Aus den beiden Thermo-

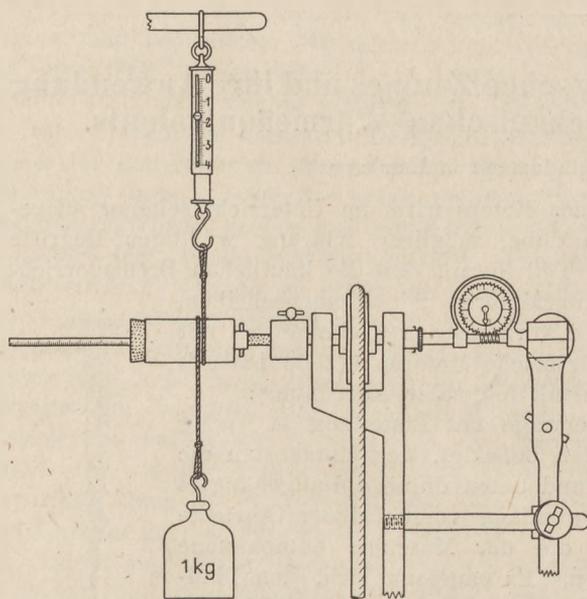


Fig. 2.

meterangaben folgt, bei welcher Temperatur der Versuch unterbrochen werden muß, wenn man so viel oberhalb der Zimmertemperatur aufhören will, als man unterhalb derselben angefangen. Das Fortschreiten der Erwärmung kann man während der Rotation beobachten, wenn man den Zylinder nicht mehr als etwa 100 Umdrehungen in der Minute machen läßt. Bei je 100 vollen Umdrehungen liest man erneut die Federwage ab, um nachher das Mittel aus allen Ablesungen nehmen zu können, die in der Regel eine Änderung von etwa 200 g im Laufe von 500 Umdrehungen zeigen.

Die erreichten Resultate schwanken in der Regel zwischen 400 und 450 mkg, was zumeist darauf zurückzuführen ist, daß die Angaben der Federwage nicht genau genug sind. Diesem Übelstand könnte durch eine Anordnung, wie sie CALLENDAR¹⁾ verwendet, abgeholfen werden, doch würde darunter die Übersichtlichkeit leiden, so daß ich es für den Schulunterricht vorziehe, genauere Werte durch Anstellen mehrerer Versuche zu erhalten, aus deren Ergebnissen das Mittel genommen wird. Die Metallbüchse ist für einen weiteren Versuch gebrauchsfertig, wenn man sie nach Abschluß des vorhergehenden einige Minuten unter der Wasserleitung abkühlt, so daß das Thermometer wieder 1—2° unter Zimmertemperatur zeigt.

Bei einer Büchse von 2,8 cm Durchmesser und 5,8 cm Länge, wie sie meist benutzt wurde, muß man peinlich darauf achten, daß nicht das Resultat durch irgendwelche Wärmequellen gefälscht wird. So verursachte nach einer Versuchsreihe der von dem warm gewordenen Feldmagneten des Motors aufsteigende Luftstrom falsche Resultate. Später wurde die Büchse durch einen Schirm aus Packpapier hiergegen geschützt. Auch der Atem des Beobachters kann Fehler verursachen. Eine Büchse von dem doppelten Durchmesser war zwar weniger empfindlich, verlangte jedoch dieselbe Vorsicht und hatte den Nachteil, daß die zur Messung erforderliche Zeit unnötig verlängert wurde.

Der Kalorimeterwert der Büchse wird bestimmt durch Auswägen der Metallteile und Multiplikation mit der spezifischen Wärme, der des Thermometers in bekannter Weise durch Multiplikation des eingetauchten Volumens mit 0,46²⁾. Die an den Kork und den Holzstiel abgegebene Wärme habe ich vernachlässigt.

Bei einem Versuch wurde gemessen:

Wasserwert der Büchse: 3,8, der des Thermometers 0,46, Wasserinhalt 24,5 g, Durchmesser der Büchse 2,8 cm. Bei 503 Umdrehungen wurde eine Temperaturerhöhung von 4,7° erreicht. Die Federwage war mit 1 kg belastet und zeigte im Mittel 2,27 kg an, Reibung also 1,27 kg. Daraus ergibt sich das Wärmeäquivalent zu

$$\frac{1,27 \cdot 0,028 \cdot \pi \cdot 503}{0,02876 \cdot 4,7} = 410 \text{ mkg.}$$

Der nächste Versuch ergab 434 mkg, im Mittel geben beide Versuche 425 mkg. Ein anderes Mal wurden als Mittel aus 6 Versuchen 419 mkg erhalten. Die erreichte Genauigkeit entspricht meines Erachtens den Anforderungen, welche man billigerweise an die Versuchsanordnung stellen kann.

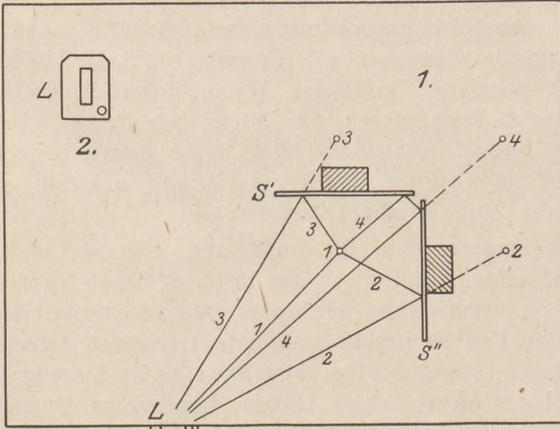
¹⁾ Frick-Lehmann, Physikalische Technik. Braunschweig 1909, Bd. II, 2., S. 1933. Preisliste 50 von Kohl Nr. 55230.

²⁾ Kohlrausch, Kleiner Leitfaden der praktischen Physik, S. 114.

Die Bilder beim Winkelspiegel.

Von Gg. Heinrich in Augsburg.

Manchem Schüler macht es Schwierigkeiten, sich das Zustandekommen der Bilder im Winkelspiegel vorzustellen. Diese Schwierigkeit kann man, wenn man Zeit dazu hat, am besten dadurch beheben, daß man den Schüler durch einen Stecknadelversuch ermitteln läßt, wie die einzelnen Bilder entstehen.



Figg. 1 und 2.

Das Rüstzeug ist dasselbe wie bei den gewöhnlichen Stecknadelversuchen: ein Reißbrett mit einem Blatt Papier; darauf die beiden Spiegel, die nicht ganz zusammenstoßen sollen; als Gegenstand (1) etwa eine Nadel mit einem Stückchen Kork; zum Abstecken die gewöhnlichen Nadeln. (Fig. 1). Um die Lage des Auges festzuhalten, heftet man an den Rand des Reißbrettes eine Lochscheibe *L* (Fig. 2) dorthin, wo man Gegenstand und Bilder zugleich sieht. Beim Festlegen der Strahlen steckt man die Nadel zuerst in die Nähe des Gegen-

stands (1) und dann immer weiter von ihm weg nach dem Auge hin zu. Um Störungen zu vermeiden deckt man die Spiegel durch übergehängte Papierstreifen so weit ab, daß man nur das gerade gewollte Bild sieht; man erkennt dabei gleichzeitig, welche Stücke der Spiegel an dem fraglichen Bilde beteiligt sind. Es empfiehlt sich auch jeden Strahl immer gleich auf dem Papier ausziehen zu lassen, wenn er abgesteckt ist. Läßt man den Versuch wirklich ausführen, so wird es vorkommen können,

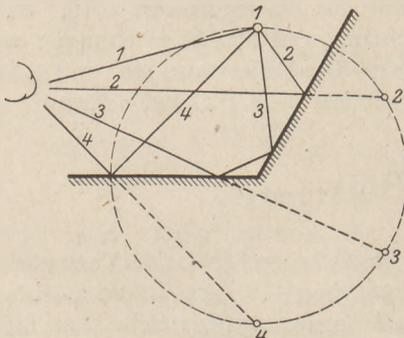


Fig. 3.

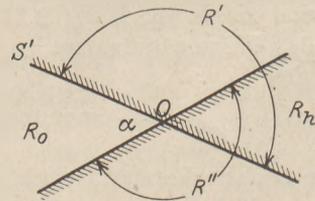


Fig. 4.

daß etwa einmal ein Schüler den Winkel $\alpha = 120^\circ$ wählt und entdeckt, daß der Gegenstand hier im ganzen 4 mal zu sehen ist und nicht bloß 3 mal, wie die gewöhnlich in den Büchern stehende Formel $n = \frac{360}{\alpha}$ aussagt. (Fig. 3). Man muß dann also

über die wirkliche Zahl der Bilder im Winkelspiegel Auskunft geben können. Aus dem Spiegelgesetz folgt ohne weiteres, daß ein — punktförmig gedachter — Gegenstand und seine Spiegelbilder auf einem Kreise liegen, dessen Ebene senkrecht auf der Schnittkante beider Spiegel steht. Für diese Ebene gelten unsere Figuren. Durch

die beiden Spiegel S' und S'' wird nun der ganze Raum in verschiedenen Winkelräumen geteilt; Fig. 4. Der erste Winkelraum R_0 liegt vor den beiden Spiegeln; als zweiten Winkelraum betrachten wir den Raum R' , der hinter der Ebene S' liegt, und als dritten den Raum R'' hinter S'' . Die beiden Winkelräume R' und R'' haben den Raum R_h , der hinter beiden Spiegeln liegt, gemeinsam. Die Winkelräume R_0 und R_h haben eine Größe von je α^0 , während R' und R'' je 180^0 messen. Durch einmalige Spiegelung an S' [S''] bildet sich der Winkelraum R_0 Punkt für Punkt in den Teilraum R_1' [R_1''] von der Größe α ab (Fig. 5). R_0 und R_1' [R_1''] sind symmetrisch bezüglich der Spiegelebene S' [S'']; R_1' und R_1'' sind kongruent, sie lassen sich durch Drehung um den Scheitel O zur Deckung bringen. Die von einem beliebigen Punkt C in R_0 ausgehenden Lichtstrahlen werden von S' [S''] so zurückgeworfen, als kämen sie von C_1' in R_1' [C_1'' in R_1'']. Von S' [S''] zurückgeworfene Strahlen können nun auch auf S'' [S'] treffen, wenn R_1' [R_1''] vor S'' [S'] liegt. D. h.: Der Teilraum R_1' [R_1''] bildet sich durch Spiegelung an S'' [S'] in den Teilraum R_2'' [R_2'] ab, und zwar Punkt für Punkt. Liegt R_2'' [R_2'] vor S' [S''], so bildet sich dieser Teilraum durch weitere Spiegelung an S' [S''] in den Teilraum R_3' [R_3''] ab u.s.w. Eine weitere Spiegelung ist erst ausgeschlossen, wenn ein Teilraum oder ein Stück eines solchen in den Hinterraum R_h fällt. Teilräume mit derselben Nummer, wie R_2' und R_2'' , sollen „gleich hoch“ heißen; für solche Teilräume gilt dann der Satz: Gleichhohe Teilräume sind kongruent, sie lassen sich durch Drehung um O Punkt für Punkt zur Deckung bringen. Es sei nun:

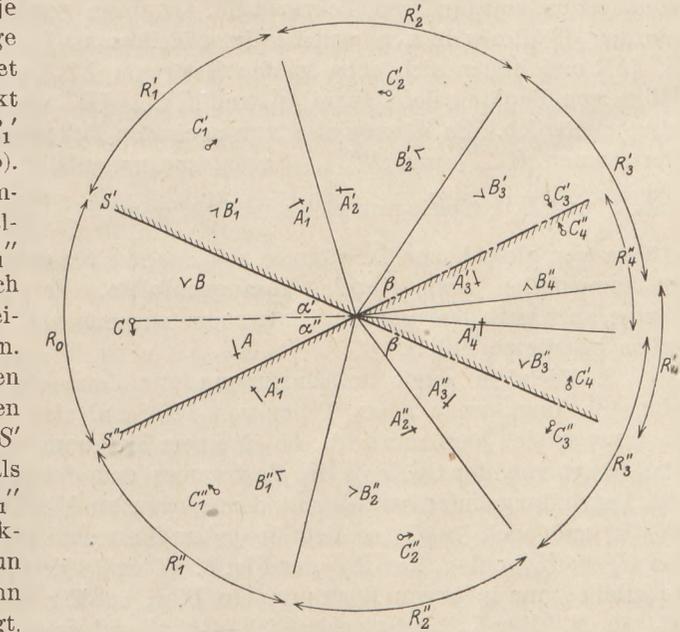


Fig. 5.

I. α ein Teiler von 180^0 ,
also $\frac{180}{\alpha} = \nu$ und ν eine ganze Zahl.
Dann zerfällt R' und ebenso R'' in ν Teilräume von je α^0 . Die letzten Teilräume R_{ν}' und R_{ν}'' fallen hier gerade mit R_h zusammen; nach obigem Satz decken sie sich also Punkt für Punkt. Die letzten Spiegelbilder eines Punktes C , also C_{ν}' und C_{ν}'' , fallen zusammen. Der Winkelspiegel liefert demnach $(2\nu - 1)$ Bilder. Rechnet man den Punkt C selbst mit, so hat man das Ergebnis: „In einem Winkelspiegel von α^0 Öffnung sieht man einen Gegenstand im ganzen $n = 2 \cdot \frac{180}{\alpha} = \frac{360}{\alpha}$ mal, wenn $\alpha = \frac{180}{\nu}$ ein Teiler von 180^0 ist.“ Es sei

II. α kein Teiler von 180^0 ,

sondern $180^0 = \nu \cdot \alpha^0 + \beta^0$, wobei ν wieder eine ganze Zahl bedeutet. Jetzt zerfällt also der Winkelraum R' [R''] in ν vollständige Teilräume von je α^0 und einem un-

vollständigen Teilraum, den Restraum $R'_{\nu+1} [R''_{\nu+1}]$ von der Größe β^0 . Vergl. Fig. 5; darin ist $\alpha = 50^\circ$, also $\nu = 3$ und $\beta = 30^\circ$. Es fragt sich nun erstens, ob auch jetzt im Hinterraum R_h Bilder zusammenfallen können, und zweitens, ob auch in den Resträumen $R'_{\nu+1} [R''_{\nu+1}]$ Bilder des Gegenstands A, B, C liegen oder nicht.

1. Es ist immer $\beta < \alpha$, also liegt der Restraum $R'_{\nu+1} [R''_{\nu+1}]$ immer ganz im Hinterraum R_h ; siehe R_4' und R_4'' in Fig. 5. Außerdem liegt in diesem Hinterraum vom letzten vollständigen Teilraum $R_\nu' [R_\nu'']$ ein Stück von der Größe $(\alpha - \beta^0)$. Die übrigen β^0 dieses letzten vollständigen Teilraums $R_\nu' [R_\nu'']$ liegen vor dem Spiegel $S'' [S']$ und bilden sich eben in den Restraum $R''_{\nu+1} [R'_{\nu+1}]$ ab. Ein Zusammenfallen von Punkten der Räume R'_ν und $R''_{\nu+1} [R'_\nu$ und $R'_{\nu+1}]$ im Hinterraum R_h ist also unmöglich. Es könnte also nur noch der Fall eintreten, daß Bilder, die in den Resträumen $R'_{\nu+1}$ und $R''_{\nu+1}$ liegen, zusammenfallen. Denn diese Resträume, bei uns R_4' und R_4'' , überlagern sich zum Teil, wenn $\beta > \frac{\alpha}{2}$ ist. Da aber $R'_{\nu+1}$ und $R''_{\nu+1}$

Stücke von gleichhohen Teilräumen sind, so mußten nach obigem Satz alle ihre Punkte zusammenfallen, wenn einzelne zusammenfallen. Es würde dann jeder dieser Resträume auch mit dem ganzen Hinterraum zusammenfallen, wir hätten dann also den schon erledigten Fall I.

2. Nachdem somit im Hinterraum nur dann ein Zusammenfallen von Bildern eintreten kann, wenn α ein Teiler von 180° und also kein Restraum vorhanden ist, so fragt es sich jetzt nur noch, ob in einem Restraum ein Bild liegen kann oder nicht. Das hängt von der Größe β des Restraumes und der Winkel α' und α'' ab, in welche die Verbindungslinien von O mit dem Gegenstand, z. B. C , den Winkel α teilt. Ist $\beta > \alpha'$ und auch $> \alpha''$, so liegt in jedem Restraum ein Bild; dies ist z. B. der Fall bei C_4' in R_4' und C_4'' in R_4'' der Fig. 5. Liegt β der Größe nach zwischen α' und α'' , so gibt es nur in einem Restraum ein Bild; in Fig. 5 ist dies für A_4' in R_4' , bzw. B_4'' in R_4'' der Fall. Ist schließlich $\beta < \alpha'$ und auch $< \alpha''$, so liegt in keinem Restraum ein Bild. Die Richtigkeit dieser Aussagen braucht nach den obigen Ausführungen wohl keine weitere Begründung.

Wir haben also folgendes Gesamtergebnis:

α^0 sei der Winkel zwischen den Spiegeln; er zerfalle durch die Verbindungslinie des Scheitels O mit den Gegenstand in die Winkel α' und α'' .

Gibt dann $\frac{180^\circ}{\alpha^0}$ die ganze Zahl ν und den Rest β^0 , so sieht man den Gegenstand im ganzen — den Gegenstand selbst also mitgerechnet — n mal und zwar ist

$$\begin{aligned} \text{für } \beta = 0 & & : & n = 2 \cdot \nu \\ \beta < \alpha' \text{ und } < \alpha'' & : & n = 2 \cdot \nu + 1 \\ \beta \text{ zw. } \alpha' \text{ und } \alpha'' & : & n = 2 \cdot \nu + 2 \\ \beta > \alpha' \text{ und } > \alpha'' & : & n = 2 \cdot \nu + 3. \end{aligned}$$

Kleine Mitteilungen.

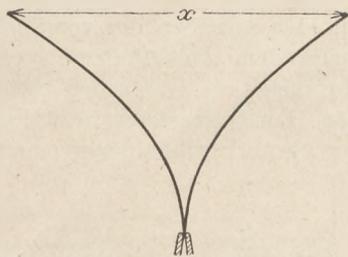
Ein einfaches Stroh-Hygrometer.

Von Prof. Dr. A. Wendler in Erlangen.

Zur Konstruktion von Hygrometern eignen sich in bekannter Weise hygroskopische Stoffe, wie entfettetes Haar, Darmsaiten, Kornstroh usw., außerdem können mit teilweise gutem Erfolg die einheimischen und exotischen Wetterpflanzen benutzt werden.

Einer zeitweisen Unterschätzung des hygroskopischen Prinzips gegenüber hat man nun schon seit längerer Zeit die Haarhygrometer würdigen gelernt. So hat, gestützt

auf eine umfassende Experimentaluntersuchung von J. PIRCHER, der bekannte Meteorologe J. M. PERNTER (*Met. Zeitschr.* 1904 S. 8: „Über die Gleichwertigkeit des Psychrometers und Haarhygrometers für Stationen 2. Ordnung“) dem Haarhygrometer folgendes Zeugnis ausgestellt: „1. Die Angaben des Hygrometers sind von der Lufttemperatur unabhängig. 2. Sie weichen höchstens um 4% von der relativen Feuchtigkeit der Umgebung ab. 3. Selbst ein durch Luftstrom ventiliertes Psychrometer zeigt größere Abweichungen. Vom Aspirationspsychrometer kann das Hygrometer dabei bis zu 5% verschiedene Feuchtigkeit anzeigen. 4. Auch bei entsprechender Wahl der Psychrometerkonstanten weicht ein nicht ventiliertes Psychrometer zuweilen um das doppelte gegenüber dem (ebenfalls unventilierten) Hygrometer ab. 5. Die Angaben des Hygrometers sind von der Windgeschwindigkeit unabhängig, während das Psychrometer davon stark beeinflusst wird. 6. Die Empfindlichkeit des Hygrometers übertrifft die des Psychrometers beträchtlich. 7. Weitere Vorteile ergeben sich hinsichtlich der rechnerischen Verwertung der Ablesungen. 8. Das Hygrometer ist unbeeinflusst vom Frost und funktioniert auch bei der tiefsten Temperatur, während hier das Psychrometer nur ungenaue Werte gibt. 9. Auch mit Rücksicht auf die Verwendung im unbemannten und bemannten Ballon liegen die Vorteile des Hygrometers gegenüber dem Psychrometer auf der Hand. Dazu kommt, daß beim nicht ventilierten Psychrometer für die Konstante A drei Werte in Rechnung zu ziehen sind, nämlich 0,0012 für Windstille, 0,0008 für leicht bewegte und 0,000656 für stark bewegte Luft. Bei Eisbedeckung des feuchten Thermometers hätte man eigentlich noch drei weitere Werte zu berücksichtigen; ja es soll A sogar eine Funktion der psychometrischen Differenz selbst sein. Dazu kommen dann endlich die durch den Luftdruck bedingten Komplikationen.



Der Hauptnachteil des Hygrometers ist die von Zeit zu Zeit (alle 3 Monate) nötige Justierung, und eine Störung ist ohne Neubestimmung des 100-punktes nicht zu erkennen. Dies fällt aber kaum ins Gewicht, da die allmählich auftretenden Störungen eben durch die periodisch vorgenommenen Eichungen eliminiert werden. Für die Beurteilung des Hygrometers fällt noch ins Gewicht, daß Konstruktionen möglich sind, bei denen die mit Achsenlagerung verbundenen Fehlerquellen wegfallen. (Über die Theorie des Hygrometers s. das Lehrbuch von HANN und *Met. Zeitschr.* 1895, S. 145).

Ein einfaches gut brauchbares Instrument erhält man nach NOWORNY (*Met. Zeitschr.* 1914, S. 194), wenn man einen Kornstrohalm der Länge nach spaltet, so daß etwa $\frac{1}{2}$ mm breite Streifen entstehen. Klemmt man einen solchen 10–20 cm langen Streifen fest, so können die Bewegungen des freien Endes zur Ablesung benutzt werden. Legt man zwei solche Streifen scharnierartig aneinander, so dient die Ausbauchung in der Mitte als hygrometrisches Maß und man kann so nach NOWORNY, indem man die eine der beiden Mitten festmacht, die andere mit einer Schreibspitze zur Registrierung versehen.

Ich habe nun auch zwei solche Streifen benutzt, sie aber, wie die Figur zeigt, so in einer photographischen Trockenklammer eingespannt, daß die über Koordinatenpapier ablesbare horizontale Entfernung der zwei freien Enden als hygrometrisches Maß genommen wird. Bei der folgenden Messung waren die Streifen vertikal aufgehängt, doch wäre zu prüfen, ob die horizontale Anordnung nicht vielleicht größere Empfindlichkeit und Regelmäßigkeit in der Einstellung bewirken würde. Auf alle Fälle gehen die beiden Zweige dieses Strohalmhygrometers zusammen, wenn die Feuchtigkeit zunimmt und auseinander, wenn die Feuchtigkeit geringer wird. Bei meinem Modell entsprachen 4 cm und 19 cm Spitzenentfernung der relativen Feuchtigkeit von

100% und 0%, wobei die Trocknung des unter luftdichten Abschluß gesetzten Instrumentes durch Schwefelsäure und Natrium besorgt wurde. Um Anhaltspunkte für die Verwendbarkeit des Apparates zu hygrometrischen Beobachtungen zu gewinnen, habe ich Vergleichen mit einem Psychrometer vorgenommen, dessen feuchtes Thermometer statt mit Musselin mit einer bestimmten Papiersorte bewickelt war (T. OKADO, Untersuchungen über diesen Gegenstand im Aprilheft 1906 des *Journal of the Meteorological society of Japan*). Von 40 Vergleichen wurde die eine Hälfte mit dem unventilieren, die andere Hälfte mit dem durch einen motorisch angetriebenen Propeller gut ventilieren Psychrometer ausgeführt; im ersten Fall ergab sich ein Korrelationskoeffizient $r = -0,54$ mit einem wahrscheinlichen Fehler $f = \pm 0,1$ und im zweiten Fall $r = -0,89$ mit $f = \pm 0,03$. Die zweite ungleich bessere Korrelation mit den Angaben des ventilieren Psychrometers läßt das angegebene Strohalmhygrometer dem ungelüfteten Psychrometer als weit überlegen, dem gut ventilieren Psychrometer als mindestens gleichwertig erscheinen. Im übrigen dürften die obigen auf das Haarhygrometer bezüglichen Ausführungen Pernters auch für das hier besprochene Strohalmhygrometer Geltung beanspruchen.

Leistungsmessung eines Motors (Schülerübung).

Von Dr. Büchner in Reichenbach i. V.

Verwendet wurde ein kleiner Drehstrommotor ($\frac{1}{8}$ PS.), über dessen Schnurscheibe ein starker Bindfaden als Bremszaum gelegt wurde, der unter Zwischenschaltung einer Federwage an einer Schraubzwinde befestigt war. Das andere Ende des Fadens lief über eine Rolle und wurde zur Spannung des Fadens mit einem Gewichte beschwert. Der Haken zum Anhängen der Federwage muß so eingeschraubt werden, daß beide Zweige des Fadens parallel laufen und somit die Kraft auf dem halben Umfang der Schnurscheibe wirkt. Der Umfang wurde durch Ausmessen eines zehnfach herumgelegten dünnen Fadens bestimmt und mit einem Umdrehungszähler wurde während des Versuchs die Umlaufzahl festgestellt.

Vor Anlaufen des Motors zeigte die Federwage das angehängte Gewicht p_1 , bei der Drehung p_2 ; die Differenz gab die wirkende Kraft. Aus dem halben Umfang und der Umlaufzahl ergab sich der Weg pro Sekunde, aus dem Produkt von Kraft und Weg pro Sekunde die Leistung.

Es zeigte sich auch, daß infolge der Schlüpfung des Ankers die Umlaufzahl bei Lehrlauf (1475) höher ist als bei Belastung. Bei kleineren Gewichten betrug die Versuchsdauer 30 Sek., bei größeren 15 Sek., sonst wurde die Schnurscheibe zu heiß.

Beispiel:

Umfang	p_1	p_2	Kraft	Umlaufzahl	Leistung
0,14 m	1 kg	2 kg	1 kg	1460	1,7 mkg pro Sek.
0,14 "	3 "	5,2 "	2,2 "	1424	3,7 " " "
0,14 "	7 "	11,4 "	4,4 "	1260	6,5 " " "

Zum Nachweis der Relativität axialer und äquatorialer magnetischer Einstellung.

Von O. Auwers in Marburg a. L.

Für den oben genannten Nachweis hat FARADAY¹⁾ folgende, bei MÜLLER-POUILLET²⁾ abgebildete Versuchsanordnung angegeben: Man bringt in ein Glasröhrchen, das an einem Ende offen, verjüngt nach oben gebogen und in einer Papierschleife an einem dünnen Faden aufgehängt ist, eine Eisenchloridlösung mittlerer Konzentration und hängt dieses in einem zunächst mit reinem Wasser gefüllten Schälchen zwischen die konischen Pole eines Elektromagneten. Das Röhrchen stellt sich parallel zum Feld des Magneten. Füllt man nun die Schale mit Eisenchlorid von doppelter Konzentration, als wie sie das aufgehängte Röhrchen enthält, so stellt sich dieses quer zur Achse des Magneten. Im ersten Falle würde man FeCl_3 paramagnetisch nennen, im zweiten aber diamagnetisch. In dieser Form ist der Versuch trotz der genial einfachen Anordnung des großen Experimentators keineswegs einfach auszuführen, weil das aufgehängte Röhrchen leicht an die Wand des Gefäßes gezogen wird und dort adhärirt. Es empfiehlt sich daher folgende abgeänderte Anordnung, die eine unterstützte Magnetenadel nachahmt:

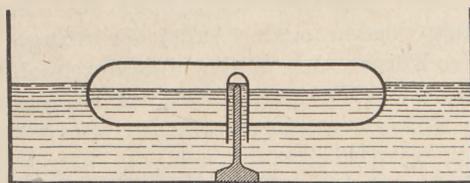


Fig. 1.

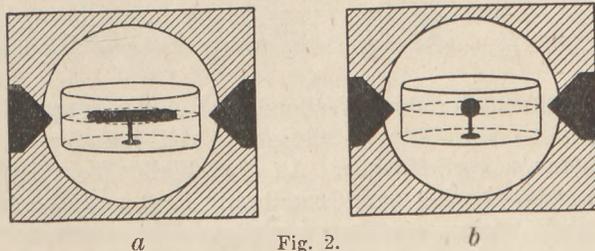


Fig. 2.

Das Röhrchen wird etwa zu $\frac{3}{4}$ mit FeCl_3 gefüllt zugeschmolzen, so daß es gerade horizontal zu schwimmen vermag; seine Länge wählt man zweckmäßig nicht über 5 cm. Ehe man es füllt (durch Erwärmen und Eintauchen in die verdünnte Eisenchloridlösung), schmilzt man in der Mitte eine Öffnung in die Wand. Je kleiner diese gelingt, desto leichter ist der folgende Schritt. Nach dem Füllen wird nämlich ein abgebrochenes Kapillarrohr, wie der Chemiker es zu Schmelzpunktsbestimmungen benutzt, senkrecht zur Längsachse in die Öffnung eingesetzt, worauf es mit Siegelack befestigt und gut abgedichtet wird (siehe Fig. 1).

Auf dem Boden des Gefäßes befestigt man nun, entweder durch Anschmelzen oder mit Klebwachs (Glas zuvor gut mit Alkohol reinigen!) einen Dorn, den man sich leicht durch plötzliches Ausziehen eines erweichten Glasstabes so dünn herstellen kann, daß er ohne Reibung in die Kapillare paßt. Das plötzliche Ausziehen des erweichten Stabes ist nötig, um einen breiten Fuß zu behalten, wie die Abbildung ihn zeigt. Jetzt setzt man das Röhrchen auf den Dorn und füllt die Schale so weit mit der betreffenden Flüssigkeit (Wasser oder FeCl_3), bis das Röhrchen nicht mehr vom Dorn getragen wird, sondern auf dem Flüssigkeitsspiegel schwimmend nur geführt wird, so daß er sich spielend leicht um die senkrechte Achse des Dorns drehen kann.

Obwohl ein Ausweichen zum Rande des Gefäßes hin unmöglich ist, darf man das Gefäß doch nicht zu klein wählen. Die Magnetspole wirken nämlich auch auf die

¹⁾ Mich. Faraday, Experimentelle Untersuchungen, 21. Reihe, Nr. 2362 ff., 1845 (enthalten in Ostwalds Klass. Nr. 140).

²⁾ Müller-Pouillet, Lehrbuch der Physik und Meteorologie IV, 2, 3 (1914), S. 692, Fig. 625.

FeCl_3 -Lösung in der Schale stark ein und verzerren die Oberfläche, was das Gelingen zwar fördert, aber der Reinheit des Versuches wegen vermieden werden muß. Man wähle deshalb die FeCl_3 -Lösung nicht zu konzentriert.

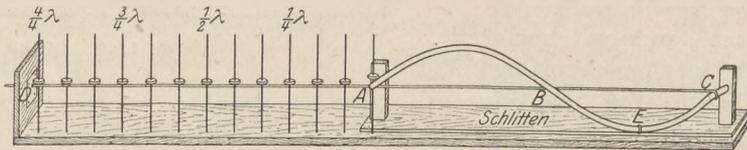
Will man den Versuch einem Auditorium vorführen, so kann man das Schälchen zwischen den Polen auf einen seitwärts stehenden Schirm projizieren. Fig. 2 zeigt in *a* die paramagnetische, in *b* dagegen die diamagnetische Stellung.

Eine neue Transversalwellenmaschine.

Von Franz Schippmann, Mittelschullehrer in Essen (Ruhr).

In der jetzigen Zeit, wo die Mittel für die Anschaffung von Apparaten nicht mehr so reichlich zu Verfügung stehen werden, ist es besonders notwendig, mit einfachen Mitteln sich zu helfen und manche Apparate sich selbst oder durch Schüler anzufertigen. Der nachstehend beschriebene Apparat soll die Entstehung einer Transversalwelle demonstrieren.

Der Apparat besteht (s. Fig.) aus einem Grundbrett, auf dem 13 Stangen senkrecht eingelassen sind. Auf jeder Stange läßt sich ein kugelförmiger oder zylindrischer Körper, der in der Mitte durchbohrt ist, leicht bewegen. (Als Körper werden passend die „Nummern eines Lottos“ gewählt). Man kann zweckmäßig bestimmte dieser Körper verschieden färben. Rechts auf dem Grundbrette erblickt man einen



Schlitten, der den „Wellendraht“ *ABC* trägt. Durch eine „Führung“ des Schlittens (Leiste oder Rille)¹⁾ läßt sich die Ebene der Wellenkurve dicht an den senkrechten Stangen vorbeiführen. An dem Wellendraht ist bei *A* eine Schirmstange befestigt, welche parallel zum Grundbrette liegt und ebenfalls die senkrechten Stangen berührt. Diese horizontale Stange gleitet leicht, wenn der Schlitten von rechts nach links bewegt wird, durch die Öffnung bei *D*. Die Stange trägt die ruhenden Wellenteilchen. Etwas hinter dem Wellendraht ($\sim 1-1\frac{1}{2}$ cm) ist in *A* und *C* eine zweite Schirmstange befestigt. Sie stellt die Ruhelage der bewegten Wellenteilchen dar und erscheint von vorn gesehen als Fortsetzung der Ruhelage *AD*.

Bewegt man den Schlitten von rechts nach links, so gleitet die Stange *AD* durch das Lager bei *D*. Zuerst wird das Teilchen bei *A* erfaßt, dann die mehr links stehenden. Der Draht *AD* hält bei dieser Bewegung die Teilchen so lange in der horizontalen Ruhelage, bis der Wellendraht sie in die Höhe hebt. Ist der Schlitten bis zum Querbrett bei *D* angekommen, so hat das erste Teilchen bei *A* sich einmal auf und ab bewegt, es hat also eine ganze Schwingung ausgeführt. Dabei ist eine Welle unter dem Teilchen hergegangen. Die Welle erfaßt nacheinander die einzelnen Teilchen, und nach einer vollständigen Schwingung des ersten Teilchens bei *A* wird das Teilchen bei *D* bewegt. Es wird also nun ein Teilchen von der Welle erfaßt, welches um eine Wellenlänge vom Teilchen *A* entfernt liegt. Man kann auf diese Weise anschaulich die Beziehung $C = n\lambda$ entwickeln. Die einzelnen Phasen lassen sich bei dieser Wellenmaschine gut übersehen. Bei *B* bewegen sich die Teilchen in das Wellental, was ja dadurch möglich ist, daß die Stange *AC* $\sim 1-1\frac{1}{2}$ cm von dem Wellendrahte entfernt ist.

¹⁾ In der Figur der Deutlichkeit halber nicht eingezeichnet.

Durch Abnehmen der verschiedenen Wellenteilchen, lassen sich die Versuche vielseitig gestalten.

Für die Anfertigung seien noch folgende Angaben hinzugefügt: Das Grundbrett ist 114 cm lang, 13 cm breit und $2\frac{1}{2}$ cm dick. Von der Mitte aus werden in gleichen Abständen voneinander 13 runde Schirmstangen (oder Stricknadeln) von ~ 18 cm Länge ~ 2 cm tief in das Grundbrett eingelassen. Der Abstand der ersten von der dreizehnten Stange beträgt 52 cm. Von der vorderen Längskante sind diese Stangen 2—3 cm entfernt. Man bohrt mit einem Drillbohrer senkrechte Löcher in das Grundbrett und schlägt die Schirmstangen hinein. Sollte später eine von ihnen nicht die Stange *AD* berühren, so genügt ein leichter Schlag mit dem Hammer, den man möglichst tief an der Befestigungsstelle ausführt. Die Bohrung im Querbrette bei *D* macht man bedeutend größer als den Querschnitt der Schirmstange *AD*. Auf beiden Seiten dieser Öffnung befestigt man später ein Zinkblech, welches eine Öffnung von dem Querschnitt der Stange *AD* hat. Durch dieses Verfahren kann man die Stange *AD* leicht einrichten, und sie bekommt einen besseren Halt. Die Wellenlinie habe ich aus verzinktem Eisendraht von 5 mm Durchmesser hergestellt. Der Abstand des Wellenberges und des Wellentales von der Ruhelage beträgt je ~ 4 cm, die Länge der Welle 52 cm, ist also gleich dem Abstand der ersten von der dreizehnten Stange. In den Punkten *A* und *C* ist der Wellendraht senkrecht nach hinten gebogen und wird durch diese Verlängerungen von zwei Ständern, welche eine 5 mm weite Bohrung erhalten, getragen. Die Ständer werden auf dem Schlitten befestigt. Man macht die Umbiegungen so lang, daß sie gut in den Säulen befestigt werden können und noch ~ 2 cm weit nach vorn herausragen. Bei *E* kann man noch den Wellendraht mit einer eingefeilten Rille versehen und durch einen dünnen Draht mit dem Schlitten verbinden. Auf den Umbiegungen in *A* und *C* wird die Schirmstange *AC* $\sim 1\frac{1}{2}$ cm von der Ebene des Wellendrahtes angebracht, indem man an diesen Stellen einen Kerb einfeilt und die Stange mit einem dünnen Draht befestigt. Die Schirmstange *AD* wird vorn an dem Wellendraht in *A* festgemacht. Man feilt am Anfange des Wellenberges in *A* eine Rille rings um den Wellendraht, zieht durch die „Öse“ der Schirmstange einen dünnen Draht und schlingt denselben um die Rille. Dadurch ist eine Verschiebung der Stange *AD* ausgeschlossen. Durch die Einsenkung des Drahtes in die Rille wird außerdem eine Hemmung der Wellenteilchen am Wellendrahte vermieden. Es ist ratsam, die senkrechten Stangen und den Wellendraht etwas einzufetten, dann wird der Apparat besonders gut arbeiten. Die „Nummern des Lottos“ müssen sich leicht bewegen lassen. Die Öffnungen dürfen aber nicht zu groß sein. Der Schlitten hat eine Länge von ~ 57 cm und eine Dicke von 0,7 cm.

Ich habe die Führung des Schlittens durch eine Rille hergestellt, die in dem Grundbrette angebracht ist. Durch diese Rille gleitet leicht eine Leiste, die mit dem Schlitten verbunden ist. Man kann auch an der hinteren Längsseite des Grundbrettes eine Leiste anbringen und dem Schlitten eine entsprechende Breite geben, so daß er durch diese Leiste seine Führung bekommt. Versieht man diese Seite noch mit einem weißen Pappdeckel von 114 cm Länge und ~ 20 cm Breite, so heben sich die Erscheinungen noch deutlicher ab.

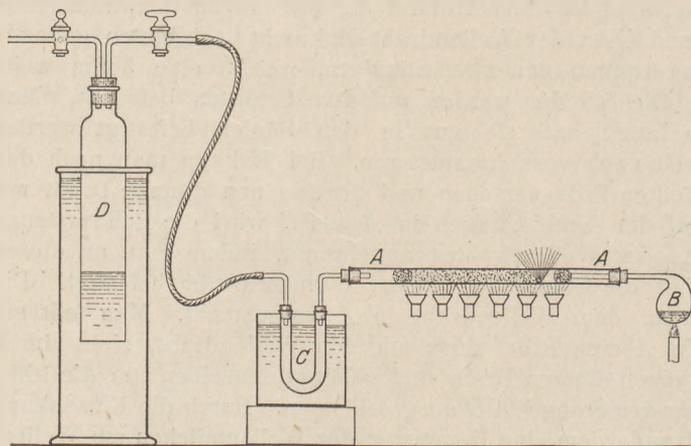
Eine schulmäßige Analyse der Salpetersäure.

Von Friedrich C. G. Müller in Brandenburg (Havel).

Jeder Chemielehrer wird immer wieder bedauert haben, nicht zeigen zu können, daß die aus dem Salpeter mittelst Schwefelsäure freigemachte Säure eine Stickstoffsäure, geschweige denn, daß diese Säure gemäß der Formel NO_3H zusammengesetzt ist. Man mußte dies auf guten Glauben hinnehmen, während bei den anderen wichtigen Mineralsäuren die chemische Zusammensetzung durch gute Schulversuche festgestellt werden kann.

Nun zeigte die kürzlich vom Verf. mitgeteilte Methode, Kohle im Salpetersäuredampf zu verbrennen (*diese Zeitschr.* 32, S. 40), einen Weg zur Elementaranalyse dieser Säure. Leider trüben die dabei entdeckten interessanten Nebenvorgänge das Endergebnis. Weiterhin jedoch versuchte man es mit einem anderen leicht oxydierbaren, aber von störenden Beimengungen freien Stoffe mit festem Verbrennungsprodukt, nämlich mit feingekörntem porösen Kupfer, wie es bei der Luftanalyse Verwendung findet. Gleich der erste Versuch zeigte, daß man mit diesem Material aus NO_3H -Dampf den Stickstoff ebenso glatt abscheiden kann, wie aus atmosphärischer Luft. Der Apparat ist der gleiche, wie bei der Verbrennung von Kohle mittelst Salpetersäure, weshalb die Figur der angeführten Abhandlung auch an dieser Stelle wieder Platz finden kann (s. Fig.). Das Rohr *A* enthält eine 20 cm lange Schicht gekörntes Kupfer, die Retorte *B* 10 g Kaliumsalpeter und 10 ccm konzentrierte Schwefelsäure, *C* Chlorcalcium.

Bei der Vorbereitung hat man einen Strom Wasserstoff oder Leuchtgas unter Erhitzung durch das mit Kupfer beschickte Rohr zu leiten, bis das Metall hellrot erscheint und alle Feuchtigkeit ausgetreten, und es dann gut verkorkt zum Gebrauch



bereit zu legen. Zu Beginn der Stunde, in der die Analyse vorgeführt werden soll, liegt das Rohr, genau ins Gleichgewicht gebracht, auf der Klassenwaage. Auch das Chlorcalciumrohr ist bereits gewogen. Sogleich stellt man den Apparat gemäß der Figur zusammen und entzündet die Heizflammen. Nach 5 Minuten ist das Rohr heiß genug, um mit dem eigentlichen Versuch beginnen zu können. Sobald der

Retorteninhalt kocht, dreht man die Flamme ganz klein. Gleich darauf erreicht der Salpetersäuredampf das Kupfer und dieses verbrennt unter Erglügen zu Kupferoxyd. Die Verbrennungsschicht ist nur etwa 2 cm lang, während das dahinter liegende Kupfer seine hellrote Farbe unverändert beibehält. Es ist darauf zu achten, daß der Prozeß nicht zu schnell verläuft, weil sonst das Kupfer anschmilzt und das Rohr beim Erkalten zerspringt. Nach etwa 3 Minuten werden 600 ccm Gas in die Glocke getreten sein. Damit ist der Versuch als solcher beendet. Nunmehr muß der Apparat 20 bis 30 Minuten zur Abkühlung sich selbst überlassen bleiben, wobei die Glocke mittelst des Klemmrings hoch gestellt ist, so daß Außen- und Innendruck gleich bleiben.

Am Schluß der Stunde wird das Rohr wieder auf die Waage gebracht und die Gewichtszunahme festgestellt (etwa 1,7 g), das Chlorcalciumrohr wird ebenfalls nachgewogen (etwa 0,35). Die Ablesung des Gasvolums ergibt ungefähr 500 ccm. Die ganze Analyse beansprucht demnach $\frac{3}{4}$ Stunden; aber von dieser Zeit kommen 35 Minuten auf Abwarten, währenddem der Unterricht ohne Rücksicht auf den Apparat weitergehen kann. Das Gas ist völlig geruch- und geschmacklos und leicht als reiner Stickstoff zu erweisen.

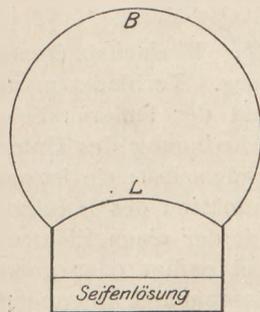
An den für Sauerstoff und Stickstoff erhaltenen Zahlen ist noch eine Korrektur anzubringen. Retorte und Rohr enthalten ja eine gewisse Menge Luft, deren Sauerstoff zum großen Teil von dem Kupfer gebunden wird. Bei unserem Apparat ergab sich durch Ausgießen mit Wasser der Luftraum in der Retorte zu 50 ccm, der des

Rohrs zu 45 cm. Nun werden aber beim Erhitzen des Rohrs etwa 30 cm in die Glocke getrieben, so daß also nur 65 cm Luft mit 14 cm Sauerstoff zu berücksichtigen sind. Diese 14 cm sind dem gefundenen Stickstoffvolum zuzuzählen, während ihr Gewicht von 0,02 g von der Gewichtszunahme des Rohrs in Abzug zu bringen ist. Beim letzten Versuch beispielsweise wurden 527 cm Gas abgelesen, mithin ist das gesamte neu entstandene Stickstoffvolum $527 + 14 = 541$. Da die Temperatur $17,5^{\circ}\text{C}$ und der Druck 755 betrug, ist das reduzierte Gasvolum 495 cm, mit dem Gewicht $495 \cdot 0,00125 = 0,62$. Das Rohr war um 1,85 schwerer geworden, das korrigierte Sauerstoffgewicht beträgt demnach 1,83. Im Chlorecalciumrohr fanden sich 0,39 Wasser. Diese Ziffern, durch die Atom- bzw. Molekulargewichte 14, 16, 18 ohne Rücksicht auf das Dezimalzeichen dividiert, ergeben 43, 114, 22, Zahlen, die sich verhalten wie $1,9 : 5 : 0,96$. Somit hat die Säure die Formel $\text{N}_2\text{O}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Drei andere Versuche ergaben fast die nämlichen absoluten, wie relativen Zahlen.

Die zugrunde gelegte chemische Reaktion ermöglicht eine wissenschaftlich genaue Elementaranalyse der Salpetersäure. Freilich bedingt die beschriebene schulmäßige Ausführung etwas weitere, aber völlig genügende Fehlergrenzen. Die Korrektur wegen der ursprünglich im Apparate vorhandenen Luft, kann, obgleich sie leicht verständlich und unerheblich ist, dadurch umgangen werden, daß man beim Beginn des Versuchs das Rohr und die Retorte ohne Schwefelsäure mit Stickgas füllt. Wie weit sich die Genauigkeit mittelst feinerer Hilfsmittel treiben läßt, gedenke ich noch selbst aufzuklären.

Für die Praxis.

Ein Versuch mit der Verdünnungsluftpumpe. Von Prof. Dr. Theodor Springer in Seitenstetten, N.-Ö. Lebhaftes Interesse bringen die Schüler den mannigfachen Versuchen entgegen, die sich mit der Verdünnungsluftpumpe anstellen lassen. Unter der Gruppe von „Versuchen über die Expansivkraft der Luft“ beschreibt ROSENBERG¹⁾ auch folgenden: „Man bringt ein kleines Gläschen mit Seifenlösung unter den Rezipienten. Durch rasches Umrühren mit einem Glasstäbchen hat man im Gläschen zuvor Schaum von kleinen Seifenbläschen erzeugt. Beim Evakuieren schwillt der Schaum beträchtlich auf.“ Dieses Schaumschlagen mit dem Glasstabe oder der von WEINHOLD empfohlenen Blechscheibe²⁾ kann nun bei weniger guten Seifenlösungen Schwierigkeiten bereiten. Es kann aber zugunsten des ganzen Versuches überhaupt unterbleiben bei folgendem Vorgehen: Etwas Seifenlösung befinde sich in einem niedrigen zylindrischen Gefäße, z. B. in einer Kristallisierschale von 6 cm Durchmesser und 3 cm Höhe. Das Gefäß steht auf dem Teller der Luftpumpe. Mit Hilfe der primitivsten Blasröhre gelingt es leicht, eine Seifenlamelle über den Rand des Zylindergefäßes zu spannen und ihr durch weiteres Einblasen von Luft noch eine leichte Krümmung zu geben, so daß sie von den Schülern gesehen werden kann. (*L* in der Figur). Zieht man dann das Blasrohr vorsichtig weg, so bleibt die Seifenlamelle bestehen und schwillt nun bei darauffolgender Luftverdünnung im Rezipienten zu einer schönen großen Kugelblase (*B*) an.



¹⁾ Experimentierbuch, 3. Aufl., 1. Bd., S. 154.

²⁾ Erwähnt bei Rosenberg, a. a. O.

Gedekte und offene Röhren. Von Dr. Büchner in Reichenbach i. V. Schlägt man auf das Ende einer Röhre mit 1—2 Fingern, indem man dabei die Öffnung nur zur Hälfte bedeckt, so schwingt die Luftsäule wie bei der offenen Pfeife als ganze Wellenlänge. Schlägt man mit der flachen Hand, indem man die Öffnung ganz bedeckt, so schwingt die Luft als halbe Welle wie bei der gedekten Pfeife. Führt man beides abwechselnd rasch hintereinander aus, so hört man recht deutlich den Tonhöhenunterschied von einer Oktave.

Elektrodynamische Kräfte zwischen Stromleitern. Von Dr. G. Thomas in Braunschweig. Um ohne Anwendung des Ampèreschen Gestelles die Wirkung zweier Stromleiter aufeinander zeigen zu können, beschreibt ROSENBERG (Experimentierbuch, 2. Bd., S. 359) eine Anordnung mit zwei Lamettafäden. Da hier starke Ströme naturgemäß ausgeschlossen sind, so ist die Einwirkung schwach und nur im Projektionsbild zu erkennen; außerdem ist die wenn auch schwache Anspannung der Fäden im Gestell einer Abstandsänderung hinderlich. Beide Nachteile sind durch folgende Umgestaltung vermieden und damit unmittelbar erkennbare Wirkungen erreicht worden.

Der eine Lamettafaden ist durch einen langen Kupferdraht oder Messingstab ersetzt, der völlig mit isolierendem Lack überzogen ist und nach ROSENBERG einen Pfeil zur Erkennung der Stromrichtung trägt. In ganz geringer Entfernung (2—3 cm) hängt daneben ein Lamettafaden herab, der mit dem anderen Stromleiter oben an einem Bunsenstativ eingeklemmt ist. Die Spannung des Fadens wird dadurch erreicht, daß sein unteres Ende in einer kurzen Schleife nach oben weitergeführt ist. Der Faden kann so fast widerstandslos den elektrodynamischen Kräften folgen. Das Ende wird schließlich über einen Schieberwiderstand und einen Stromwender mit der Stromquelle verbunden (220 Volt bei etwa 70 Ω). Der Messingdraht kann nun mit beliebig starkem Strom belastet werden und zieht dann den Faden heftig bis zur Berührung an oder stößt ihn so weit ab, daß die Wirkung auch aus großer Entfernung deutlich zu sehen ist.

Einfachste Demonstration elektrischer Oszillationen. Von K. Reinig in Heidelberg. Verbindet man die Pole der Sekundärspule eines Induktors mit der inneren und der äußeren Belegung einer Leydener Flasche, so wird die Flasche bei jeder Schwingung des Unterbrechers geladen. Die Entladung erfolgt durch die Sekundärspule selbst; sie ist oszillierend, jedoch sind die Oszillationen infolge der hohen Selbstinduktion des Induktors sehr verlangsamt. Setzt man nun eine Geißlersche Röhre mit der einen Elektrode auf den Knopf der Flasche, während die andere Elektrode frei endigt oder geerdet wird, so entstehen in ihr ebenfalls langsam oszillierende Resonanzschwingungen, welche die Röhre zum Leuchten bringen. Eine kleine H- oder N-Röhre mit engem Mittelstück, wie sie zu spektroskopischen Zwecken dient, zeigt die Erscheinung sehr leicht. Man kann auch die Röhre neben die Leydener Flasche stellen und die eine Elektrode leitend mit der inneren Belegung verbinden. Der rotierende Spiegel gibt, sehr langsam gedreht, Bilder der Röhre, die den einzelnen Schwingungen des Unterbrechers entsprechen. Schon bei mäßiger Geschwindigkeit des Spiegels lösen sich die Bilder in einzelne Streifen auf, welche die Oszillationen darstellen.

Berichte.

1. Apparate und Versuche.

Die Messung hoher Temperaturen mit dem Strahlungs-pyrometer. Selbst in den größeren an Schulen gebrauchten Physiklehrbüchern findet man das Strahlungs-pyrometer nicht beschrieben. Und doch ist gerade das Gebiet der Wärmestrahlung für die gesamte heutige Technik von der größten Bedeutung. Die Messung sehr hoher Temperaturen, und zwar von etwa 1600° ab (der Grenze der Brauchbarkeit des Le Chatelier'schen Thermoelements) bis zu 3000° und höher gelingt nur noch mit dem Strahlungs-pyrometer, einem Instrument, das die auffallende Wärmestrahlung zur Temperaturmessung verwertet. Fig. 1 zeigt den großen Verwendungsbereich der Strahlungs-pyrometer im Vergleich zu anderen Temperaturmessern. Wenn die folgenden Zeilen dazu beitragen, daß bei Gelegenheit im Physikunterricht das Strahlungs-pyrometer als vorzügliches und einziges Instrument zur Messung hoher Temperaturen erwähnt wird, haben sie ihren Zweck erfüllt. Vielleicht wird auch der eine oder andere Physiklehrer dazu angeregt, sich ein Ferysches Pyrometer mit den einfachsten Hilfsmitteln selbst herzustellen.

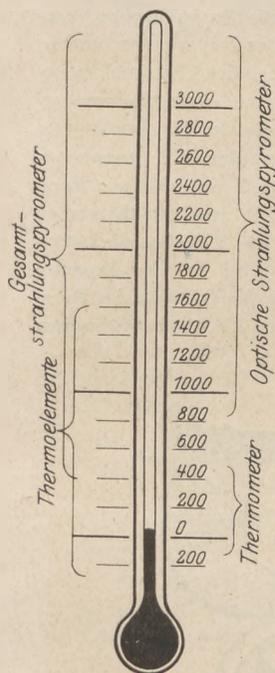


Fig. 1.

Die Strahlungs-pyrometer im weiteren Sinn, zu denen dann auch die optischen Pyrometer¹⁾, die nur die sichtbare Strahlung benutzen, gerechnet werden, ermöglichen eine Temperaturbestimmung, ohne daß das Instrument mit dem zu messenden Körper in Berührung kommt. Unter den Strahlungs-pyrometern im engeren Sinne versteht man allerdings nur solche Instrumente, bei denen die gesamte Strahlungsenergie (Licht und Wärmestrahlung) Verwendung findet, und nur

¹⁾ Über die optischen Pyrometer von Wanner, Holborn-Kurlbaum, Henning u. a. siehe Burgeß und Le Chatelier, Die Messung hoher Temperaturen, Berlin 1913 und Henning, Die Grundlagen, Methoden und Ergebnisse der Temperaturmessung, Braunschweig 1915.

von solchen Gesamtstrahlungs-pyrometern soll in den folgenden Zeilen die Rede sein.

Die Strahlungs-pyrometer entstanden aus dem Bedürfnis heraus, die Temperatur von Wärmequellen messen zu können, die der thermometrischen oder thermoelektrischen Temperaturmessung unzugänglich sind. Eine solche Wärmequelle ist z. B. die Sonne, und naturgemäß dienten die ersten Pyrometer, die sogenannten Pyrheliometer, wie schon der Name sagt, zur Temperaturbestimmung der Sonne. Pouillet hat als erster versucht, mit seinem Pyrheliometer die Temperatur unserer intensivsten Wärmequelle zu bestimmen. Zuverlässige Ergebnisse über die Temperatur der Sonne vermag indes das Pyrheliometer von Pouillet nicht zu liefern.

Auch das Aktinometer von Violle, bei dem als Empfangsapparat für die Wärmestrahlung die geschwärzte Kugel eines gewöhnlichen Thermometers benutzt wird, kann zuverlässige Ergebnisse nicht liefern. Bessere Ergebnisse erzielt man mit den Pyrheliometern von Angström, Michelson, den Aktinometern von Arago-Davy und Crova. Doch kann auf diese Apparate nicht näher eingegangen werden und sei deswegen hier auf das Lehrbuch von Chwolson (S. 624—627) verwiesen.

Bei dem Radiometer von Crookes wird die auffallende Strahlungsenergie dazu benutzt, ein äußerst leicht bewegliches Flügelrad in Bewegung zu setzen. Die Rotationsgeschwindigkeit vergrößert sich mit zunehmender Strahlungsintensität (Temperaturerhöhung), doch ist das Problem, die Abhängigkeit der Drehung von der Intensität der Strahlung zu ermitteln, bis jetzt noch nicht restlos gelöst worden¹⁾. Aus diesem Grunde haben auch die Radiometer bisher noch keine Verwendung in der Technik gefunden.

Ein wichtiger Fortschritt in der Entwicklung der Pyrometerkonstruktionen wurde erzielt, als Rosetti zum ersten Male statt des Thermometers eine Thermosäule aus 25 Wismut-Antimon-elementen als Strahlungsempfänger benutzte. Die Stäbchen sind miteinander abwechselnd so gelegt, daß die ungeraden Lötstellen nebeneinander vorn, die geraden hinten liegen. (Lineare Thermosäule.) Die Enden der Thermosäule werden mit einem empfindlichen Galvanometer verbunden. Beim Gebrauch werden die kalten Lötstellen auf Zimmertemperatur gehalten, während die anderen Lötstellen der Wärmestrahlung ausgesetzt werden.

¹⁾ W. H. Westphal, Über das Radiometer. Verh. d. Deutsch. Phys. Ges. 21. 129—143. 1919.

Ein anderes Mittel zur Messung der Temperatur, das dem Thermoelement und der Thermosäule an Genauigkeit und Feinheit der Beobachtung weit überlegen ist, besteht in dem Bolometer, das erstmalig von Langley angewandt wurde. In der Praxis wird das Bolometer aus einer Wheatstone'schen Brücke (Fig. 5) gebildet,

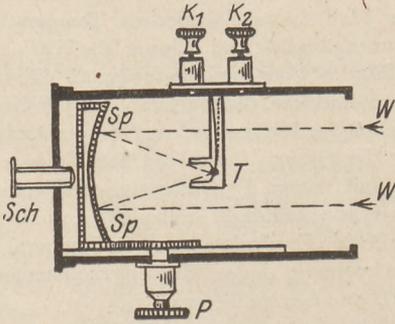


Fig. 2.

in deren beide Zweige 1 und 4 je eine dünne Platinspirale, die bei gleicher Temperatur gleichen Widerstand haben, eingeschaltet ist. Wird die eine Spirale von Wärmestrahlen getroffen, so erwärmt sie sich und vermehrt somit ihren Leitungswiderstand. Das in die Brücke eingeschaltete Galvanometer G , das bei gleicher Temperatur der beiden Drahtspiralen in Ruhe war, wird nun infolge des in der Brücke auftretenden Stromes ausschlagen.

Weitere Verbreitung haben neuerdings das Strahlungs-pyrometer von Fery und das Strahlungs-pyrometer von Hirschson¹⁾, gefunden. Das erstgenannte Instrument benutzt als Strahlungsempfänger ein sehr empfindliches Thermoelement, während das Strahlungs-pyrometer von Hirschson im Prinzip ein Bolometer genannt werden kann.

Die am meisten gebräuchlichste Form des Fery-Pyrometers besitzt folgende Anordnung (Fig. 2 und 3): Die durch die Öffnung eines Hohlzylinders fallende gesamte Strahlung (Licht- und Wärmestrahlung) wird ohne vorherige spektrale Zerlegung, wie dies bei den optischen Pyrometern der Fall ist, durch einen vergoldeten Hohlspiegel Sp auf die Lötstelle T eines Thermoelements geworfen, dessen Drähte zu zwei Anschlußklemmen K_1 und K_2 führen. Die Lötstelle des Eisen-Konstantan-Thermoelements ist durch ein geschwärztes Silberblättchen verbreitert und so zur Absorption der hier konzentrierten Wärmestrahlen vorzüglich geeignet. Der in der Achse des Zylinders durch Zahnstangentrieb P verschiebbare Hohlspiegel ist in der Mitte durchbohrt, so

¹⁾ F. Hirschson, Ein neues Pyrometer. Zeitschr. d. Ver. d. Ing. 1918, S. 552.

daß man mit Hilfe eines Schauglases oder Okulares Sch das Bild des vom Hohlspiegel entworfenen glühenden Körpers beobachten kann. Die Lötstelle muß im Bildpunkt der strahlenden Öffnung liegen und vom Bilde ganz ausgefüllt sein. Ersteres wird durch Verschieben des Hohlspiegels erreicht und daran erkannt, daß das Bild der strahlenden Öffnung, das man in zwei, die Lötstelle umgebenden, gegeneinander geneigten Spiegeln sieht, ununterbrochene Konturen hat. Die thermoelektromotorische Kraft des Elements ist nahezu der 4. Potenz der Temperatur proportional. Die Empfindlichkeit des Fery-Pyrometers ist sehr beträchtlich (1,3 Millivolt bei 1200°), da durch den vergoldeten Hohlspiegel eine verhältnismäßig große Energiemenge konzentriert werden kann. Das Zeiger-galvanometer, das an die Anschlußklemmen des Thermoelements angeschlossen wird, kann mit einer Temperaturskala und mit einer Registriereinrichtung versehen sein. Um die Meßgenauigkeit bei gegebener Skalenlänge möglichst groß zu machen, kann man ein Galvanometer mit zwei Meßbereichen anwenden. Erstreckt sich der 1. Meßbereich etwa von 400° bis $1200^\circ C$, so wird bei der Messung höherer Temperaturen vor die Öffnung des Pyrometerrohres ein Diaphragma B mit sektorförmigem

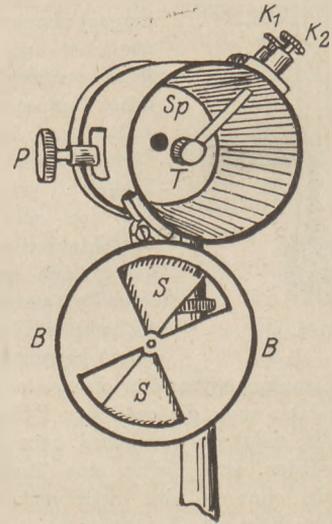


Fig. 3.

Querschnitt S geklappt. Durch diese Verkleinerung der Öffnung geht der Ausschlag des Galvanometers erheblich zurück, und es können die höheren Temperaturen bis etwa 2000° jetzt an der für den 2. Meßbereich gültigen Skala abgelesen werden. Das Pyrometer von Fery besitzt gegenüber den optischen Pyrometern den Vorteil, daß es eine Temperaturmessung bis herunter zu 400° erlaubt, und daß seine Anzeigen wie die

eines gewöhnlichen Thermoelements registriert werden können. Dagegen erfordern die Pyrometer eine ziemlich große Öffnung des strahlenden Körpers, ferner müssen sie an mehreren Punkten empirisch geeicht werden, da die Bedingungen für die strenge Anwendbarkeit des Stefan-Boltzmann'schen Gesetzes, das ihnen im Prinzip zugrunde liegt, bei den Instrumenten nicht hinreichend erfüllt ist.

Statt des vergoldeten Hohlspiegels hat Fery bei einer veränderten Konstruktion seines Pyrometers als optisch abbildenden Teil Linsen benutzt, die natürlich, falls die Thermokraft der 4. Potenz der Temperatur proportional sein soll, aus Flußspat, einem diathermanen Medium, bestehen müssen.

Noch eine andere Methode zur Registrierung der Strahlung, die durch einen Hohlspiegel konzentriert wird, soll hier angegeben werden. Fery benutzt bei seinem sog. Spiralpyrometer statt des Galvanometers und des Thermoelements eine Feder aus zwei Metallen, die sich in dem Brennpunkt des Hohlspiegels befindet. Sobald Strahlung auf die Feder fällt, wird hierdurch eine differentiale Ausdehnung derselben verursacht, und ein an der Feder befestigter Zeiger bewegt sich über einer in Temperaturgraden geeichten Skala. Das Fery'sche Spiralpyrometer ist äußerst einfach in der Handhabung, besitzt aber die Fehler eines Federinstrumentes, wie z. B. die Veränderung des Nullpunktes und die langsame Einstellung (Kriechen) und kann deswegen nur in den Fällen Anwendung finden, wo keine große Genauigkeit verlangt wird.

Der Grundtypus des Fery'schen Pyrometers ist im Laufe der Zeit vielfach verändert worden. Thwing ersetzt bei seinem Pyrometer (Fig. 4)

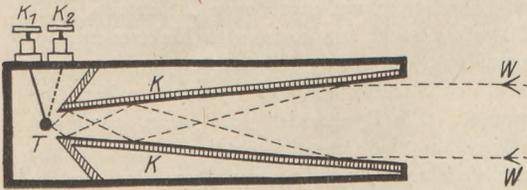


Fig. 4.

den Hohlspiegel durch einen glänzenden Konus K, der durch wiederholte Reflexion die Strahlen an seiner engsten Stelle auf ein Thermoelement T vereinigt, und umgekehrt so die Brennpunktseinstellung des Fery'schen Hohlspiegels. Foster beseitigt den beweglichen Spiegel, indem er das Thermoelement und die Öffnung des Pyrometers an konjugierte Punkte eines feststehenden vergoldeten Hohlspiegels bringt und so das Fery-

sche Spiegelteleskop in ein Pyrometer mit festem Brennpunkt verwandelt.

Brown verwendet bei seinem im Prinzip den zuvor genannten Pyrometern gleichen Instrument zwecks Erleichterung der Einstellung einen Sucher, wie er bei photographischen Apparaten Verwendung findet. Whipple versieht das Foster'sche Pyrometer mit einem langen Rohr, das mit seinem geschlossenen Ende direkt an die heiße Stelle herangeführt wird. Er vermeidet hierdurch ebenfalls jede weitere Einstellung und macht außerdem die Angaben seines Instrumentes noch unabhängig von der Natur des Ofens, dem Material, dessen Temperatur bestimmt werden soll und dem Medium, das sich zwischen Ofen und Pyrometer befindet, und dessen Einfluß auf die Angaben des Pyrometers nicht zu gering veranschlagt werden darf.

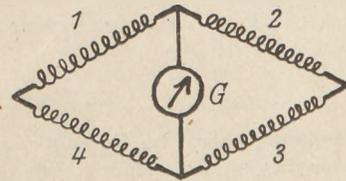


Fig. 5.

Bei dem Fery'schen Pyrometer und seinen verschiedenen Abarten muß die auffallende Wärmestrahlung durch Spiegel, Linsen oder andere optische Teile konzentriert werden; das Strahlungs-pyrometer von Hirschson hingegen entbehrt einer jeden Wärmestrahlen-sammelnden Einrichtung. Bei ihm findet das Bolometer Langley's in verbesserter Form Anwendung. Während bei diesem zwischen zwei benachbarte Zweige der Wheatstone'schen Brücke je eine feine Drahtspirale aus einem Metall von hohem Temperaturkoeffizienten eingeschaltet ist, sind bei dem Instrument von Hirschson (Fig. 5) alle vier Zweige (1, 2, 3, 4) der Brücke aus solchem Metall hergestellt. Es werden aber nur zwei gegenüberliegende Zweige (1 und 3 oder 2 und 4) der Erwärmung durch Strahlung ausgesetzt. In diesem Fall wirken die beiden Zweige einander unterstützend, so daß die Empfindlichkeit verdoppelt wird. Der Teil a des Pyrometers (Fig. 6) enthält das Bolometer, das aus vier kleinen Spiralen aus sehr dünnem Platindraht hergestellt ist. Die Zweige 1 und 3 werden von der durch das offene Rohr b in das Pyrometer gelangenden Strahlung getroffen, während die Zweige 2 und 4 vor dieser Strahlung durch das geschlossene Rohr c geschützt sind. Die durch die Erwärmung hervorgerufene Widerstandsänderung der bestrahlten Zweige 1 und 3 bedingt, wenn vorher

bei gleicher Temperatur der vier Zweige die Brücke stromlos war, nunmehr einen Ausschlag

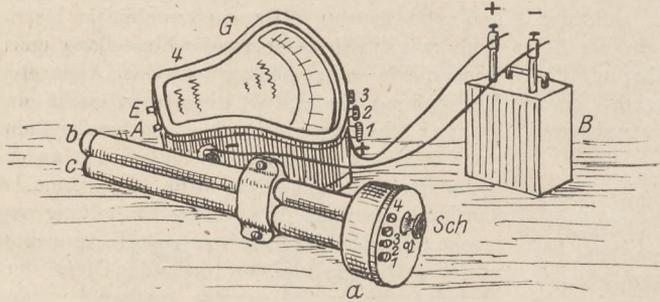


Fig. 6.

des Galvanometers *G*. Die Hilfsspannung für das Galvanometer liefert die Batterie *B*. Das Galvanometer besitzt zwei Anschlußklemmen (+ und -) für die Batterie und vier Anschlußklemmen (1, 2, 3, 4), von denen Drähte zu den

Klemmen 1, 2, 3, 4 des Pyrometers führen. Die Temperaturskala des Galvanometers kann, wie die des Fery-Pyrometers, ebenfalls für zwei Meßbereiche eingerichtet sein, die Ablesungen können automatisch registriert werden. Bis zu einem gewissen Grad ist das Pyrometer auch von der Entfernung der Strahlungsquelle unabhängig, sobald nur die strahlende Fläche einen gewissen, im Verhältnis zum Abstand stehenden Mindestdurchmesser hat. Genaueres über die Anwendbarkeit dieses Pyrometers in der Technik findet man bei

*G. Berndt, Untersuchung zweier Strahlungs-pyrometer*¹⁾.
K. Gentil, Thorn.

¹⁾ Mitteilung aus dem physik. Labor. d. opt. Anstalt C. P. Goerz, Berlin-Friedenau.

2. Forschungen und Ergebnisse.

Über den Äther. Im Gegensatz zu Einstein, der die Annahme eines Äthers mit dem Relativitätsprinzip nicht für vereinbar hält, treten andere Forscher neuerdings wieder sehr lebhaft für den Äther ein. Schon P. GERBER hatte, gestützt auf die Äthervorstellung, bereits 1902 die bis dahin unerklärte Bewegung des Perihels der Merkurbahn von 41'' in einem Jahrhundert auf Zeitverbrauch bei einer räumlichen Ausbreitung der Gravitation im Äther zurückgeführt und diese gleich der Lichtgeschwindigkeit gefunden¹⁾. Allerdings gelangte Einstein 12 Jahre später durch Annahme einer verallgemeinerten Gültigkeit des Relativitätsprinzips ohne Äther zu dem gleichen Wert für die Ausbreitung der Gravitationsfelder. Wie LENARD hervorhebt, beeinträchtigt dieses Ergebnis aber keineswegs die Bedeutung der aus dem Äthergedanken hervorgegangenen GERBERSchen Untersuchung²⁾. Er ist der Meinung, daß das Relativitätsprinzip den Äther nicht ausschließe; die vielfach hervorgetretene Abneigung gegen den Äther liege in der unvollkommenen Vorstellung über ihn. Man müsse einen der kinetischen Gastheorie analogen Äthermechanismus zu entwickeln und die Maxwell'schen Gleichungen aus ihm herzuleiten suchen. LENARD nimmt den Äther als räumlich diskontinuierlich, bewegt, durchdringlich an. Die Teile des Äthers bewegen sich mit Lichtgeschwindig-

keit und durchdringen einander; außerdem sind sie durch das Streben nach gleichmäßiger räumlicher Konzentration und geradester Bahn beherrscht. In diesem Äther befinden sich eine Anzahl diskreter Wirbelfäden, je einer von jedem negativen Elektron zum zugehörigen positiven Quant sich erstreckend; außerdem sind auch eine Anzahl geschlossener, von solchen Fäden abgesehnürter Wirbelringe vorhanden. Diese Wirbelfäden des Äthers machen die elektrischen Kräfte aus; ihre abgesehnürten Teile sind die elektrischen Wellen. Die Fortbewegung der Wirbelfäden erzeugt Querströmungen des Äthers, welche die magnetischen Kräfte darstellen. Die Stärke des Magnetfeldes beruht auf der Zahl der von der Querströmung ergriffenen Äthertheile. Die Materie besteht aus kreisenden Elektronen (Dynamiden), die selbst Ätherströme ergeben und von den Strömen anderer Dynamiden ergriffen werden. Die Dynamiden sind fähig, genügend schnell mit der Orientierung ihrer Strombahnen den einzelnen Ätherteilen zu folgen, die dann im Sinne der Anziehung wirken; die Gravitation wäre hiernach gewissermaßen das Resultat der magnetischen Kräfte der Einzeldynamiden.

Einen Hauptgrund gegen die Annahme eines Äthers bildete die aus dem Michelson'schen Spiegelversuch gezogene Folgerung, daß die Erde den Äther mit sich führen müßte, während dieses mit der Aberration des Sternenlichts nicht vereinbar sei. Doch haben Lorentz und E. Gehrcke (in Drudes Optik) gezeigt, daß die Stokes'sche Theorie der Aberration sich so modifizieren läßt, daß sie die Annahme eines mit der Erde

¹⁾ Progr. d. Realgymn. Stargard i. P. 1902; Ann. d. Physik 52, 415 (1917).

²⁾ Jahrbuch d. Radioaktivität u. Elektronik 15, 117 (1918).

mitbewegten Äthers zur Erklärung der Aberration gestattet¹⁾. Verschiedene Laboratoriumsversuche, wie der, daß strömendes Wasser einen hindurchgehenden Lichtstrahl nicht beeinflußt, würden allerdings gegen eine Mitführung des Äthers durch bewegte Körper sprechen. Es kann indessen doch sein, daß der Äther wohl von großen, sehr rasch bewegten Massen, wie die Erde, mitgeführt wird, nicht aber von kleineren Massen geringer Geschwindigkeit. Ein neuerer Versuch von Sagnac bestätigte die Nichtbewegung des Äthers bei langsam bewegten Massen²⁾. Eine Spiegelanordnung zur Erzeugung von Interferenzstreifen rotiert einschließlich der Lichtquelle auf einer Scheibe; dabei entsteht eine der Rotationsgeschwindigkeit proportionale Verschiebung der Interferenzstreifen. Diese müßte ausbleiben, wenn der Äther bei der Rotation mitgenommen würde. Der sehr lehrreiche Versuch macht eine absolute Rotation optisch nachweisbar. Gelänge es, den gleichen Versuch bei einer geradlinigen Bewegung auszuführen, so müßte er die von Michelson vergeblich gesuchte Verschiebung der Interferenzstreifen ergeben.

E. BUNDE ist der Meinung, daß die Schwierigkeiten in betreff des Äthers vielleicht darauf beruhen, daß man Störungen im Äther mit dem Äther selbst verwechselt³⁾. Die optischen Beobachtungen ließen nur Schlüsse zu auf Eigenschaften des elektromagnetischen Feldes, nicht aber auf das Substrat dieses Feldes, den Äther.

¹⁾ E. Gehrcke, Verh. d. Deutschen Phys. Ges. **20**, 165 (1918); **21**, 67 (1919).

²⁾ C. R. **157**, 708 (1913).

³⁾ Verh. d. Deutschen Phys. Ges. **21**, 125 (1919).

Auch L. ZEHNDER entwickelt eine besondere Äthertheorie¹⁾. Nach ihm besteht der Äther aus kleinsten Teilen, den Ätheratomen, die im Vergleich mit den Körperatomen sehr klein, aber, wie diese der Schwere unterworfen und vollkommen elastisch sind. Sie haben eine Eigengeschwindigkeit von der Größenordnung der Lichtgeschwindigkeit. Jedes Körperatom hat seine, aus zusammengepreßten Ätheratomen bestehende Ätherhülle, ebenso jedes Molekül, jeder Körper. Die Ätherhülle der Erde bewirkt das negative Ergebnis des Michelsonschen Versuchs. Durch den äußeren Ätherdruck ist der Äther dieser Hüllen so stark zusammengepreßt, daß er sich wie ein fester oder flüssiger Körper verhält. Im Äther gibt es Räume, in denen die Ätheratome größere oder kleinere Geschwindigkeit haben als in ihrer Umgebung. Daraus ergibt sich die Elektrizität als „Wärme des Äthers“, das Licht als „Schall im Äther“, das elektrische Potential als „Temperatur des Äthers“. Das Elektron wäre eine große Anzahl von Ätheratomen mit vergrößerter „Wärme“; es hat eine „scheinbare Masse“, die um so größer ist, je schneller sich das Elektron bewegt. Das Wasserstoffatom besteht aus einem kugelförmigen elastischen Atomkern und der Ätherhülle. Die Eigenschwingungen der letzteren bilden die Spektrallinien der Balmerreihe; hierbei auftretende Schwebungen langwelligere Spektrallinien. Je größer das Atomgewicht eines Elementes ist, um so verwickelter werden die Spektralserien, die aber immer eine gewisse Ähnlichkeit mit der einfachen Wasserstoffserie haben werden. Schk.

¹⁾ Verh. d. Deutschen Phys. Ges. **21**, 118 (1919).

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Quantitatives über Kathodenstrahlen aller Geschwindigkeiten. Von P. LENARD. Abh. d. Heidelb. Akad. d. Wissensch. Math.-Naturw. Klasse, 5. Abh. 1918. 266 S. 7 Kurventafeln. 4 Textabb.

In der vorliegenden umfangreichen Arbeit gibt der Verf. eine einheitliche und präzise Zusammenstellung aller wohldefinierten quantitativen Daten über die Kathodenstrahlen auf Grund einer systematischen Bearbeitung der gesamten Literatur des Gebietes. Daß für eine solche zusammenfassende Darstellung ein wirkliches Bedürfnis besteht, zeigt der Umstand, daß die zahlenmäßigen Ergebnisse der Messungen an Kathodenstrahlen in physikalischen Tabellen im allgemeinen ungebührlich vernachlässigt sind. So ist z. B. in dem umfangreichen Tabellenwerk von Landolt und Börnstein (1912) nicht das

mindeste über Absorption, Sekundärstrahlung und Geschwindigkeitsverlust von Kathodenstrahlen zu finden, obwohl darüber teilweise Daten vorliegen, die von anderen aufgenommenen an Brauchbarkeit nicht übertroffen werden. Von wirklichem Nutzen konnte aber bei dem gegenwärtigen Stand der Kenntnisse nur eine kritische Darstellung sein, da nach Ansicht des Verf.'s in der Literatur über die Kathodenstrahlen sich vielfach Irrtümer eingeschlichen haben, die zum Teil auf unscharfe Begriffsbildungen und Definitionen, zum Teil auf hartnäckig übersehene prinzipielle Beobachtungsfehler zurückzuführen sind.

In einem allgemeinen Teil (S. 18—46) wird zunächst die scharfe Kritik, die der Verf. an vielen Arbeiten glaubte üben zu müssen, im Umriss begründet. Insbesondere die Arbeiten über Absorption haben unter Beobachtungsfehlern (Rein-

heitsfehler der Auffangevorrichtung, irrige Annahmen über die Inhomogenität der Strahlung usw.) gelitten. Doch finden sich auch Fehlschlüsse in bezug auf Geschwindigkeitsverluste und Sekundärstrahlung. Bei der Darstellung des Absorptionsvorganges selbst vermißt man sogar in maßgebenden Werken oft eine scharfe Festsetzung der grundlegenden Begriffe. Der Verf. tritt für die Definition der Intensität der Kathodenstrahlen als der Elektronenzahl pro sek. und cm^2 (nicht ihrer Energie pro sek. und cm^2) ein. Dann gilt in erster Annäherung für die Abnahme der Strahlintensität bei zunehmender Schichtdicke ein Exponentialgesetz. Über das Wesen der Absorption wird dann die vom Verf. schon 1894–1903 entwickelte Theorie zugrunde gelegt, deren wesentlicher Zug die Plötzlichkeit der Ausschaltung eines Elektrons aus dem Strahl beim Auftreffen auf den absorbierenden Querschnitt ist. Scharf hiervon geschieden werden die Vorgänge der Diffusion und Reflexion, die von verschiedenen Autoren fälschlich neben den Geschwindigkeitsverlusten als eigentliche Ursache der Absorption angesehen werden.

In dem Speziellen Teil (S. 49–248) wird dann im einzelnen ausführlich behandelt: 1. Der Geschwindigkeitsverlust der Kathodenstrahlen in Abhängigkeit von der Dicke der Schicht des durchstrahlten Mediums. 2. Die „Grenzdicke“, d. h. die Schichtdicke des Mediums, welche die Strahlggeschwindigkeit auf Null reduziert. 3. Die Absorption. 4. Der Intensitätsabfall. 5. Die Sekundärstrahlung. 6. Die Energieverhältnisse bei Absorption, Sekundärstrahlung und bei dem Grundvorgang, dem Zusammentreffen eines bewegten Elektrons mit einem Atom und 7. Die Diffusion und die damit verwandten Erscheinungen der „Rückdiffusion“ und der Reflexion. Überall wird besonderer Nachdruck auf eine scharfe Definition der Begriffe und Trennung der oft sehr komplexen Vorgänge in ihre Einzelbestandteile gelegt. Die Ergebnisse werden in Tabellen und Kurventafeln so niedergelegt, daß aus ihnen die bei Berücksichtigung aller dem Verf. einwandfrei erscheinenden Beobachtungen sich ergebenden wahrscheinlichsten Werte entnommen werden können. Formelmäßige Darstellungen werden zwar, soweit sie bereits bestehen, auch angeführt, aber nicht als maßgebend betrachtet, um nicht den Anschein zu erwecken, als sei das Gebiet theoretisch erschlossen, dessen zahlenmäßige Grundlagen noch nicht einmal kritisch gesichtet sind.

Um das geschlossene Bild, das der Verf. angestrebt hat, von dem zahlenmäßig gesicherten Bestande unserer Kenntnisse von den Kathodenstrahlen zu gewinnen, mußte eine kritische Bewertung der sich oftmals widersprechenden Ar-

beiten und vielfach eine Umrechnung der Angaben der Autoren erfolgen. Daß dieses Vorgehen auf manchen Widerspruch stoßen wird, ist zu erwarten. Trotzdem wird die sehr verdienstvolle Zusammenstellung aller vorhandenen Daten unter einem bestimmten, wenn auch subjektiven Gesichtswinkel bei allen kommenden Diskussionen einen überaus wertvollen Ausgangspunkt bilden.

F. Hoffmann.

Das Auge und die Brille. Von M. v. ROHR.
Zweite Auflage. 105 S. 84 Abb. Leipzig,
B. G. Teubner, 1918. M. 1,20, geb. 1,50.

(Aus Natur u. Geisteswelt, Bd. 372.)

Die Brillenkunde ist ein Wissensgebiet von großer praktischer Bedeutung, das aber lange Zeit hindurch selbst in Fachkreisen keine genügende Pflege gehabt hat. Kein Wunder, daß in weiteren Kreisen recht verkehrte Ansichten verbreitet sind. Es ist also sehr zu begrüßen, daß einer der besten Kenner sich bereit gefunden hat, eine Darstellung zu geben, die ohne besondere Anstrengung mit etwas Aufmerksamkeit von jedermann aufgefaßt werden kann. Gegen die erste Auflage besteht der Unterschied wesentlich nur in der Ersetzung vieler Fremdworte durch deutsche Bezeichnungen. Ein Unbesonnener kann dabei Schaden anrichten, es ist selbstverständlich, daß ein Mann wie der Verfasser in solche Gefahr nicht gerät, im Gegenteil hat durch glücklich gewählte Verdeutschungen die Anschaulichkeit der Darstellung mehrfach gewonnen. Die Anschaffung des Büchleins sei dringend empfohlen! Der Physiklehrer wird daraus erkennen, daß manches im Unterricht anders dargestellt werden muß, als es herkömmlich ist. W. Vn.

Angewandte Elektrizitätslehre. Ein Leitfadener für das elektrische und elektrotechnische Praktikum von Prof. Dr. PAUL EVERSCHEIM, Privatdozent für angewandte Physik an der Universität Bonn. Mit 215 Textfiguren. VIII und 214 Seiten. Berlin, Julius Springer, 1916. M. 8,—, gebunden M. 9,—.

Das Werk ist besonders für Hochschulpraktika bestimmt und wendet sich „an Studierende der Universitäten sowie an solche, die etwa am Beginne ihrer technischen Studien stehen“, will aber auch für diejenigen von Nutzen sein, die „bei Ausübung ihres Berufes genötigt sind, kleinere Anlagen zu errichten und zu leiten“. Das dürften in erster Linie die Vertreter des physikalischen Unterrichts an den höheren Lehranstalten sein, und in der Tat bietet ihnen das Buch viele schätzenswerte Anregungen für Praktikumsaufgaben, sowie für die Beschaffung und Benutzung von Apparaten und Maschinen. Der in drei Teile gegliederte Inhalt umfaßt den Gleichstrom, den Wechselstrom, den Magnetismus, die Akkumula-

toren und die Photometrie; Elektrostatik und elektrische Schwingungen werden also nicht behandelt, und auch in den behandelten Kapiteln wird man manches nicht finden, was der Titel erwarten lassen könnte: ein Nachschlagewerk ist es nicht. Dafür verschafft aber das Gebotene dem Leser Genuß und Gewinn genug durch den angenehmen Fluß der Sprache, die Durchsichtigkeit der Gedanken und die guten und zahlreichen Abbildungen. An besonderen Kenntnissen wird fast nichts vorausgesetzt, vielmehr werden die Grundgesetze in allen Kapiteln kurz entwickelt. Besonders eingehend und anziehend sind die Übungen an Dynamos und Elektromotoren, sowie an den Antriebsmaschinen der ersteren besprochen: Der Leser erkennt aus den berechneten Nutzeffekten deutlich, welche großen Fortschritte Wissenschaft und Technik in den letzten Jahrzehnten gemacht haben. Dem Werke wäre für eine hoffentlich baldige Neuauflage eine Erweiterung in dem oben angedeuteten Sinne zu wünschen.
F. Hochheim.

Aus eigener Kraft. Bilder von deutscher Technik und Arbeit. Von CARL WEIHE. Für die reifere Jugend. 139 Seiten, 20 Abbildungen. Leipzig und Berlin, B. G. Teubner, 1919. Kart. M. 3,60, geb. 4,60.

In dem vorliegenden Bändchen schildert der Verfasser, wie es uns durch erstaunliche Anpassung der Technik an neue Aufgaben und durch die Arbeit hervorragender Erfinder möglich war, über vier Jahre lang trotz des Ausfalles wichtigster Rohstoffe nicht nur den Bedarf des Volkes, sondern auch den unerhörten Aufwand des Weltkrieges zu decken. Die Eigenschaften verschiedener Eisensorten, ihre Gewinnung und Bearbeitung, Luftschiffahrt, Salpeter aus Luft, Geschütze, Geschosse, Sprengstoffe, Ernährung, Kleidung, Kohle, Wasserkraft, Gliederung einer Riesenfabrik, Papiergeld, Golddeckung und noch vielerlei wird geschildert und durch gute Bilder aus der großen Technik veranschaulicht. Den zusammenhaltenden Rahmen bildet die Erzählung der Erlebnisse von Mitgliedern einer Familie, die mit dem Geschilderten in Berührung kommen. Im Entwurf erfüllt das Buch, was das Vorwort verspricht, wenn es sagt: „Vielleicht bringt es in der Art der Darstellung Beachtenswertes“. Aber die Ausführung im einzelnen leidet schwer unter dem Mißverhältnis des überreichen Stoffes

zum knappen Raum. Es kommt ein überhasteter Stil zustande, der beunruhigend wie das flimmernde Lichtbild den Leser weiter hetzt. Sätze sind dem Verfasser entschlüpft, die er bei etwas mehr innerer Ruhe nicht hätte stehen lassen. Aber einige Seiten zeigen doch, was WEIHE aus dem Stoff machen kann, wenn er sich nicht hetzen läßt. Möge er, der für die Gefühlswerte der Technik so feines Verständnis hat, nochmals versuchen, zur deutschen Jugend zu reden, und wenn ihm dann wieder der Stoff unter den Händen zu sehr anschwillt, in Dritteln geben, was in ungeteilter Gabe zu viel wird.
W. Vn.

Lehrbuch der Experimentalphysik für höhere Lehranstalten. Von Dr. WILHELM DONLE. 9. und 10. verb. Auflage. Mit 464 Abb. im Text, 1 Spektraltafel, 620 Aufgaben und zahlreichen Übungen für das Schülerpraktikum. Stuttgart, Fr. Grub, 1918. Geb. M. 4,80 einschl. Teuerungszuschlag.

Das bewährte Lehrbuch bringt in der neuen Auflage eine ganze Reihe von neu aufgenommenen Gegenständen wie Kreiselbewegung, Dampfturbinen u. a. m., ist aber in allem Wesentlichen unverändert geblieben. Die hauptsächlich durch Rechnung zu lösenden Aufgaben sind geschickt zusammengestellt, den „Übungen“ für das Praktikum sind zumeist keine Vorschriften für die Ausführung beigegeben, was auch in einem Lehrbuch das Angemessenste sein dürfte.
P.

Vorschule der Physik. Von Prof. Dr. PAUL SPIES. Ausgabe B (ohne Anhang „Chemie“). Mit 269 Abb. und 1 Spektraltafel. 192 S. Berlin, Vinckelmann u. Söhne, 1919.

Die bisherige „Elementarphysik“ von HERMES und SPIES war ein Auszug aus dem größeren „Grundriß der Experimentalphysik“ von JOCHMANN, HERMES und SPIES, und litt an den Übelständen, die ein solcher bloßer Auszug zu haben pflegt. Der Verfasser hat sich daher entschlossen, für den Anfangsunterricht, im besonderen in den Mittelklassen höherer Schulen, das vorliegende Hilfsbuch ganz neu zu schreiben. Er hat sich dabei die mancherlei Fortschritte der Methodik und der Illustration, die andere neuere Leitfäden für den gleichen Zweck zeigen, zunutze gemacht. Die Auswahl des Stoffes entspricht dem Zweck des Buches, das sich sicher Freunde gewinnen wird. — Eine Ausgabe A mit Anhang „Chemie“ ist gleichfalls erschienen.
P.

Korrespondenz.

In dem Aufsatz von H. SCHÜEPP, „Dynamik der Seilwellen“ im 4. Heft d. Jahrgangs ist bei Fig. 7 auf S. 112 als Erklärung hinzuzufügen:

$$\begin{aligned}n_1 &= 0,17157 & L' &= L'' \\n_2 &= 3 & -k' &= k'' \\n_3 &= 5,8284 & L' &= L''.\end{aligned}$$

Himmelserscheinungen im Oktober und November 1919.

12h = Mittag, 0h und 24h = Mitternacht. (MEZ = Berliner Zeit + 6m.)

MEZ 12h	Oktober						November						
	3	8	13	18	23	28	2	7	12	17	22	27	
♄ {	AR	12h 52m	13.23	13.52	14.21	14.50	15.19	15.47	16.14	16.39	16.58	17.7	17.0
	D	— 5 ^o	— 8	— 12	— 15	— 18	— 20	— 22	— 24	— 25	— 25	— 25	— 23
♀ {	AR	10h 41m	10.44	10.50	10.59	11.10	11.23	11.38	11.54	12.11	12.29	12.48	13.7
	D	2 ^o	3	3	3	3	3	2	1	0	— 2	— 3	— 5
☉ {	AR	12h 34m	12.52	13.10	13.29	13.48	14.7	14.26	14.46	15.6	15.26	15.48	16.9
	D	— 3,7 ^o	— 5,6	— 7,5	— 9,3	— 11,1	— 12,9	— 14,5	— 16,1	— 17,5	— 18,8	— 20,0	— 21,0
♂ {	AR	9h 54m	10.6	10.18	10.30	10.41	10.52	11.3	11.14	11.25	11.36	11.46	11.56
	D	14 ^o	13	12	11	10	9	8	7	5	4	3	2
♃ {	AR		9h 3m		9.9		9.14		9.18		9.21		9.23
	D		17 ^o		17		17		16		16		16
♅ {	AR	10h 35m						10.46					
	D	11 ^o						9					
Sternzeit ¹⁾	12h 44m	13.4.	13.23.	13.43.	14.3.	14.22.	14.42.	15.2.	15.22.	15.41.	16.1.	16.21.	
Zeitgl.	24s	6	49	32	15	57	40	23	6	49	32	14	
	— 10m 39s	— 12.9	— 13.29	— 14.37	— 15.28	— 16.3	— 16.20	— 16.17	— 15.53	— 15.7	— 14.1	— 12.34	
Breite von Berlin. Ortszeit. Mittelpunkt von ☉ und ☾													
☉ Aufg.	6h 4m	6.13	6.22	6.31	6.40	6.49	6.58	7.8	7.17	7.26	7.35	7.43	
	17h 33m	17.22	17.10	16.59	16.49	16.38	16.28	16.19	16.11	16.4	15.57	15.52	
☾ Aufg.	14h 30m	16.34	19.46	0.27	6.16	11.11	13.48	15.58	21.0	1.52	7.19	11.1	
	23h 37m	4.38	11.16	14.35	16.21	19.24	—	6.14	11.39	13.44	15.52	20.19	

¹⁾ Im Stargarder Meridian.

Venus im größten Glanz als Morgenstern: Oktober 20.

Mondphasen MEZ	Neumond		Erstes Viertel		Vollmond		Letztes Viertel	
	Sept. 24 ^d	5h 34m	Okt. 2 ^d	9h 37m	Okt. 9 ^d	14h 39m	Okt. 16 ^d	6h 5m
	Okt. 23 ^d	21h 40m	Nov. 1 ^d	2h 43m	Nov. 8 ^d	0h 35m	Nov. 14 ^d	16h 41m
	Nov. 22 ^d	16h 20m	Nov. 30 ^d	17h 47m	Dez. 7 ^d	11h 4m		

Der Mond tritt an folgenden Tagen (MEZ) in die abgerundeten Sternbilder des Tierkreises:

Sternbild	W	S	Z	K	L	J	Wg	Sp	Sz	Sb	Ws	Fs
Länge	25 ^o	55 ^o	85 ^o	115 ^o	145 ^o	175 ^o	205 ^o	235 ^o	265 ^o	295 ^o	325 ^o	355 ^o
Sept.							28	1		3	6	8
Okt.	10	12	14	16	18	21	23	26	28	31	2	4
Nov.	6	8	10	12	14	17	19	22	24	27	29	2

Tägliches Erscheinen und Verschwinden der Planeten. Ortszeit. Breite von Berlin.

Tag	♀ Dämm. Stufe 6 $\frac{1}{2}$ ^o		♂ (11 ^o) L		♃ (10 ^o) K		♅ (11 ^o) L	
	Morgenstern		vorm.		vorm. nachm. . vorm.		vorm. nachm. vorm.	
IX 18	(IX 21, 5,1 ^b)		A 1,9	D 4,5	A 1,3 v	D 4,6	A 3,7 v	D 4,5
X 8	A 3,4h	D 5,6h	A 1,8	D 5,1	A 0,3 v	D 5,2	A 2,6 v	D 5,1
28	A 2,7h	D 6,2h	A 1,7	D 5,6	A 11,3 n	D 5,8	A 1,5 v	D 5,6
XI 17	A 2,9h	D 6,7h	A 1,5	D 6,2	A 10,1 n	D 6,3	A 0,3 v	D 6,2
XII 7	A 3,5h	D 7,2h	A 1,2	D 6,6	A 8,8 n	D 6,8	A 11,1 n	D 6,6

♄ bleibt unsichtbar
A = Aufgang
U = Untergang
D = Dämmerung
M. Koppe.

Nachdruck nur mit Quellenangabe und mit Genehmigung der Verlagshandlung gestattet.