

# Zeitschrift

für den

## Physikalischen und Chemischen Unterricht.

XXXIX. Jahrgang.

1926.

Drittes Heft.

### Zwei Versuche zur Demonstration des freien Falles.

Von Dr. Heinrich Homann in Göttingen.

In seiner Vorlesung über Experimentalphysik führt Prof. POHL einen Versuch vor, der in überraschend einfacher Weise das Fallgesetz zeigt (Fig. 1). Als Fallkörper dient ein mit Fließpapier umwickelter Holzstab. Unmittelbar neben ihm steht ein Motor, der auf seiner senkrecht gestellten Achse einen Tintenbehälter mit einer feinen seitlichen Düse trägt. Rotiert die Achse, so spritzt aus dieser Düse wagerecht ein feiner Tintenstrahl heraus, der sich entsprechend der Tourenzahl des Motors im Kreise herum bewegt. Im Versuch beträgt diese 50 in einer Sekunde. Durch den rotierenden Tintenstrahl fällt der Holzstab hindurch. Während jeder Umdrehung passiert der Strahl den Stab und zeichnet eine Marke auf. Der Abstand von Marke zu Marke ist die Fallstrecke in  $\frac{1}{50}$  Sekunde, die sich auf dem Fließpapier leicht mit dem Zirkel abmessen läßt.

Das Grundsätzliche bei diesem Versuch ist der reibungslose freie Fall und die reibungslose Aufzeichnung der Fallstrecken durch den „Tintenzeiger“. Vor dem Fallversuch, bei dem ein reibungsloser Lichtzeiger die Schwingungen einer Stimmgabel auf eine fallende photographische Platte aufzeichnet, hat der Versuch voraus, daß seine Anordnung bei weitem einfacher und übersichtlicher ist.

Meine Absicht war, diesen Versuch so abzuändern, daß er auch mit den geringen Mitteln der Schule auszuführen ist. Der freie reibungslose Fall und der Tintenzeiger mußten dazu als grundsätzlich beibehalten werden. Es sollte nur die verhältnismäßig kostspielige Apparatur, Motor und Tourenzähler, ausgeschaltet sein. Als einfachster Weg erwies sich dazu, den Tintenzeiger festzuhalten und die Rotation in den Fallkörper zu legen. Damit ergibt sich als

Form für den Fallkörper von selbst die eines Zylinders. Die Rotation wird in sehr einfacher Weise erzielt. Der an einem tordierten Doppelfaden aufgehängte Zylinder beginnt, sich selbst überlassen, zu rotieren. Diese Rotation ist beschleunigt. Die Beschleunigung hört aber auf, wenn das Drehmoment fortfällt, und dies tritt ein, wenn der Körper von seiner Aufhängevorrichtung gelöst wird und zu fallen anfängt. Er fällt dann rotierend an einem festen Tintenstrahl vorbei, den eine Spritzflasche liefert. Auf dem Fließpapier, mit dem der Zylinder umklebt ist, zeichnet sich lückenlos der Fallweg in Form einer Wurfparabel auf.

Für die Ausführung des Versuches sind drei Dinge nötig: ein bifilar aufgehängter,  
u. XXXIX.

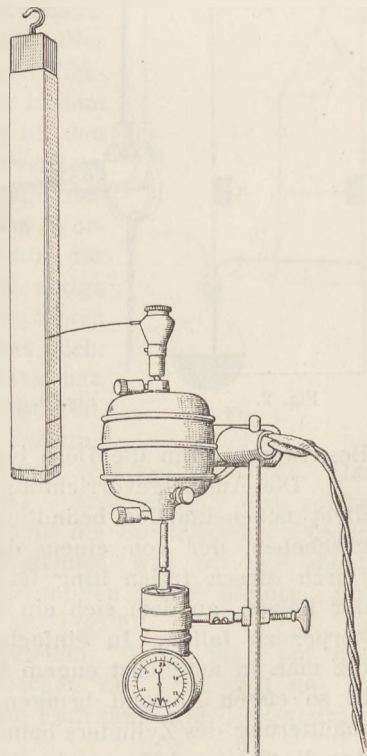


Fig. 1.

mit Fließpapier umklebter Zylinder; eine Spritzflasche; eine Aufhängevorrichtung, die erlaubt, den Zylinder während der Rotation fallen zu lassen.

Als Fallkörper kann im einfachsten Falle eine Konservenbüchse dienen. Es kommt weniger auf den Durchmesser als auf die Länge dieses Körpers an, um eine möglichst lange Fallstrecke aufzuzeichnen. Ich benutzte für meine Versuche einen Blechzylinder von 13,5 cm Durchmesser und 35 cm Höhe (Fig. 2). An einem Ende sind einander gegenüber und parallel zum Umfang der Trommel 2 Messingbänder angelötet, die etwa 2 cm lang sind. An ihnen sind die Enden einer 1,20 m langen Schnur befestigt. Diese Bänder gestatten ein Verschieben der Schnur an dem Zylinder. Man kann den Zylinder so vor dem Versuch ausbalancieren. Würde man die Schnur

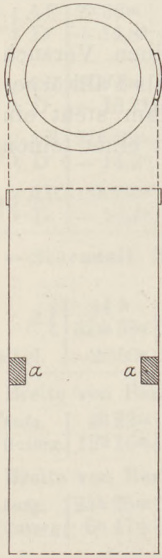


Fig. 2.

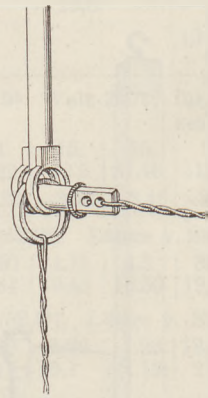


Fig. 3.

an zwei gegenüberliegenden Durchbohrungen befestigen, so müßten diese genau diametral gegenüberliegen. Das ist aber bei einem nicht auf der Drehbank gearbeiteten Zylinder nur mit Schwierigkeiten zu erreichen. Damit der Zylinder während des Fallens möglichst stabil um seine Längsachse rotiert, habe ich die Längsachse zur Achse

des größten Trägheitsmomentes gemacht. Aus diesem Grunde ist in der Mitte des Zylinders ein Bleiring  $a$  von  $1,0 \times 1,5$  cm Querschnitt befestigt. An sich liegt der Gedanke nahe, einen gedrehten Holzzylinder zu nehmen, da theoretisch auch eine Rotation um seine Längsachse (die Achse des kleinsten Trägheitsmomentes) stabil ist. In Wirklichkeit tritt aber infolge unvermeidbarer Asymmetrien sehr bald ein Schlagen des Zylinders ein. Die Fallstrecke, die aufgezeichnet wird, entspricht der Länge des Zylinders. Begnügt man sich bei einfacher Ausführung des Versuches mit einer Konservendose, so legt man um das eine Ende einen Bindfaden, an dem man die beiden Enden der Schnur befestigt. Auf diese Weise wird auch die Möglichkeit zum Ausbalancieren erlangt. Zum

Beschweren kann die Dose bis zu  $\frac{1}{3}$  mit Sand gefüllt werden.

Die Aufhängevorrichtung zeigt Fig. 3. Sie besteht aus einem Halter, der zwei dicht nebeneinander befindliche Ringe trägt. Zwischen diese wird ein dritter Ring geschoben, der von einem durch die drei Ringe gesteckten Bolzen gehalten wird. Durch diesen freien Ring ist die Schnur gezogen, die den Fallzylinder hält. Wird der Bolzen, an dem sich ein Bindfaden befindet, herausgerissen, so beginnt der Fallkörper zu fallen. In einfacherer Weise nimmt man statt des Halters zwei Haken, die man in möglichst engem Abstand in ein Brett dreht. Diese kann man aber nicht in so engen Abstand bringen, wie die in Fig. 3 gezeichneten Ringe. Um eine Erschütterung des Zylinders beim Auslösen zu vermeiden, schiebt man vorher den Ring, der die Schnur hält, an den Haken heran, an dessen Seite sich der zum Herausreißen dienende Bindfaden befindet. Der Bolzen kann durch einen Nagel ersetzt werden.

Der Tintenzeiger wird von einer Spritzflasche geliefert. Die Düse muß sehr eng sein, damit ein möglichst feiner Strahl entsteht. Die besten Resultate bekam ich bei einer Düsenöffnung von etwa 0,3 mm. Enger kann man sie nicht machen, da sonst das Blasen zu große Schwierigkeiten bereitet. Zwischen Düse und Spritzflasche schaltet man am besten ein kurzes Stück Gummischlauch, damit die Düse unabhängig von der Flasche eingestellt werden kann. Das Einblasrohr der Spritzflasche versieht man mit einem 1 m langen Schlauch, um während des Blasens Spielraum zu haben. Da eine so feine Düse leicht abbricht, wenn sie mit dem fallenden Zylinder einmal in Berührung kommen sollte, schützt man sie durch ein darüber geschobenes weiteres Glasrohr. Dieses Glasrohr, das die Düse um etwa 1 mm überragen kann, befestigt



man durch ein kurzes Stück Gummischlauch. Selbst wenn der Zylinder ziemlich stark gegen dieses Glasrohr schlug, ist mir die Düse niemals abgebrochen. Das Fließpapier muß den Tintenstrahl aufnehmen, bevor er in Tropfen zerfällt, da es sonst keine glatte Linie, sondern eine Reihe von dicken Klecksen gibt. Über die färbende Flüssigkeit ist wenig zu sagen. Am einfachsten ist die Lösung eines Farbstoffes in Wasser. Tinte hat den Vorzug, daß man die Gläser leicht wieder reinigen kann, wenn dies vor dem Festwerden der Tinte geschieht.

Zum Versuch selbst hängt man den sorgfältig mit Fließpapier umklebten Zylinder in der oben beschriebenen Weise so auf, daß er um etwas mehr als seine Länge fallen kann (Fig. 4). Den Haltering schiebt man an den Haken heran, an dessen Seite sich die zum Auslösen dienende Schnur befindet. Unter den Zylinder wird ein weicher Gegenstand (Tuch oder etwas ähnliches) gelegt, um den Stoß beim Auftreffen zu dämpfen. Die Spritzflasche und die Düse befestigt man mit zwei Haltern an einem Bunsenstativ und schiebt dieses so nahe heran, daß sich die Düse in einem Abstände von etwa 1 cm von der unteren Kante des Zylinders befindet. Der Zylinder ist gut auszubalancieren, um eine Drehung ohne Schlagen zu erzielen. Dies geschieht in 2 wagrechten, aufeinander selbst senkrechten Richtungen; und zwar einmal durch Verschieben der Schnur in dem Haltering, und zweitens durch Verschieben der Schnur an den beiden Bändern des Zylinders, oder bei einer Konservendose an dem um sie gelegten Bindfaden. Die senkrechte Lage des Zylinders wird mit einem Lot geprüft. Nach diesen Vorbereitungen wird die Doppelschnur tordiert. Die Anzahl der Umdrehungen, die nötig sind, um dem Zylinder die nötige Umdrehungsgeschwindigkeit zu geben, probiert man am besten vor dem endgültigen Versuche aus. Die Zahl ändert sich, wenn man die Schnur zu verschiedenen Versuchen benutzt hat. Jetzt läßt man den Zylinder los, und er beginnt zu rotieren. Bei den ersten Umdrehungen gibt man ihm etwas Führung mit der Hand, da ein Pendeln beim Loslassen ein Schlagen verursachen würde. Hat er eine genügende Geschwindigkeit erreicht — am besten erschien mir eine solche von einer Umdrehung in der Sekunde —, so bläst man in die Spritzflasche. Sobald der Strahl sich geschlossen auf dem Fließpapier aufzeichnet, was bei der engen Düse immer einige Sekunden dauert, reißt man den haltenden Nagel heraus. Auf dem fallenden Zylinder zeichnet sich die Wurfparabel ab (Fig. 5).

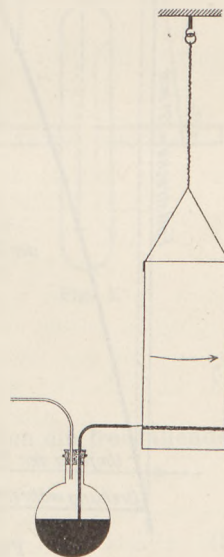


Fig. 4.

Der Versuch erlaubt, das Fallgesetz formal abzuleiten. Trägt man auf der X-Achse vom Anfangspunkt der Parabel beliebige Strecken ab, etwa je 1 cm, so zeigt die Kurve, daß sich die zu den Strecken gehörigen Fallräume wie die Quadrate dieser Strecken verhalten.

Meine Absicht war, auch noch eine Zeitmessung in diesen Versuch einzuführen. Hierfür bestehen verschiedene Möglichkeiten. Um den Versuch nicht wieder verwickelter zu machen, benutzte ich eine Stoppuhr, die  $\frac{1}{10}$  Sek. anzeigte. Wenn der Zylinder eine Umdrehungsgeschwindigkeit von etwa einer Sekunde hatte, stoppte ich eine Umdrehung ab und riß unmittelbar nach dem Anhalten der Uhr den Nagel heraus. Für einen Beobachter allein gehört einige Übung dazu, um alle drei Tätigkeiten: Anblasen, Abstoppen und Herausreißen, zugleich auszuüben. Nach 4 bis 5 Versuchen gelingt es aber sehr gut.

Als Beispiel führe ich das Ergebnis eines Versuches an, dessen Kurve in Fig. 5 dargestellt ist. Der Übergang von der Geraden zur Parabel ist derart unmerklich, daß man den Anfangspunkt für eine Berechnung am besten extrapoliert. Man stellt die Punkte der Parabel fest, die den Fallstrecken 25, 16, 9, 4 und 1 cm entsprechen.

Fällt man von ihnen die Lote auf die  $X$ -Achse, so bekommt man auf ihr gleichlange Strecken, aus denen sich der Punkt der Parabel, der der Fallstrecke  $O$  entspricht, also ihr Anfangspunkt, extrapolieren läßt.

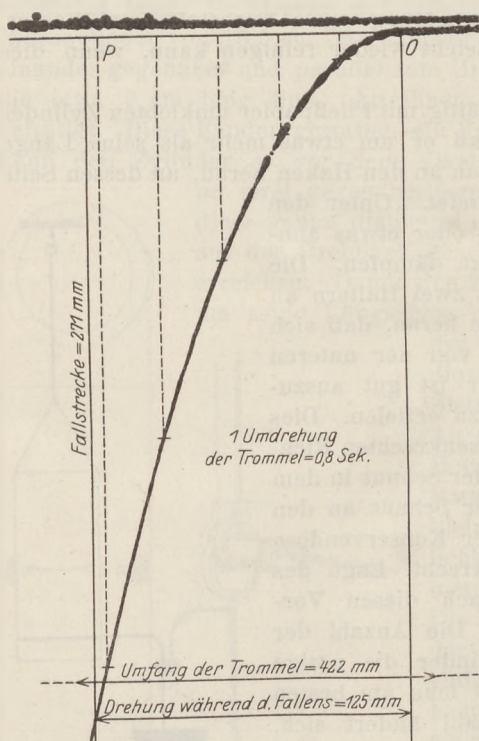


Fig. 5.

Dann fällt man das Lot von einem Punkte der Kurve, der einer möglichst großen Fallstrecke entspricht, auf die  $X$ -Achse. Der Fußpunkt sei  $P$ , der Anfangspunkt der Parabel sei  $O$ . Um die Strecke  $OP = 125 \text{ mm}$  hat sich der Zylinder während des Falles gedreht. Sein ganzer Umfang, der an dem aufgeschnittenen Fließpapier gemessen wird, ist  $422 \text{ mm}$ , die Umdrehungszeit war  $0,8 \text{ Sek.}$ . Daraus ergibt sich eine Fallzeit von  $0,24 \text{ Sek.}$  Die angenommene Fallstrecke ist  $271 \text{ mm}$ . Für  $g$  ergibt sich daraus  $964 \text{ cm.}$

Der Hauptwert dieses Versuches besteht meines Erachtens in der Einfachheit der Mittel und der Anordnung, die erlaubt, das Fallgesetz formal abzuleiten. Für die quantitative Messung gibt es eine Anzahl von Versuchen, zu denen man greifen wird, wenn es auf die genaue Feststellung des Wertes von  $g$  ankommt. In diesem Versuch läßt sich  $g$  nur mit einer gewissen Annäherung bestimmen, weil die Zeitmessung für die verhältnismäßig kurze Fallstrecke zu grob ist. Fehler von  $0,1 \text{ Sek.}$  in der Messung ergeben für  $g$  Abweichungen bis zu  $25\%$ . Führt man eine feine Zeitmessungsmethode ein, etwa die mit intermittierendem Licht, so wird der Versuch

wieder zu kompliziert. Stehen aber die Mittel für eine so genaue Zeitmessung, in erster Linie Tourenzähler, zur Verfügung, so läßt sich der Versuch leicht in der von Prof. POHL angegebenen Weise ausführen.

Göttingen, I. Physikalisches Institut der Universität. August 1925.

## Der Maxwell'sche Schwungradversuch in messender Behandlung, eine Anwendung des ihm zugrunde liegenden Prinzips auf die Pendelbewegung und eine neue Pendelaufhängung<sup>1)</sup>.

Von Prof. Dr. Paul Werner in Iglau.

Zur Ausführung des Maxwell'schen Schwungradversuches hat sich folgende Anordnung praktisch erwiesen. Auf die Achse eines Kreiselkörpers von großem Trägheitsmoment werden unter starker Reibung zwei Messingrohre aufgezogen. Sie werden so gerichtet, daß die darin befindlichen Löcher  $l_1$  und  $l_2$  (Fig. 1) nicht gegeneinander verdreht sind. Durch diese Löcher sind die Enden einer etwa  $2 \text{ m}$  langen Schnur gezogen und innen an einen als Widerlager dienenden Nagel geknotet. Die Schnur ist aus zwei- bis dreifach genommenem, dünnen festen, aber nicht steifen und nicht untereinander verdrehten Garn gebildet. In den horizontalen Balken eines hölzernen Rahmenstativs sind zwei Holzschrauben  $s_1$  und  $s_2$  eingeschraubt, deren Abstand etwas geringer ist als der der Löcher  $l_1$  und  $l_2$ , damit sich die Schnur glatt auf-

<sup>1)</sup> Vgl. diese Zeitschr. 7, 162; 35, 270; 35, 17.



wickelt. Um diese Schrauben wird die Schnur, wie aus der Figur ersichtlich, gewunden und dadurch die Achse des Rades horizontal gestellt. Die feine Einstellung kann durch Verdrehen der Schrauben geschehen. Ein gut aufgehängtes Schwungrad bleibt bei 80 cm Falltiefe über eine  $\frac{1}{4}$  Stunde in auf- und absteigender Bewegung.

In der Folge bezeichnen wir die Masse des Rades mit  $m$ , den äußeren Durchmesser der als Achse dienenden Messingrohre mit  $2r$ , die mit einem Vertikalmaßstabe festgestellte Falltiefe mit  $h$ , die fortschreitende Endgeschwindigkeit des Rades im tiefsten Punkte seiner Bahn mit  $v$ , die entsprechende Winkelgeschwindigkeit mit  $\omega$ , das Trägheitsmoment des Rades mit  $T$ , die Fallzeit mit  $t$ . Wir fassen die Bewegung des Rades als eine gleichförmig beschleunigte auf mit der Beschleunigung  $\gamma$ .

Die potentielle Energie des Rades  $mgh$  muß gleich sein der Summe der Wucht der drehenden und fortschreitenden Bewegung:

$$mgh = \frac{mv^2}{2} + \frac{T\omega^2}{2}.$$

Es ist ferner:  $v = r\omega$ ,  $h = \frac{\gamma}{2}t^2$ ,  $v = \gamma t$ .

Eliminiert man aus diesen Gleichungen  $v$ ,  $\omega$  und  $\gamma$ , so erhält man für das Trägheitsmoment des Rades den Ausdruck:

$$T = mr^2 \left( \frac{gt^2}{2h} - 1 \right); \dots \dots \dots (1)$$

führen wir noch für  $\frac{g}{2}t^2$  den Buchstaben  $s$  ein, das ist der Weg, den ein frei fallender Körper während der Fallzeit  $t$  des Rades zurücklegt, so wird

$$T = mr^2 \left( \frac{s}{h} - 1 \right). \dots \dots \dots (2)$$

Diese Formel kann zur Berechnung des Trägheitsmomentes  $T$  des Rades dienen, doch sind die so gefundenen Werte ungenau, da wir die Fallzeit  $t$  und somit  $s$  nur ungenau bestimmen können. Wir erzielen größere Genauigkeit, wenn wir mehrere Auf- und Abstiege des Rades berücksichtigen. Die Höhen, zu denen das Rad aufsteigt, nehmen nach einer geometrischen Reihe ab. Gründe dafür sind die Reibung und der Verlust an Wucht der fortschreitenden Bewegung, der jedesmal im tiefsten Punkte der Bahn in doppeltem Ausmaße eintritt. Das aus letzterem Grunde eintretende Dekrement läßt sich leicht berechnen. Die Höhe, zu der das Rad nach dem ersten Falle wieder aufsteigt, sei  $h_1$ . Dann gilt die Proportion:

$$h_1 : h = \left( \frac{T\omega^2}{2} - \frac{mv^2}{2} \right) : \left( \frac{T\omega^2}{2} + \frac{mv^2}{2} \right).$$

Daraus folgt:  $\frac{h_1}{h} = \frac{T - mr^2}{T + mr^2} \dots \dots \dots (3)$

Das wirklich eintretende Dekrement ist im allgemeinen viel größer, im günstigen Falle doppelt so groß. Ließen sich die Reibungsverluste klein halten, so könnten wir nach Formel (3) ein Trägheitsmoment ohne Zeitmessung bestimmen.

Die Zeit, welche das Rad zu  $(2n + 1)$  Auf- und Abstiegen braucht, sei  $\tau$ .  $t$  sei die Zeit,  $h$  die Höhe des ersten Abstieges,  $t_1$  und  $h_1$  die entsprechenden Größen des ersten Auf- und des zweiten Abstieges,  $t_n$  und  $h_n$  die des  $n$ ten Auf- und des  $(n + 1)$ ten Abstieges. Es sei ferner

$$t_1 = t \cdot \varphi, t_2 = t \cdot \varphi^2, \dots, t_n = t \cdot \varphi^n;$$

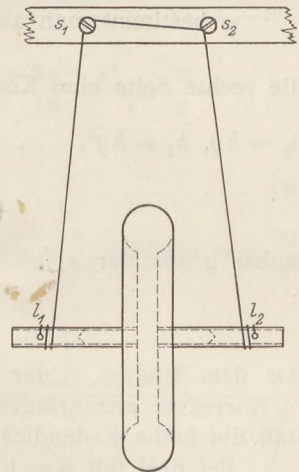


Fig. 1.

dann ist 
$$\tau = t \left( 2 \frac{1 - \varphi^{n+1}}{1 - \varphi} - 1 \right),$$

oder 
$$t = \tau \frac{1 - \varphi}{1 + \varphi - 2\varphi^{n+1}} \dots \dots \dots (4)$$

$\varphi$  bestimmt man auf folgendem Wege. Aus (1) folgt  $\frac{h}{t^2} = \frac{mg}{2} \frac{r^2}{T + mr^2}$ . Da die rechte Seite eine Konstante ist, so gilt  $\frac{h}{t^2} = \frac{h_1}{t_1^2} = \dots = \frac{h_k}{t_k^2}$ . Setzen wir nun  $h_1 = hq$ ,  $h_2 = hq^2$ ,  $\dots$ ,  $h_n = hq^n$ , so folgt  $q = \sqrt[n]{q}$  oder

$$t = \tau \frac{1 - \sqrt[n]{q}}{1 + \sqrt[n]{q} - 2\sqrt[n]{q^{n+1}}}, \dots \dots \dots (5)$$

wobei  $q$  aus der ersten und letzten Steighöhe bestimmt wird durch die Formel

$$q = \sqrt[n]{\frac{h_n}{h}} \dots \dots \dots (6)$$

An dem Radius  $r$  der Achse wird wegen der Dicke der Aufhängeschnüre eine + Korrektur anzubringen sein. Versuche mit verschiedenen dicken Schnüren ergaben, daß die halbe Fadendicke in Anschlag zu bringen ist.

Bei drei mit  $n = 10$  nacheinander ausgeführten Versuchen waren die anfänglichen Fallhöhen der Reihe nach 8,7, 28,6, 48,9 cm; die für das Trägheitsmoment erhaltenen Werte waren in derselben Reihenfolge 122 600, 117 200, 116 500; das genau aus den Dimensionen berechnete Trägheitsmoment ist 115 500 absolute Einh. Die angeführten Werte zeigen eine deutliche Abnahme mit zunehmender Falltiefe, die nicht aus Meßfehlern erklärt werden kann. Die Ursache ist in folgendem Umstände zu suchen. Der letzte Teil der Abwärtsbewegung des Schwungrades ist kein Abrollen an den haltenden Schnüren mehr, sondern eine Art Pendelschwingung, bei der aber der Aufhängepunkt seitliche Beschleunigungen erfährt. Man kann die daraus sich ergebende — Korrektur berücksichtigen, wenn man von der Fallhöhe  $h$  die Größe  $r$ , von der entsprechenden Fallzeit  $t$  dagegen die Zeit  $\bar{t}$  abzieht, welche das Rad zu einer halben Pendelschwingung im tiefsten Punkte seiner Bahn braucht. Diese Zeit  $\bar{t}$  ist natürlich um so kürzer, je größer die Fallhöhe ist. Man kann sie nach folgender berechneten Näherungsformel berücksichtigen:

$$\bar{t} = \frac{9 r \pi t}{32 h}.$$

Mit Berücksichtigung dieser Korrektur erhält man in obiger Reihe die Werte 116 000, 115 300, 115 600. Die Korrektur kann um so eher vernachlässigt werden, je größer  $h$  ist. Im Interesse guter Meßgenauigkeit wählt man also die Dicke der Aufhängeschnüre klein,  $r$  nicht allzu klein und die Fallhöhe groß.

Es wurde nun der Versuch gemacht, mit Hilfe des Schwungrades eine verzögerte Pendelschwingung darzustellen, ähnlich wie der oben behandelte MAXWELLSCHE Schwungradversuch eine verzögerte Fallbewegung vorstellt. Zwei gleich lange zylindrische Messingröhren vom gleichen Durchmesser  $2r$  wie die Achse des Schwungrades wurden so befestigt, daß die Endpunkte ihrer Achsen ein horizontales Rechteck bilden. Über diese Röhren ( $A, B$  in Fig. 2) wurden zwei Schleifen aus Telegraphenpapier von der genau gleichen Länge  $L$  gelegt und in sie das Schwungrad eingehängt. Dieses bildet so die Linse eines Pendels von sehr langer Schwingungsdauer. Die Bahn des Schwungrades ist eine genaue Ellipse mit den Brennpunkten  $A$  und  $B$ . Die Exzentrizität  $e$  und die große Halbachse  $a$  dieser Ellipse bestimmen wir folgendermaßen. Wir spannen über die beiden Messingröhren eine Schleife aus Telegraphenpapier und schneiden an den übereinandergelegten Enden durch. Das herausfallende Stück hat die Länge  $l$ ; dann ist



$$e = \frac{l - 2r\pi}{4}, a = \frac{L - 2r\pi - 2e}{2} = \frac{2L - l - 2r\pi}{4}$$

Ist  $\varrho$  der Krümmungshalbbmesser der Ellipse im Punkte  $C$ ,  $\varepsilon$  die num. Exz.,  $\alpha$  der Amplitudenwinkel mit dem Scheitel in  $O$ ,  $s = 4\varepsilon^2 - 1$ , dann ist die Schwingungsdauer  $\tau$  eines Punktes, der sich unter dem Einfluß der Schwere auf der Ellipse bewegt, durch die Reihe gegeben

$$\tau = 2\pi \sqrt{\frac{\varrho}{g}} \left( 1 - \frac{s}{4} \sin^2 \frac{\alpha}{2} + \frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4} \cdot \frac{4 - s^2}{8} \sin^4 \frac{\alpha}{2} - \frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6} \cdot \frac{8 + 4s - s^3}{16} \sin^6 \frac{\alpha}{2} + \dots \right)$$

Für kleines  $\alpha$  gilt angenähert

$$\tau = 2\pi \sqrt{\frac{\varrho}{g}} \dots \dots \dots (8)$$

Für die weitere Rechnung müssen wir beachten, daß hier nicht  $\omega = \frac{v}{r}$ , sondern  $\omega = \frac{v\varepsilon}{r}$

zu setzen ist. In der Fig. 2 sei  $BE$  dem Leitstrahl  $BC$  sehr benachbart,  $CD$  das Lot auf  $BE$ . Einer fortschreitenden Bewegung des Radschwerpunktes um die Strecke  $CE$  entspricht eine wälzende Bewegung der Achse über die Strecke  $DE$ . Es ist also  $\omega = \frac{v}{r} \cdot \frac{DE}{EC}$ . Nun sind aber die  $\triangle BOC$  und  $EDC$  ähnlich, woraus folgt  $\frac{DE}{EC} = \frac{e}{a} = \varepsilon$ . Es gilt also, wenn  $v$  die Geschwindigkeit des Radchwerpunktes in  $C$  ist:

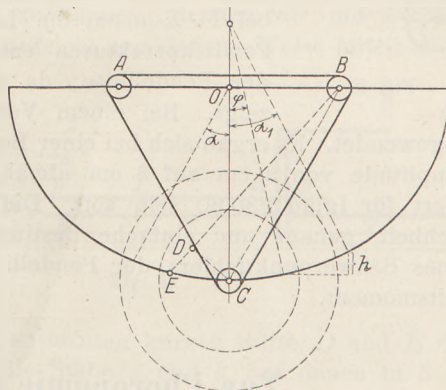


Fig. 2.

$$mgh = \frac{mv^2}{2} + \frac{Tv^2\varepsilon^2}{2r^2}$$

$$h = \varrho (\cos \varphi - \cos \alpha_1)$$

$$v = \frac{ds}{dt} = \sqrt{\frac{mr^2}{T\varepsilon^2 + mr^2}} \sqrt{2g\varrho \cdot \sqrt{\cos \varphi - \cos \alpha_1}}$$

und durch Integration wie beim gewöhnlichen Pendel

$$t = 2\pi \sqrt{\frac{\varrho}{g}} \sqrt{\frac{T\varepsilon^2 + mr^2}{mr^2}} \dots \dots \dots (9)$$

Nach leichter Umformung und nach Benutzung von (8) folgt:

$$T = \frac{mr^2}{\varepsilon^2} \left( \frac{t^2}{\tau^2} - 1 \right) \dots \dots \dots (10)$$

Hierin bedeutet  $t$  die gemessene Schwingungsdauer,  $\tau$  die eines mathematischen Pendels von der Länge  $\varrho$ . Mit dem bereits oben erwähnten Schwungrad vom Trägheitsmoment 115 500 wurden 7 Messungen ausgeführt. Die erhaltenen Werte schwankten zwischen 111900 und 120000. Das Mittel ergab 116500.

Für  $\varepsilon = \frac{1}{2}$  wird  $s = 0$ , und wir haben nach (7) ein Pendel, das praktisch keine Amplitudenkorrektur erfordert.  $\triangle ABC$  ist in diesem Falle gleichseitig. Es wurde das Schwungrad durch einen Metallzylinder, die Messingröhren  $A, B$  durch Metallzylinder von gleichem Durchmesser ersetzt. Obwohl man ein solches Pendel 8 bis 10 Minuten in Schwingung erhalten kann, gelang es mir nicht, mit ihm gute Werte der Fallbeschleunigung  $g$  zu messen. Zugrunde gelegt wurde die Formel  $g = \frac{6\pi^2 \varepsilon^2 \varrho}{t^2}$ , die sich aus (9) ergibt, wenn man  $T = \frac{mr^2}{2}$  setzt.

Denken wir uns nun aber die Punkte *A* und *B* in Fig. 2 immer näher zusammengerückt, dann erhalten wir schließlich ein Pendel von der in Fig. 3 dargestellten Form. Über die zwei Metallzylinder von gleichem Radius, von denen der obere festgehalten wird, ist ein Streifen Telegraphenpapier gespannt. Als Pendellänge ist der Abstand der beiden Zylindermittelpunkte anzusehen. Man erhält ihn sehr genau aus der Länge



Fig. 3.

der Schleife und dem Umfang der Zylinder. Diesen wieder mißt man, indem man einen Papierstreifen um den Zylinder legt und die übereinanderliegenden Enden mit einem Messer durchschneidet. Ein solches Pendel von etwa 1 m Länge schwingt bei nicht allzu großer Anfangsamplitude etwa eine Stunde lang mit brauchbaren Amplituden. Man kann damit die Pendelgesetze sehr genau nachweisen und das Verfahren mit großer Genauigkeit zur Bestimmung der Fallbeschleunigung verwenden. Am besten stellt man eine Gruppe von 4 Versuchen an. Bei jedem einzelnen Versuche dreht man die Pendellinse um 90 Grad, um Schwerpunktsfehler zu vermeiden. Von den bei F. KOHLRAUSCH, Lehrbuch der Praktischen Physik, angeführten Pendelkorrekturen entfällt die Korrektur für das Trägheitsmoment der Pendellinse, da sie während der Schwingung keine Drehung zeigt. Bei einem Versuch wurden die anderen Pendelkorrekturen angewendet. Es ergab sich bei einer Beobachtungsdauer von je 20 Minuten, wobei die Amplitude von 9 cm auf 3 cm abnahm, der Wert  $g = 980,63$ , während der wahre Wert für Iglau 980,80 sein soll. Die Vorteile dieser Pendelaufhängung sind: Einfachheit, genaue und einfache Bestimmbarkeit der Pendellänge, leichte Vermeidung eines Schwerpunktsfehlers der Pendellinse und Wegfall der Korrektur für das Trägheitsmoment.

## Zur Phoronomie der Planetenbewegung.

Von Dr. E. Waage in Freiwalddau.

Heute hat die Forderung allgemeine Zustimmung gefunden, die M. KOPPE<sup>1)</sup> vor einem Dritteljahrhundert in die Worte kleidete: „Zuerst soll der Schüler am Himmel mit offenen Augen sehen, wie die Planeten nach Hipparch und Ptolemäus umherirren, erst dann kann er sich auf die feste Sonne des Kopernikus setzen!“ Den Weg nun von den Beobachtungen der alten Babylonier und deren phoronomischer Darstellung durch Ptolemäus zur Phoronomie des Kopernikus und Kepler und zu Newtons Dynamik werden wir den Schüler zunächst an der Hand eines Planeten, am besten des Jupiter<sup>2)</sup> führen und die so gewonnenen Erkenntnisse auf die anderen Planeten übertragen.

Wir tragen die von den Schülern während einer Opposition beobachteten Stellungen des Jupiter in eine Karte des Tierkreisgürtels<sup>3)</sup> ein und hierzu noch die Orte aus vorhergehenden, evtl. auch folgenden Jahren, die einer Ephemeride entnommen werden. Mit Hilfe letzterer kann man auch Beobachtungsfehler ausmerzen. Am besten ist es, wenn man die Bahn Jupiters am Fixsternhimmel während eines ganzen siderischen Umlaufs herstellt, wie man sie auch in HÖFLERS Physiklehrbuch findet, aber auf einem (etwa aus KOPPEs Tafeln vergrößerten) Tierkreisgürtel von 3 bis 4 m Länge<sup>4)</sup>. Zeichnet man sich hier die Orte nach einer (etwa selbst mit

<sup>1)</sup> Diese Zeitschr. 5, 111, 1892.

<sup>2)</sup> Merkur eignet sich hierzu weniger wegen seiner geringen Sichtbarkeit, Venus und Mars wegen des weiten Auseinanderliegens ihrer Bahnschleifen. Bei Jupiter stört es zwar, wenn auch weniger wie bei Saturn, daß die Beobachtungen der Schüler sich nicht auf einen beträchtlicheren Teil der siderischen Umlaufszeit erstrecken können, und wenn Ceres mit freiem Auge sichtbar wäre, so wäre sie zu unserem Zwecke dem Jupiter vorzuziehen.

<sup>3)</sup> Am besten in Ekliptikkordinaten, vgl. die Koppeschen Tafeln in dieser Zeitschrift.

<sup>4)</sup> Vgl. HÖFLER, Didaktik der Himmelskunde.



Hilfe des Rechenschiebers errechneten) Ephemeride ein, so kommen auch die Schleifenbreiten zum Ausdruck.

Diese Zeichnung heftet man an die vordere Wand des Experimentiertisches, schreitet sie ab, ein entsprechend schwingendes Pendel in der Hand und demonstriert den Schülern, daß die Bewegung des Jupiter am Fixsternhimmel eine Schwingung um einen fast gleichförmig fortschreitenden Punkt ist. Aus der größeren Helligkeit des Jupiter während der Opposition folgert man weiter, daß diese Schwingung wieder als Projektion einer gleichförmig kreisenden Bewegung zustande kommt.

Die Bahn Jupiters bezüglich der (gegen den Fixsternhimmel nicht rotierend gedachten) Erde ist also (nahezu) eine Epizykloide<sup>1)</sup>. Die Umlaufzeit des Jupiter auf der Peripherie des Epizykels beträgt genau ein Jahr, die des Mittelpunktes des Epizykels auf der Peripherie des Deferenten ist die siderische Umlaufzeit des Jupiter, also etwa 12 Jahre. Aus Bogen und Dauer der rückläufigen Bewegung läßt sich ferner errechnen, daß der Radius des Deferenten 5,2mal so groß ist wie der des Epizykels.

Um nun diese Bewegung bequem zeigen zu können, denken wir uns 4 Stäbe *a*, *b*, *c* und *d* auf folgende, in Fig. 1 in der Draufsicht angedeutete Weise miteinander

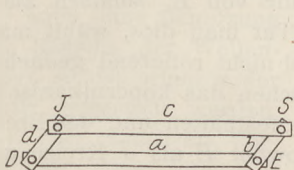


Fig. 1.

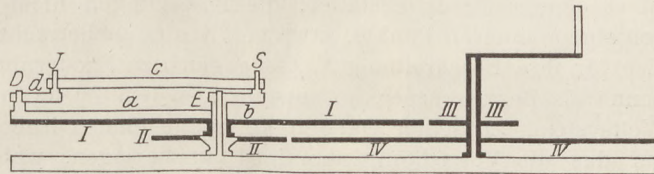


Fig. 2.

verbunden. Auf die z. B. 26 cm voneinander entfernten kurzen Stifte *D* und *E* des Stabes *a* kommen vermittels je eines Loches die Stäbe *d* und *b*, auf denen in 5 cm Entfernung vom Loch längere Stifte *J* und *S* angebracht sind. Diese werden durch die 26 cm voneinander entfernten Löcher des Stabes *c* gesteckt. Dreht man nun *a* langsam um *E* als Achse, *b* jedoch 12mal so schnell (wozu man ihn beim Stift *S* angreift), so beschreibt *J* offenbar die Jupiterepizykloide.

Fertigt ein Mechaniker diese Vorrichtung an, so wird er die Stäbe *a* und *b* so durch ein Räderwerk miteinander verbinden, wie der kleine und der große Zeiger der Uhr verbunden sind, also etwa so, wie es Fig. 2 im Durchschnitt andeutet. Dort ist der Stab *a* auf einem Zahnrad *I* mit dem Radius 27 cm befestigt, dessen Achse ein selbst um *E* drehbarer Hohlzylinder ist. Das obere Ende des Zylinders ist starr mit dem Stab *b*, das untere mit einem Zahnrad *II*, dessen Radius 9 cm betrage, verbunden. Die Zähne von *I* greifen in die eines Zahnrades *III* mit dem Radius 6 cm, die Zähne von *II* in die eines Zahnrades *IV* mit dem Radius 24 cm. *III* und *IV* sind konzentrisch starr miteinander verbunden und mit einer Kurbel versehen, mit deren Hilfe man das System in Bewegung versetzt. Ihre gemeinsame Achse ist mit *E* auf ein Brett montiert, das man mit der ganzen Vorrichtung vertikal an die Tafel hängen kann. Statt der Zahnräder können auch gewöhnliche, durch Transmissionen verbundene Scheiben genommen werden.

In unserem Modell bedeutet *E* die Erde, *J* den Jupiter, *D* den Mittelpunkt des Epizykels; der Streckenzug *EDJ* ist zu einem Parallelogramm *EDJS* ergänzt, dessen

<sup>1)</sup> Dieser Satz ist schon lange bekannt, findet sich auch bei Aristoteles, wird aber allgemein mit dem Namen des Ptolemäus verknüpft, der die Planetenbewegung quantitativ untersuchte. Es wird manchmal übersehen, daß dieser Satz eine rein phoronomische, nur die relativen Stellungen Jupiters zur Erde betreffende Tatsache ausspricht, die, wie wir gleich zeigen wollen, mit dem Umstand, daß die Bahn Jupiters um die Sonne nahezu kreisförmig ist, keineswegs in Widerspruch steht, und daher auch nicht mit der dynamischen Unmöglichkeit des Kreisens einer Masse um einen geometrischen Punkt.

Seiten die vier Stäbe, genauer die auf ihnen abgesteckten Strecken  $ED$ ,  $SJ$ ,  $ES$  und  $DJ$  sind. Man ersieht unmittelbar, daß man die Jupiterepizykloide nicht nur durch Zusammensetzung der Bewegung von  $D$  um  $E$  mit der von  $J$  um  $D$ , sondern ebenso durch Zusammensetzung der Bewegung von  $S$  um  $E$  mit der von  $J$  um  $S$  erhält.

Ptolemäus schlägt den ersten Weg ein, benutzt also bei seiner Darstellung der Jupiterbewegung nur die Seiten  $ED$  und  $DJ$ , welche die Radien von Deferent und Epizykel darstellen. Die Sonne befindet sich nach seiner Theorie stets in einem und demselben Punkte der Strecke  $ES$  oder deren Verlängerung über  $S$  hinaus<sup>1)</sup>.

Das Tycho Brahesche Weltsystem entsteht nun aus dem ptolemäischen durch die spezialisierende (inzwischen durch Parallaxen- und andere Entfernungsbestimmungen verifizierte) Hypothese, daß sich die Sonne nicht in einem beliebigen Punkte der Geraden  $ES$ , sondern im Punkte  $S$  selbst befindet<sup>2)</sup>. Ferner benutzt er zur geozentrischen Darstellung der Bewegung des Jupiter nicht wie Ptolemäus die Seiten  $ED$  und  $DJ$  des Parallelogramms  $EDJS$ , sondern die anderen beiden,  $ES$  und  $SJ$ . Drückt man dies in Worten aus, so besagt es: Die Sonne  $S$  dreht sich um die Erde  $E$ , der Jupiter  $J$  um die Sonne  $S$ .

Da wir bis jetzt noch keineswegs Dynamik, sondern bloße Phoronomie betreiben, ist es ohne weiteres gestattet, die Bewegungen nicht gerade von  $E$ , sondern auch von einem anderen Punkte, etwa von  $S$  aus zu betrachten. Tut man dies, wählt man also für ihre Beschreibung  $S$ , die gegen den Fixsternhimmel nicht rotierend gedachte Sonne als Bezugskörper, so entsteht aus dem Tycho Braheschen das kopernikanische Weltsystem. Zu seiner Darstellung müßte man  $S$  irgendwie festhalten und das Brett, auf das die Vorrichtung montiert ist, bewegen, wobei sowohl  $E$  als  $J$  Kreise um  $S$  beschreiben und an der Bewegung der drei Körper zueinander offenbar nichts geändert würde.

Noch anschaulicher wird die Darstellung, wenn man sich hierzu zwei Kreise  $K$  und  $K'$  mit den Radien 26 und 5 cm aus Pappe herstellt, wobei man aus  $K$  einen möglichst großen Sektor eines konzentrischen Kreisrings mit den Radien 3 und 7 cm auszuschneiden hat. Man kann mit diesen Pappscheiben zwar keinen ganzen siderischen Umlauf zeigen, wohl aber, was ja genügt, einige synodische.

Bei der Darstellung des ptolemäischen Systems befestigt man den Mittelpunkt von  $K$ , der nun den Deferenten darstellt, in  $E$ , einen Punkt seiner Peripherie in  $D$ , wohin auch der Mittelpunkt des Epizykels  $K'$  kommt. Für das Tycho Brahesche und kopernikanische System ist  $K$  die Jupiterbahn um die Sonne, und sein Mittelpunkt kommt nach  $S$ ; für ersteres System ist  $K'$  die Sonnenbahn um die Erde und kommt mit dem Mittelpunkt nach  $E$ , für letzteres ist  $K'$  die Erdbahn um die Sonne und kommt mit dem Mittelpunkt nach  $S$ .

Ich glaube, daß man mit dem beschriebenen Apparat nicht nur die Planetenbewegungen und die Möglichkeit ihrer Betrachtung von der Erde und von der Sonne aus demonstrieren, sondern mit seiner Hilfe auch im Unterrichte den gemeinsamen wahren Kern der drei scheinbar einander so widersprechenden Weltsysteme heraus-schälen kann. Besonders letzteres scheint mir ohne die Veranschaulichung der gegenseitigen Bewegungen durch den Apparat im Unterrichte schwer möglich und doch recht wünschenswert.

<sup>1)</sup> Berücksichtigt man die Exzentrizität des Deferenten, wie sie Ptolemäus bestimmte, so ist dies nicht ganz genau der Fall, was Ptolemäus dazu veranlaßte, die Annahme der Pythagoräer, des Heraklides von Pontus und des Aristarch von Samos zu verwerfen, daß sich die Planeten um die Sonne bewegen. Er übersah dabei, was nachgewiesen zu haben eben das Verdienst des Kopernikus ist, daß die Sonne genau wieder in die Gerade  $ES$  kommt, wenn nicht nur der Deferent, sondern auch das Epizykel entsprechend exzentrisch angenommen (bzw. nach Kepler durch eine Ellipse ersetzt) wird.

<sup>2)</sup> Mit anderen Worten, daß der Radius des ptolemäischen Epizykels gleich der Entfernung Erde—Sonne ist.



## Versuche und Übungsaufgaben zur Lehre von der Strahlung fester Körper.

Von H. Hermann in Tübingen.

Die Lehre von der Strahlung fester Körper kann bei der gewöhnlichen Stoffanordnung auch auf der Oberstufe nicht wohl erschöpfend vorgetragen werden, weil bei ihrer Behandlung die Wellenlehre des Lichtes noch nicht vorhergegangen zu sein pflegt. Nach Abschluß der letzteren auf erstere zurückzukommen, dürfte selten möglich sein; es bleibt nur übrig, sie in der Himmelskunde zu behandeln.

Immerhin kann aus ihr auch ohne Benutzung des Begriffs der Wellenlänge so viel schon in der Optik mitgeteilt werden, daß eine deutliche Vorstellung über die seit DRAPER erreichten Fortschritte vermittelt wird. In diesem Sinne ist die folgende Auswahl gemeint.

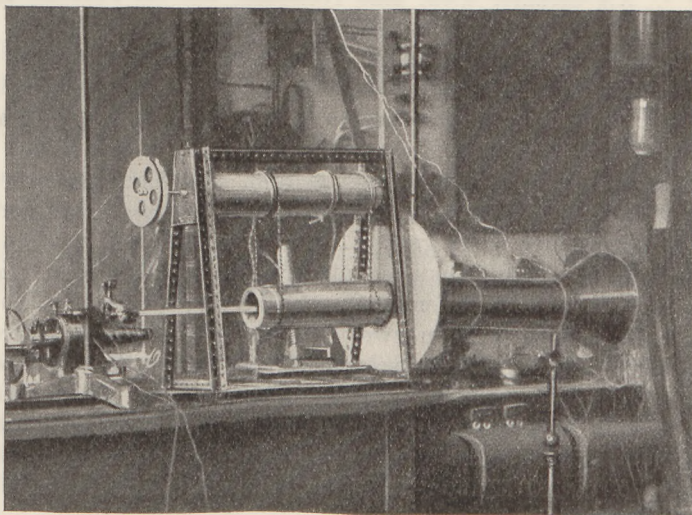


Fig. 1.

### 1. Das Gesetz der Gesamtstrahlung.

Für die Untersuchung der metallischen Strahlung ist als Strahler am bequemsten eine zur Aufnahme eines hochgehenden Thermometers passende Widerstandsspirale. Als Empfänger kann hierbei, da es auf genaue Gesetzermittlung hier weniger ankommt, trotz ihrer Glashülle die Lichtmühle dienen, wenn etwa die Thermosäule bei „zerstreuter“ Arbeitsweise gleichzeitig für Absatz 3 benutzt wird.

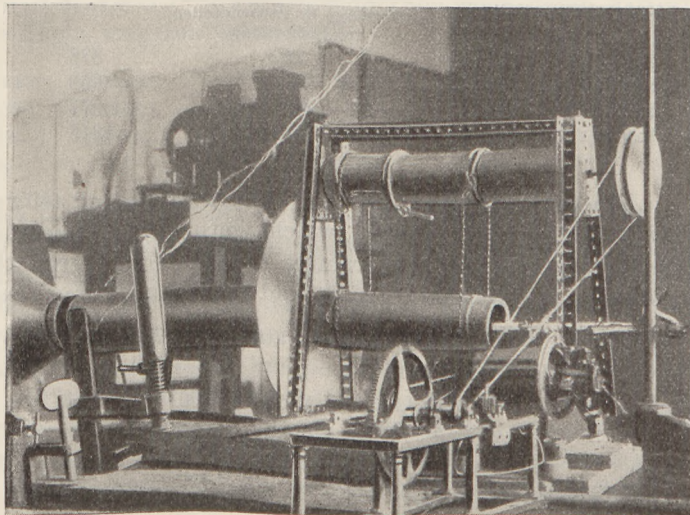


Fig. 2.

Die Aufgabe ist übrigens ein Prüfstein auf genügende Feinheit der Schalttafelregelung der Stromstärke. Bei ihrer graphischen Bearbeitung kann man von dem Parabelsubtangentsatz (Parabelexponent gleich Verhältnis der Abszisse zur Subtangente, diese Zeitschr. 31, 16) Gebrauch machen.

Für die Untersuchung der „schwarzen“ Strahlung ist als Empfänger die Thermosäule erforderlich, wenn die Temperatur noch mit gewöhnlichem Thermometer gemessen werden soll.

Ein genügend weiter Hohlraum im Temperaturbad ist wenigstens für ältere, umfangreichere Thermosäulen nicht gerade einfach zu bauen, namentlich da auch in unseren chemischen Sammlungen größere Öfen selten vorhanden sind. Geeignet wäre etwa ein LOTHAR MEYERscher Röhrenofen, sog. Schießofen, wie er für LOTHAR MEYER von Mechaniker Bühler, Tübingen, verfertigt wurde (Bühlersche Liste 1857, Länge 40 cm).

Wohlfeiler, wenn auch unvollkommener, kam ich auf folgende Weise zum Ziel (Fig. 1 u. 2).

Als Strahler dient eine Tonröhre, wie für Entwässerung in Ziegelwerken erhältlich; in der Mitte wurde sie mit einer Scheidewand aus Ton versehen. Ihre Länge richtete sich nach der eines vorhandenen Reihenbrenners mit 19 kleinen Flämmchen von Zentimeterabstand. Die Bearbeitung kann mit einer Nagelzange geschehen. Über den Brenner wurde eine Holzwalze wagrecht gelagert und an dieser das Tonrohr mittels zweier Kettchen ohne Ende aufgehängt. Die Walze wurde mittels Motor und Vorgelege langsam (4 mal in der Minute) gedreht; das Tonrohr drehte sich mit und erlangte auf diese Weise gleichförmige Temperatur. Gegen axiale Verlagerung war durch Wülste auf Walze und Rohr gesorgt. Für den Aufbau, welchen ein Schüler stiftete, zeigte sich der Meccano-Baukasten als praktisches Hilfsmittel. In die eine Hälfte des Rohres wurde ein bis  $360^{\circ}$  gehendes Quecksilberthermometer freischwebend wagrecht eingeführt; vor die andere wurden zwei Blenden und ein Holzrohr von 31 cm Länge axial aufgestellt; an das Holzrohr schloß sich die zu bestrahlende Fläche der Thermosäule an. Das Galvanometer muß hinreichend feine Teilung haben.

Das Ergebnis einer Versuchsreihe mit vier Temperaturen (für deren Einstellung Flammengröße und Abstand des Brenners vom Tonrohr geändert wurden; die Einstellzeit betrug 20 Minuten für jede Temperaturstufe) war wie folgt:

Zimmertemperatur $T_1 = 16 + 273 = 289^{\circ}$ Kelvin.				
Strahlertemperatur $T_2$	Galvanometerablesung $S$ , Summe der kommutierten Ausschläge in Tausendteilen der Entfernung	$T_2^4 \cdot 10^{-7}$	$(T_2^4 - T_1^4) \cdot 10^{-7}$	$(T_2^4 - T_1^4) : 10^7 S$
$168 + 273 = 441$	63	378	308	4,9
$233 + 273 = 506$	161	655	585	3,6
$286 + 273 = 559$	196	977	907	4,6
$329 + 273 = 602$	295	1313	1243	4,2
				Mittel 4,4

Die Schwankungen um den Mittelwert rühren teilweise her von schwankendem inneren Widerstand der Säule, welche zerbrochen vorgefunden und unter Amalgamation der Bruchflächen wieder vereinigt wurde. Zum Vergleich diene die klassische Versuchsreihe, mit welcher LUMMER und PRINGSHEIM<sup>1)</sup> das Gesetz bestätigt haben:

Zimmertemperatur $T_1 = 17 + 273 = 290^{\circ}$ Kelvin.		
$T_2$	$S$	$(T_2^4 - T_1^4) : 10^{10} S$
373,1	156	127
492,5	638	124
723,0	3 320	124,8
745	3 810	126,6
810	5 150	121,6
868	6 910	123,3
1378	44 700	124,2
1470	57 400	123,1
1497	60 600	120,9
1535	67 800	122,3
		Mittel 123,8

<sup>1)</sup> LUMMER, Leuchttechnik (2. Aufl., 1918), S. 98, Stefan-Boltzmannsches Gesetz.



## 2. Das Flächenhelligkeitsgesetz.

Das Flächenhelligkeitsgesetz der Hohlraumstrahlung ist in genauer Wiedergabe ein verwickeltes Gesetz, das für den Schulunterricht nicht geeignet ist; die Amerikaner HYDE, FORSYTHE und CADY geben ihm empirisch die Form

$$\log^{10} H = 0,2626 + 14,959 t - 12,38 t^2 - 1,13 t^3,$$

wo  $H$  die Flächenhelligkeit in Hefnerkerzen je Quadratcentimeter,  $t$  die Größe  $\log \frac{\text{absol. Temperatur}}{1584} = \log T - 3,2$  bedeutet. Noch verwickelter ist die rationale

Darstellung durch HENNING, welche 8 Konstanten enthält<sup>1)</sup>.

Für Unterrichtszwecke dürfte jedoch die einfache Darstellung von RASCH genügen, welche zuletzt von NERNST benutzt wurde und nur zwei Konstanten enthält<sup>2)</sup>.

Mit den von NERNST benutzten Zahlenwerten lautet sie, wenn wie oben  $H$  auf Quadratcentimeter bezogen wird,

$$\log H = 7,367 - 11\,230 T^{-1}.$$

Den neuen amerikanischen Messungen schließt sich am besten an die Formel

$$\log H = 7,05 - 10\,800 T^{-1}.$$

Zur Probe ihrer Brauchbarkeit bildet man  $A = \log H + 10\,800 T^{-1}$ ; man findet mit den ausgeglichenen Ergebnissen von HYDE, FORSYTHE und CADY:

$T$	1700	1750	1800	1850	1900	1950	2000	2050	2100	2150
$\log H$	0,7059	0,8831	1,0531	1,2122	1,3636	1,5079	1,6464	1,7782	1,9036	2,0241
$A$	7,06	7,05	7,04	7,05	7,04	7,05	7,05	7,05	7,04	7,05
$T$	2200	2250	2300	2350	2400	2450	2500	2550	2600	2650
$\log H$	2,1386	2,2480	2,3541	2,4533	2,5490	2,6415	2,7300	2,8136	2,8949	2,9727
$A$	7,06	7,06	7,06	7,04	7,04	7,06	7,06	7,04	7,05	7,05

Für die tieferen und höchsten Temperaturen, also gerade für die im Unterricht in erster Linie in Betracht kommenden, ist die Annäherung weniger gut; man benutzt dann besser die Aufrundung  $7,1 - 10\,800 T^{-1}$ , wie folgende Tafel zeigt, deren  $T$ -Werte die von HENNING auf heutige Skala umgerechneten sind:

Beobachter:	IVES	LUMMER	NERNST	IVES	KOHN	NERNST	RUSSELL ☉
$T$	1293	1450	1464	1525	1591	1601	6000
$\log H$	0,799—2	0,6232—1	0,5800—1	0,0086	0,3010	0,3820	5,301
$A$	7,16	7,08	7,06	7,09	7,08	7,12	7,10

Bei der Bestätigung des Gesetzes mit Schulhilfsmitteln wird man sich in den Anstalten, welche nicht über ungewöhnlich gute Ausstattung mit Öfen für hohe Temperaturen verfügen<sup>3)</sup>, mit einer einzigen Probe begnügen müssen, welche vorteilhaft die Ofentemperatur als Unbekannte behandelt und das photometrisch erhaltene Ergebnis mit demjenigen einer anderen pyrometrischen Methode vergleicht. Wir benutzen zu diesem Zweck den Kupferschmelzpunkt, dessen kalorimetrische Bestimmung in einem einfachen Mantelofen schon auf der Unterstufe erfolgt<sup>4)</sup>; das aus dem 8 qcm weiten Deckelloch des Ofens bei Kupferschmelzhitze dringende Licht wird mit einem Spiegel (Lichtverlust etwa 10%; vgl. KOHLRAUSCH, Praktische Physik, Ziff. 123) zeitweilig auf das Photometer geworfen. Dabei erhält man die erforderliche Gleichmäßigkeit der

<sup>1)</sup> Physical Review, 2. series, 13, 45 (1919); Jahrb. d. Radioaktivität 16, 1 (1920).

<sup>2)</sup> Annalen der Physik 14, 193 (1904); Physikal. Zeitschr. 7, 380 (1906).

<sup>3)</sup> Die pyrometrische Leistung einfacher und hochwertiger Öfen ist angegeben in der Abhandlung des Verfassers: Wärmequellen für Chemieversuche, Ostasiat. Lehrerzeitung 2, 12 und 3, 32 (1912); zu ergänzen durch die Mekerofenliste von Dujardin & Co., Düsseldorf.

<sup>4)</sup> Als kalorimetrische Substanz geeignet ist z. B. Bogenlampenkohle, spez. Wärme in diesem Bereich 0,3 (LANDOLT und BÖRNSTEIN). Eine Übersicht über die pyrometrischen Probekörper der Keramik, Segerkegel und Princep-Legierungen, findet man in der Chemieliste Friedrichs, Darmstadt.

Temperatur mit einem Porzellanschälchen besser als mit einem Tiegel, darf jedoch nicht zu langsam arbeiten, weil sich in einem solchen ein schmelzbares Kupfersilikat bildet, so daß die Schale schließlich durchschmilzt, wenn, wie bei einfachem Ofen für diese Temperatur notwendig, oxydierend geheizt wird. Als Ausgangspunkt der Strahlung wurde dabei das Loch betrachtet, in welchem sich die Strahlenbündel kreuzen. Die erzeugte Beleuchtung des Photometers ergab sich gleich der durch eine Kerze von 47 mm Flammenhöhe, wenn diese 145 cm, die Ofenöffnung auf dem Weg über den Spiegel 219 cm vom Photometer abstand. Rechnet man die Kerze einfachheitshalber als eine Normkerze und vernachlässigt wegen dieser wahrscheinlich zu hohen Schätzung den Spiegelverlust, so findet man für die photometrische Hohlraumtemperatur  $1120^{\circ}\text{C}$ , in leidlicher Übereinstimmung mit dem Schmelzen des Kupfers in der Schale; mit  $A = 7,2$  erhielt man  $1100^{\circ}$ .

Den Übergang zu dem in der Technik gebräuchlichen WANNERSchen Pyrometer macht man mittels des Satzes von CROVA (1881), wonach die Helligkeit der einzelnen Spektralfarben ein Gesetz derselben Form befolgt wie das der Gesamthelligkeit, so daß man sogar eine bestimmte Farbe angeben könnte, deren Helligkeit der Gesamthelligkeit proportional ist. Aus den übrigen Strahlungsgesetzen folgt, daß diese durch die zweite Konstante obiger Formel bestimmt ist, und zwar würde sie sich aus der Zahl 10 800 zu  $573 \mu\mu$  Wellenlänge ergeben; man benutzt jedoch nicht diese, sondern, mit Rücksicht auf bessere Verwendbarkeit des Verfahrens schon bei Rotglut, die rote Farbe und ermittelt deren Helligkeitsgesetz besonders. Dabei zeigt sich, daß für die Einzelfarben die obige Gesetzesform genauer erfüllt ist als für das weiße Licht (Isochromatengesetz von NICHOLS, PASCHEN und WANNER).

Selbst wenn man nicht weiter geht, hat der Schüler so bereits das technisch Wichtigste, sowie zwei astrophysikalische Methoden zur Berechnung einer „effektiven“ oder „schwarzen“ Temperatur kennen gelernt, welche bei der Sonne gut übereinstimmende Ergebnisse liefern.

Bei voller Kenntnis der Strahlungsgesetze folgt aus der ersten Konstante des Flächenhelligkeitsgesetzes noch die Größe, welche LUMMER die „technische Ökonomie eines idealen konstanten Temperaturstrahlers“ nennt. Man subtrahiert von  $A$  den Logarithmus der spezifischen Strahlungsintensität der mittleren Spektralwelle (WIENSches Gesetz) und den Logarithmus der sichtbaren Spektralbreite, welche man zu  $4 \cdot 10^{-5} \text{ cm}$  rechnet, der Rest ist der Logarithmus der genannten Ökonomie<sup>1)</sup>.

### 3. Bestimmung der effektiven Glühlampentemperatur.

Mit ganz einfachen Hilfsmitteln läßt sich auf Grund der besprochenen beiden Gesetze die effektive Glühlampentemperatur leidlich bestimmen.

Man vergleicht die Helligkeit zweier übereinstimmend gefundener Glühlampen gleichen Typs bei verschiedener Belastung. Ist dem Schüler der Begriff der Stromleistung noch nicht bekannt, so kann man einigermassen verständlich so vorgehen, daß man zwei hintereinander an die Lichtleitung gelegte gleiche Lampen, von welchen eine abgeblendet wird, mit einer dritten normal brennenden vergleicht. Da die Wärmeableitung in Glühlampen klein ist [nach A. R. MEYER bei Wolframlampen  $10\%$ ], so ist das Verhältnis der Gesamtstrahlungen nahe gleich dem Verhältnis der elektrischen Leistungen; im obigen Fall unter Vernachlässigung der Widerstandsänderung  $S_2 : S_1 = 4 : 1$ ; genauer gemessen (Ammeter 0,1 und 0,06 A)  $10 : 3$ . Vernachlässigt man ferner die Gegenstrahlung des Zimmers, so ist nach STEFAN-BOLTZMANN

$$T_2 : T_1 = \sqrt[4]{S_2 : S_1}; \text{ im Beispiel roh } 1,4; \text{ genauer } 1,33.$$

Da die Oberfläche der strahlenden Glühfäden gleich vorausgesetzt ist, ist das Ver-

<sup>1)</sup> LUMMER, Leuchttechnik, 2. Aufl., § 107, Ziff. 2 (ohne Ableitung).

<sup>2)</sup> Berichte der Deutschen Physikal. Gesellschaft 1915, S. 400.



hältnis der am Photometer ermittelten Helligkeiten zugleich dasjenige der Flächenhelligkeiten  $H_2:H_1$ . Nach Abschnitt 2 gilt aber angenähert

$$\log^{10}(H_2:H_1) = 10800 \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) = \frac{10800}{T_2} \left( \frac{T_2}{T_1} - 1 \right), \text{ woraus } T_2 \text{ bestimmbar ist.}$$

Allerdings findet man  $H_2:H_1$  bei verschiedenen Lampen und Augen ziemlich verschieden; ich selbst fand bei 16kerzigen Wolframlampen das Verhältnis 20, einer meiner Schüler mit einem anderen Paar 37, auf 4 m langem Photometer gemessen. Im ersteren Falle erhält man  $T_2 = 2770^0$ ; im letzteren  $T_2 = 2360^0$  Kelvin.

## Über die Messung von Kapazitäten im Unterricht und in den Schülerübungen.

Von Dr. K. Schütt in Hamburg (Oberrealschule in St. Georg).

Nach einem kurzen Hinweis auf die bisher gebräuchlichen Methoden, im Unterricht Kondensatoren zu vergleichen und zu messen, soll ein neues einfaches Verfahren geschildert werden, das gestattet, schnell und sicher Kapazitäten herab bis zu wenigen Zentimetern mittels Glimmlampe und Verstärkeröhre zu messen. Danach werde ich darlegen, wie wir in den Übungen der Oberstufe unserer Schule nach dem bekannten Verfahren mittels Wheatstonescher Brücke, Induktor und Fernhörer die Kapazität von großen und kleinen Kondensatoren, von Spulen und Antennen messen, Drehkondensatoren eichen und Dielektrizitätskonstanten bestimmen.

Als Einheit empfiehlt es sich, die technische Einheit, das Farad, und einen kleinen Teil davon, seinen millionten Teil, das Mikrofarad ( $1 \mu\text{F}$ ), zu nehmen. Man teilt den Schülern mit, daß es außer dem allgemein in der Praxis gebräuchlichen technischen Maßsystem noch mehrere weitere gibt, die absolute genannt worden sind. In diesen gelten als Einheiten der Elektrizitätsmenge und des Potentials nicht das Coulomb und das Volt, sondern andere, die absoluten Einheiten dieser Größen. Nun wird eine einzeln in Luft befindliche Kugel vom Radius 1 cm durch die absolute Elektrizitätsmenge 1 auf das absolute Potential 1 aufgeladen. Diese Kugel stellt die absolute Einheit der Kapazität dar; sie beträgt 1 cm. Der Vergleich mit der technischen Einheit ergibt, daß  $1 \mu\text{F}$  gleich 900 000 cm ist, sodaß 1 cm rund 1 Milliontel  $\mu\mu\text{F}$  ist.

Der Verfasser ist auf Grund langjähriger Unterrichtserfahrungen zu der Ansicht gekommen, daß die eingehende Behandlung des absoluten Maßsystems nicht in die Schule gehört; sie erfordert sehr viel kostbare Zeit, die man weit besser anders verwenden kann. Es kommt hinzu, daß immer nur ein kleiner Teil der Schüler die schwierige Materie ganz versteht und als bleibendes geistiges Eigentum mit ins Leben nimmt.

### I. Messung von Kondensatoren im Unterricht.

Zunächst sei auf die hübschen Versuche von F. HOCHHEIM<sup>1)</sup> hingewiesen, der mittels selbsttätigen Wechselkontaktes den Kondensator abwechselnd an die Stromquelle und das Drehspulgalvanometer legt und aus der Größe des Dauerausschlages, der Galvanometerkonstanten und der Frequenz des Kontaktes die Kapazität berechnet. Es lassen sich sowohl Kondensatoren von mehreren  $\mu\text{F}$  als auch ganz kleine auf diese Weise messen; so wurde die Kapazität eines Kugelkonduktors von kaum 10 cm Radius leidlich genau ermittelt.

*Versuch 1:* Statt des Wechselkontaktes habe ich mit Erfolg einen rotierenden Schalter benutzt, wie ich ihn auch im Glimmlampenoszillographen<sup>2)</sup> verwende; in Fig. 5a auf Seite 18 von Jahrgang 1925 der Zeitschrift wird die Schaltung in der Weise

<sup>1)</sup> Diese Zeitschrift XXIX (1916) S. 6, XXX (1917) S. 121 und XXXV (1922) S. 261.

<sup>2)</sup> Diese Zeitschrift XXXVIII (1925) S. 17.

geändert, daß man zwischen den Entladekontakt  $E$  und den negativen Pol an Stelle des Transformators  $T_1$  und der Selbstinduktionsspule  $L$  das Drehspulgalvanometer schaltet. Dann lädt sich der Kondensator bei Deckung des Schalters am Ladekontakt auf und entlädt sich kurz darauf durch das Galvanometer. Dieses zeigt, wenn der den Schalter ziehende Motor genügend schnell läuft, einen Dauerausschlag; der Lampenarm wird natürlich bei diesen Versuchen entfernt. Als Meßinstrument dient ein Drehspulspiegelgalvanometer (HARTMANN und BRAUN;) sein Lichtzeiger macht, wenn durch die Spule mit der größeren Windungszahl — die andere ist kurzgeschlossen —  $0,6 \cdot 10^{-6}$  A hindurchgehen, einen Ausschlag von 10 cm auf einer 1 m entfernten Skala. Durch einen regulierbaren Nebenschluß kann die Empfindlichkeit auf  $1/10$ ,  $1/100$  usw. bis  $1/10000$  herabgesetzt und der Meßbereich entsprechend erweitert werden. Es empfiehlt sich, zwischen Ladekontakt und der einen Belegung des Kondensators ein Potentiometer einzuschalten, damit man die Spannung am Kondensator verändern kann. Bezüglich der Einzelheiten in der Ausführung der Messungen sei auf die angeführten Arbeiten von HOCHHEIM hingewiesen.

*Versuch 2:* Noch einfacher gestalten sich die Versuche, wenn man in bekannter Weise mittels einer Wippe den Kondensator abwechselnd an die Stromquelle und ans Galvanometer legt. Der ballistische Ausschlag ist proportional der Elektrizitäts-

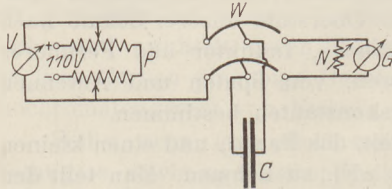


Fig. 1.

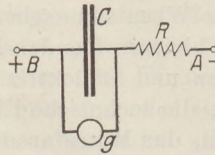


Fig. 2.

menge (Coulomb), die das Galvanometer passiert hat. Lädt man mehrere Kondensatoren auf die gleiche Spannung und entlädt sie nacheinander durch das Galvanometer, dann verhalten sich ihre Kapazitäten wie die Ausschläge. Fig. 1 zeigt die ohne weiteres verständliche Schaltung; es bedeutet  $P$  Potentiometer,  $V$  Voltmeter,  $W$  Wippe,  $C$  Kondensator,  $G$  Galvanometer mit Nebenschluß  $N$ .

*Versuch 3:* Als weiteres Mittel zur Kapazitätenvergleiche kommt die Glimmlampe<sup>1)</sup> in Betracht, die ja für viele Demonstrationsversuche außerordentlich wertvoll ist. Man schaltet, wie Fig. 2 zeigt, in bekannter Weise die Lampe  $G$  parallel zum Kondensator  $C$  und verbindet diesen über den großen Widerstand  $R$  mit den Klemmen  $A$  und  $B$  der 110 Volt-Leitung. Als Widerstand nimmt man entweder einen Silitwiderstand, wie ihn die Rundfunkindustrie in verschiedenen Größen für wenige Groschen liefert, oder ein mit Wasser gefülltes U-Rohr mit verschiebbaren Elektroden. Durch den hohen Widerstand — vergleichbar einem ganz engen Rohr — lädt sich der Kondensator langsam bis zur Zündspannung  $Z$  der Lampe  $G$

<sup>1)</sup> Die ersten Beobachtungen und Untersuchungen über intermittierende Entladungen durch Entladungsröhren (Glimmstrecken) sind 1879 von HITROFF gemacht. Die theoretische Behandlung erfolgte durch KAUFMANN (1900) und RIGHI (1902); ersterer findet, daß Schwingungen nur dann auftreten, wenn die Charakteristik (Strom-Spannungskurve) der Gasstrecke fallend ist  $\frac{dE}{di} < 0$ .

Auf Grund dieser Ergebnisse gelang es, Glimmlichtgeneratoren zu konstruieren, die für die drahtlose Nachrichtenübermittlung kräftige ungedämpfte Schwingungen erzeugen. Weiteren Kreisen zugänglich wurden die Versuche mit der Konstruktion der Glimmlampe mit Neon-Heliumfüllung für 110 bis 220 Volt durch die Firma Pintsch, Berlin; vergleiche z. B. diese Zeitschrift XXXV (1922) S. 172. Auf Veranlassung von NERNST hat dann W. SCHALLREUTER die „Schwingungserscheinungen an Entladungsröhren“ (erschieden in der Sammlung Vieweg als Heft 66, Braunschweig 1923) untersucht in bezug auf die Verwendbarkeit des erzeugten Wechselstromes zur Messung der Leitfähigkeit von Lösungen und von Dielektrizitätskonstanten. H. GEFFCKEN und H. RICHTER haben die „Glimmbrüche“ konstruiert [Vortrag auf der Naturforscherversammlung in Innsbruck im Herbst 1924, Referat in der Zeitschrift für techn. Phys. V (1924) S. 511], die als Instrument für die Praxis dazu dient, die Kapazität von Kondensatoren und Antennen, ferner große Widerstände schnell und sicher zu messen.



auf, die bei 100 Volt liegt; bei dieser Spannung setzt die Stoßionisation ein. Jetzt entlädt sich der Kondensator plötzlich durch die Lampe, die dabei aufleuchtet. Da sie indessen erlischt, d. h. keinen Strom mehr hindurchläßt, wenn die Spannung am Kondensator  $C$  ihre Löschspannung  $L = 80$  Volt erreicht hat, entlädt sich  $C$  nur bis zu dieser Spannung. Nun wiederholt sich das Spiel: langsames Aufladen bis zur Zündspannung  $Z$ , plötzliche Entladung bis zur Löschspannung, verbunden mit Aufleuchten usf. Die Frequenz  $n$  des Aufleuchtens läßt sich, wenn die Lampe nicht zu schnell flackert, leicht bestimmen. Je größer der Widerstand, je enger also das Rohr, durch welches der Kondensator voll läuft, desto kleiner wird die Frequenz  $n$  sein. Vergrößert man  $C$ , dann wird es ebenfalls länger dauern, bis der Kondensator sich von 80 bis 100 Volt auffüllt; es ist also wahrscheinlich, daß  $n$  umgekehrt proportional  $C$  und  $R$  ist.

*Versuch 4:* Ein einfaches mechanisches Modell, das geeignet ist, den Schülern den Vorgang recht anschaulich zu machen, zeigt Fig. 3; es ist aus einem Lampenzylinder, durchbohrtem Stopfen und Heber  $G$  angefertigt. Ist durch das enge Rohr  $R$ , das mit der Wasserleitung verbunden ist, das Gefäß  $C$  bis zur Höhe 100 gefüllt, dann tritt der Heber  $G$  in Tätigkeit und hebt das Wasser bis zur Höhe 80 heraus; nun wiederholt sich das Spiel. Die Entleerung (Entladung) des Gefäßes (Kondensators)  $C$  durch den Heber (Glimmlampe)  $G$  erfolgt in regelmäßigen Abständen. Verkleinern von  $R$  (weiteres Rohr) und  $C$  (Banklötze ins Gefäß stellen) erhöht die Frequenz. Tritt durch  $R$  ebensoviel Wasser ein wie in der gleichen Zeit durch  $G$  abfließt, dann treten keine ruckweisen Entladungen mehr auf, das Fließen wird stationär.

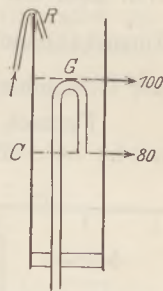


Fig. 3.

*Ableitung:* Es macht keine Schwierigkeiten, die vermutete Beziehung:

$$\text{Frequenz } n \text{ proportional } \frac{1}{\text{Widerstand } R \times \text{Kapazität } C}$$

durch theoretische Behandlung als richtig zu erweisen. Die konstante Netzspannung, die an den Punkten  $A$  und  $B$ , Fig 2, anliegt, sei  $v_0 = 110$  Volt; am Kondensator bestehe zur Zeit  $t$  während des Aufladens die Momentanspannung  $v$ . Gesucht ist die Zeit  $T$ , die nötig ist, um die Spannung am Kondensator von der Löschspannung  $L$  (80 Volt) auf Zündspannung  $Z$  (100 Volt) zu erhöhen.

Die durch  $R$  in der Zeit  $dt$  fließende Elektrizitätsmenge sei  $i \cdot dt$  Coulomb; sie erhöht die Spannung an  $C$  um  $dV$  Volt. Nach der Definition der Kapazität ist

$$i \cdot dt = C \cdot dV.$$

Da die Spannung, die den Strom in den Kondensator treibt,  $v_0 - v$  ist, ist nach dem Ohmschen Gesetz  $i = \frac{v_0 - v}{R}$ . Man erhält also die Differentialgleichung

$\frac{dv}{v_0 - v} = \frac{dt}{C \cdot R}$ , deren Lösung  $t = -C \cdot R \cdot \ln(v_0 - v) + C$  ist. Da zur Zeit  $t = 0$   $v = L = 80$  Volt und zur Zeit  $t = T$   $v = Z = 100$  Volt ist, ergibt sich

$$T = C \cdot R \cdot \ln \frac{v_0 - L}{v_0 - Z} = C \cdot R \cdot \ln 3 = k \cdot C \cdot R \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{oder } n = \frac{1}{T} = k_1 \cdot \frac{1}{C \cdot R} \quad \dots \dots \dots (2)$$

Werden zwei Kondensatoren  $C_1$  und  $C_2$  durch den gleichen Widerstand  $R$  aufgeladen und nachher durch die Glimmlampe  $G$  (teilweise) entladen, dann ist, wenn  $n_1$  und  $n_2$  die zugehörigen Frequenzen bedeuten,

$$n_1 \cdot C_1 = n_2 \cdot C_2 \quad \dots \dots \dots (3)$$

Die Frequenzen  $n$  sind also umgekehrt proportional den Kapazitäten; man kann daher den Versuch zur Vergleichung und Messung von Kondensatoren benutzen.

Andererseits kann man auch einen und denselben Kondensator durch die Widerstände  $R_1$  und  $R_2$  aufladen und wieder die Frequenzen messen, dann ist

$$n_1 \cdot R_1 = n_2 \cdot R_2 \dots \dots \dots (4)$$

so daß man also auch Widerstände, vorausgesetzt daß sie hinreichend groß sind, messen kann. Beide Möglichkeiten werden in der oben erwähnten Glimmbrücke ausgenutzt.

Es sei noch darauf hingewiesen, daß die Formel (1) nur dann richtig ist, wenn, wie es bei den Versuchen tatsächlich zutrifft, die Zeit der Aufladung des Kondensators groß ist gegenüber der Zeit, die seine Entladung durch die Glimmlampe beansprucht. Will man die letztere Zeit berücksichtigen, dann muß man zu dem Wert von  $T$  in Formel (1) auf der rechten Seite einen Summanden  $R_1 \cdot C \cdot \ln \frac{Z}{L}$ , wo  $R_1$  der Widerstand der Glimmlampe ist, hinzufügen.

*Versuch 5:* Die Ergebnisse der Kapazitätsmessung sind, wie Tabelle 1 zeigt, nicht befriedigend.

Tabelle 1.

1 Angabe	2 C mit Brücke gemessen	3 n pro Minute	4 C · n	5 n pro Minute	6 C · n
1 $\mu\text{F}$	0,97	129	125	95	92
2 $\mu\text{F}$	2,00	50	100	53	106
3 $\mu\text{F}$	3,28	44,5	146	34	112
4 $\mu\text{F}$	3,71	32,8	122	32	119

Die erste Spalte enthält die auf die Telephonkondensatoren aufgedruckte (ungefähre), die zweite die mit der Wheatstoneschen Brücke (s. u.) gemessene Kapazität; dabei ist der zweite Kondensator gleich 2,00 gesetzt. Spalte 3 gibt die Frequenz pro Minute, wenn die Aufladung durch einen Silitwiderstand von etwa 500 000  $\Omega$  bei einer Spannung von 110 Volt erfolgt. Die Produkte  $C \cdot n$  sind keineswegs konstant. Die Ursache ist darin zu suchen, daß die Zündspannung  $Z$  der Glimmlampe nicht konstant ist, sie ändert sich, wenn die Lampe nach längerer Benutzung warm wird; wahrscheinlich wird hierdurch auch die Löschspannung eine andere, so daß der Logarithmand in Gleichung (1) nicht konstant ist. Vielleicht spielt auch der Umstand eine Rolle, daß Papierkondensatoren nicht gut isolieren. Bei den in Spalte 5 enthaltenen Versuchen wurde statt des Silitwiderstandes eine Verstärkerröhre (siehe Versuch 6) benutzt. Wie Spalte 6 zeigt, sind die Ergebnisse nicht wesentlich besser.

Demnach ist der Versuch in dieser Form für eine genaue Messung nicht geeignet; dennoch empfiehlt es sich, ihn den Schülern vorzuführen, da er den Begriff der Kapazität ihrem Verständnis näher bringt. Weiter gestattet er, wenigstens ungefähr die Größe des Kondensators zu ermitteln.

*Versuch 6:* Sehr gute Resultate dagegen erhält man, wenn man folgende Anordnung (Fig. 4) trifft, die mit der in der schon erwähnten Glimmbrücke übereinstimmt. Als großer veränderlicher Widerstand dient die Verstärkerröhre  $R$ , deren Heizdraht  $H$  durch 1 oder 2 Bleisammler unter Vorschaltung des regulierbaren Heizwiderstandes  $R_1$  zum Glühen gebracht wird. An  $H$  liegt auch der negative Pol  $A$  der Netzleitung. Das Gitter — es liegt dem Heizdraht näher als die Anode und ist daher besser geeignet — ist über der Glimmlampe  $G$  mit dem positiven Pol  $B$  verbunden. Bringt man den Heizdraht zu schwachem Glühen, dann tritt an der Kathode der Glimmlampe ein ganz kleiner Glimmlichtfleck auf, der mit Verkleinerung des Heizwiderstandes  $R_1$ , also Erhöhung der Temperatur von  $H$ , größer wird und schließlich die ganze Kathode bedeckt. Das Einschalten des Drehspulspiegelgalvanometers in



die Leitung zeigt, daß hierbei die Stromstärke allmählich ansteigt, so daß man aus der Größe des Glimmlichtflecks auf die Stromstärke schließen kann. Liest man Stromstärke  $i$  und Spannung  $e$  ab, dann ergibt der Quotient  $\frac{e}{i}$  den Widerstand der Röhre. (Die Kennlinie, welche die Abhängigkeit der (Anoden-) Stromstärke von der (Anoden-) Spannung angibt, ist, solange der Strom noch nicht gesättigt ist, eine Gerade, deren Richtungsfaktor der innere Widerstand der Röhre ist.) Die Messung ergibt für schwache Heizung etwa 10 Milliarden Ohm, bei kräftiger (normaler) Heizung dagegen rund 50 000  $\Omega$ , so daß demnach der Widerstand der Röhre durch Änderung der Heizung in sehr weiten Grenzen, etwa im Verhältnis 1 : 200 000, veränderlich ist.

*Versuch 7:* Jetzt legt man an die Fußklemmen  $H_1$  und  $H_2$ , also parallel zur Lampe  $G$ , die mittleren Kontakte  $E_1$  und  $E_2$  der Wippe, deren beiden unteren Kontakte mit einem Drehkondensator  $C_0$  von 1000 cm verbunden sind, wie er für Rundfunkzwecke für 8 bis 10 Mark zu haben ist. An die oberen Kontakte  $F_1$   $F_2$  legt man den zu messenden (kleineren) Kondensator  $C$ . An die Klemmen  $D$  schaltet man einen Rundfunkhörer  $F$  von 4000  $\Omega$  (2000  $\Omega$  pro Muschel). Um den Ton den Schülern vernehmbar zu machen, schiebt man, wie Fig. 4 a zeigt, jede Muschel auf einen Schalltrichter von 30 bis 40 cm Länge, den man leicht aus Weiß- oder Zinkblech herstellen kann; jeder Trichter trägt unten einen Stengel, der in ein Röhrenstativ paßt. Hat man einen Lautsprecher, dann wird dieser dieselben, vielleicht bessere Dienste leisten.

Man legt zunächst  $C_0$  in die Leitung und heizt  $H$  schwach an (evtl. nimmt man als Heizbatterie nur einen Bleisammler). Dann sieht man die Lampe  $G$  schnell flackern und hört in  $F$  schnell aufeinander folgendes Knacken. Verkleinert man langsam den Heizwiderstand  $R_1$ , dann entsteht allmählich ein sehr tiefer Ton; die Lampe glüht scheinbar gleichmäßig. Stärkeres Heizen erhöht den Ton mehr und mehr, bis er schließlich bei sehr großer Tonhöhe abbricht, wenn nämlich die durch  $R$  fließende Elektrizitätsmenge gerade so groß ist, daß sie in der gleichen Zeit durch  $G$  abfließt, wenn also der stationäre Zustand erreicht ist. Dieser Versuch zeigt, daß die Entladungsfrequenz  $n$  umgekehrt proportional dem Widerstand  $R$  ist.

Beobachtet man den an  $G$  auftretenden Glimmlichtfleck im Drehspiegel, so sieht man, daß er zunächst intermittierend ist, während er, nachdem durch hinreichendes Verkleinern von  $R$  der stationäre Zustand eingetreten ist, gleichmäßig leuchtet. Besser setzt man  $G$  auf den Lampenarm des Glimmlampenoszillographen (vgl. Seite 112, Fußnote); den Pappzylinder mit Spalt kann man weglassen. Läßt man nun den Lampenarm rotieren, dann sieht man im verdunkelten Zimmer sehr schön, wie die Lampe an einzelnen, in gleichen Abständen voneinander liegenden Stellen ihrer Kreisbahn aufleuchtet und wie diese Abstände bei verstärkter Heizung näher und näher aneinander rücken, um schließlich in einen gleichmäßig leuchtenden Kreisring überzugehen. Die höchste Frequenz, die ich mit dem Oszillographen noch messen konnte, betrug 2700 pro Sekunde (bei 160 Drehungen des Lampenarms pro Minute). Da der Fernhörer immer den zugehörigen Ton angibt, zeigt der Versuch gleichzeitig sehr überzeugend, daß die Tonhöhe mit der Frequenz wächst.

Von den im Handel käuflichen Glimmlampen ist für den Versuch die ältere Kappenlampe für 220 Volt vorzüglich geeignet; sie enthält als Kathode eine blanke Metallhalbkugel mit Quecksilber und als Anode einen kurzen unterhalb der Kappe sitzenden Draht, ist also eine Gleichstromlampe. Sie gibt einen kräftigen Ton im

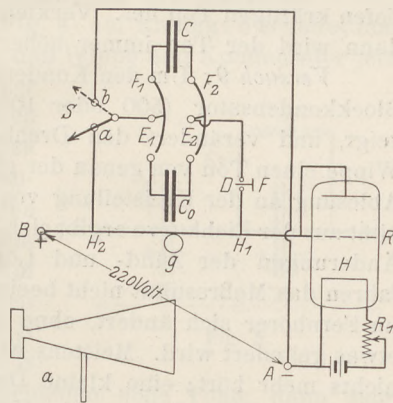


Fig. 4.

Fernhörer. Fast ebenso gute Resultate habe ich mit der Wechselstromspirallampe (220 Volt) erhalten (der unten liegende, in einer Ebene gewundene Draht muß am positiven Pol liegen) und mit der Polanzeige-Lampe (220 Volt); die Elektroden haben die Gestalt eines + und — erhalten. Der Ton ist wesentlich schwächer, wenn man die Wechselstromlampe (110 Volt) der Osramgesellschaft mit übereinander sitzenden halbkugelförmigen Elektroden benutzt. Da ich bei meinem ersten Versuch diese Lampe verwendete, habe ich, um den Ton der Klasse vernehmbar zu machen, mit den Klemmen  $D$  den Eingangstransformator eines in übersichtlicher Weise für Unterrichtszwecke selbst zusammengebauten Dreiröhrenniederfrequenzverstärkers, den Fernhörer mit Trichtern mit dem Ausgangstransformator verbunden. Man erhält so einen äußerst kräftigen Ton. Ich vermute, daß ein Einröhrenverstärker vollkommen ausreichen würde.

*Versuch 8:* Um die Abhängigkeit der Frequenz von der Kapazität des Kondensators zu untersuchen, stellt man durch Regulieren von  $R_1$  einen tiefen kräftigen Ton her. Verkleinert man jetzt die Kapazität des Drehkondensators  $C_0$ , dann wird der Ton immer höher,  $n$  also größer.

*Versuch 9:* Um den Kondensator  $C$ , etwa eine kleine Leydener Flasche oder einen Blockkondensator (500 oder 1000 cm) auszumessen, schaltet man ihn, wie Fig. 4 zeigt, und verändert den Drehkondensator  $C_0$  so lange, bis man bei Umlegen der Wippe einen Ton von genau der gleichen Höhe hört. Dann sind  $C_0$  und  $C$  gleich; aus der Ablesung an der Kreisteilung von  $C_0$  und Entnahme des zugehörigen Wertes der Kapazität aus der Eichkurve ergibt sich die Größe von  $C$ . Es liegt auf der Hand, daß eventuelle Änderungen der Zünd- und Löschspannung der Lampe bei diesem Vergleichsverfahren das Meßresultat nicht beeinflussen. Man beobachtet nämlich häufig, daß der Ton im Fernhörer sich ändert, ohne daß am Heizwiderstand oder an der Schaltung irgend etwas geändert wird. Meistens wird er höher, gelegentlich so hoch, daß man überhaupt nichts mehr hört; eine kleine Drehung am Heizwiderstand  $R_1$  bringt ihn wieder auf die gewünschte Höhe. Die Ursache dieser Erscheinung ist in der Änderung von Lösch- und Zündspannung (s. o.) zu suchen. Wahrscheinlich spielt auch die Spannung der Heizbatterie eine Rolle; eine geringe Erhöhung derselben steigert den Heizstrom und hat eine ganz beträchtliche Zunahme der Elektronenemission am Heizdraht zur Folge.

*Versuch 10:* Um die Dielektrizitätskonstante des Hartgummis zu messen, benutzt man einen Plattenkondensator, etwa den Weinholdschen. Man mißt nach Versuch 10 seine Kapazität, wenn die Hartgummischeibe zwischen den Metallplatten liegt. Dann legt man drei kleine etwa 1 qcm große Plättchen aus Glas oder Hartgummi, welche die gleiche Dicke haben wie die Hartgummiplatte, zwischen die Metallplatten und mißt jetzt die Kapazität dieses Luftkondensators. Das Verhältnis der ersten zur zweiten Messung ist die Dielektrizitätskonstante. Ich habe für Hartgummi etwa 1,6 und für Glas etwa 1,8 gefunden; daß die Werte zu klein sind, erklärt sich daraus, daß die Metallplatten nicht vollkommen in Hartgummi bzw. Glas eingebettet sind.

*Versuch 11:* Um die Kapazität einer Antenne zu messen, verbindet man sie mit  $F_2$ , während  $F_1$  an die Wasserleitung gelegt wird, so daß die Erde die eine, während der Luftdraht der Antenne die zweite Belegung des Kondensators bildet. Dabei ist es wesentlich, daß man den Nulleiter der Starkstromleitung mit  $B$  und den Spannungsleiter (— 110 Volt) mit  $A$  verbindet. Im übrigen verfährt man wie bei Versuch 10. Da die Antenne ungedämpft schwingt, strahlt sie aus; doch ist wegen der niedrigen Frequenz und der damit verbundenen sehr großen Welle, ferner wegen der geringen Energie der Schwingungen eine Störung benachbarter Rundfunkstationen nicht zu befürchten. Schaltet man statt der Antenne eine Spule oder einen etwa 1 m langen isolierten Draht an  $F_2$ , dann läßt sich dessen Kapazität messen, vorausgesetzt, daß man den Drehkondensator  $C_0$  genügend verkleinern kann. Man hört einen sehr hohen Ton. Dieser wird deutlich tiefer, wenn man die Hand um die Spule



oder den Draht legt. Die Annäherung der zweiten Belegung Erde an die erste, erhöht die Kapazität (Kapazitätsempfindlichkeit der Spulen). Ich habe ferner im Unterricht die Kapazität des Grimsehl'schen Elektrometers (kleiner als 30 cm), eines 4 m langen Doppelkabels (320 cm), dito 2,6 m lang (160 cm), eines eisernen Ofenschirms (etwa  $\frac{1}{2}$  m<sup>2</sup>), der auf dem Linoleumfußboden stand (etwa 100 cm), weiter die Kapazität eines auf dem Isolierschemel stehenden Schülers gemessen; sie betrug etwa 40 cm für einen großen und etwas weniger für einen kleinen Schüler. Hebt er den Arm hoch, dann wird der Ton etwas tiefer, die Kapazität größer. Legt man an  $F_1$   $F_2$  einen Schornsteinkondensator — einen vertikal aufgestellten Messingzylinder von etwa 8 cm Weite und 60 cm Länge, in dessen Achse ein Metalldraht isoliert vom Zylinder ausgedehnt ist — dann wird der Ton im Fernhörer deutlich tiefer, wenn eine Bunsenflamme unter den Zylinder geschoben wird. Die im Zylinderkondensator aufsteigende ionisierte Luft erzeugt eine ganz geringe Luftfähigkeit zwischen den Belegungen; diese wirkt wie eine Vergrößerung der Kapazität.

*Versuch 12:* Durch Umlegen des Schalters  $S$  (Fig. 4) auf Kontakt  $b$  schaltet man die Klemme  $E_1$  der Wippe an den negativen Pol  $A$ , so daß Wippe und Kondensator jetzt parallel zur Verstärkerröhre  $R$  liegen, während sie vorher der Glimmlampe  $G$  parallel geschaltet waren. Durch diese Umschaltung kann man nach GEFFCKEN und RICHTER (s. o.) mit der Glimmbrücke feststellen, ob der Kondensator  $C_0$  oder  $C$  gut isoliert. Man erzeugt eine schwache Leitfähigkeit von  $C_0$  am besten dadurch, daß man ihm parallel einen Silitwiderstand von einigen Millionen Ohm schaltet. Heizt man jetzt  $R$  an, dann ist der Ton, den man im Fernhörer vernimmt, tiefer, wenn der Schalter  $S$  auf Kontakt  $a$  als wenn er auf  $b$  liegt. Legt man also  $S$  schnell hintereinander um, und hört man dabei verschieden hohe Töne, dann zeigt das eine Leitfähigkeit, also eine schlechte Isolation des Kondensators an.

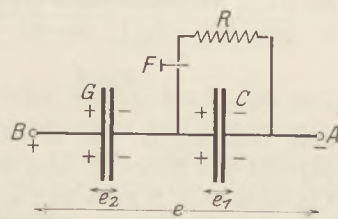


Fig. 5.

Die Erklärung ist folgende: Liegt  $C$  zunächst parallel zu  $G$ , dann wird, wenn  $C$  etwas leitet, ein Teil der durch  $R$  dem Kondensator zufließenden Ladung dauernd wieder abfließen, so daß es länger dauert, bis sich der Kondensator von der Löschspannung (80 Volt) auf die Zündspannung (100 Volt) auflädt; die schlechte Isolation kann als eine Vergrößerung der Kapazität aufgefaßt werden. Der schlecht isolierte Kondensator gibt also einen tieferen Ton als der tadellos isolierte. Fig. 5 zeigt die zweite Schaltung, wenn  $S$  auf  $b$  liegt; der Kondensator  $C$  liegt jetzt parallel zum Widerstand  $R$ . Die beiden Elektroden der Glimmlampe  $G$  stellen, so lange die Lampe keinen Strom hindurch läßt, nichts anderes als die Belegungen eines Kondensators dar. In Fig. 5 ist  $G$  als Kondensator gezeichnet; er liegt hinter  $C$ , und wir wollen annehmen, daß die Kapazitäten von  $C$  und  $G$  gleich sind. Ist  $R$  zunächst nicht angeschaltet, dann ist die Spannung  $e_1$  an  $C$  gleich der Spannung  $e_2$  an  $G$  und  $e_1 + e_2 = e = 110$  Volt. Schaltet man jetzt  $R$  an, dann fließt durch  $R$  die Ladung von  $C$  langsam ab,  $e_1$  wird kleiner,  $e_2$  entsprechend größer, bis schließlich  $e_2$  den Wert der Zündspannung  $Z = 100$  Volt erreicht. Der Kondensator  $G$  wird plötzlich leitend, er entlädt sich bis auf 80 Volt,  $e_1$  steigt, und  $C$  lädt sich wieder auf. Jetzt wiederholt sich das Spiel von neuem. Die Verhältnisse liegen also jetzt so, daß  $C$  sich durch  $G$  plötzlich auflädt und langsam durch  $R$  entlädt, also gerade umgekehrt, wie wenn  $C$  parallel zu  $G$  liegt. Einen gut isolierenden Kondensator  $C$  vorausgesetzt, muß die Tonhöhe bei beiden Schaltungen die gleiche sein. Leitet dagegen  $C$ , dann erfolgt (Fig. 5,  $S$  auf  $b$ ) die Entladung schneller, da außer durch  $R$  auch ein Abfließen durch  $C$  erfolgt. Der Ton wird also höher, während er tiefer wird, wenn  $C$  parallel  $G$  liegt ( $S$  auf  $a$ ).

Zu erwähnen ist noch, daß die Schwingungen, welche bei diesen Versuchen in der Glimmlampe auftreten, sogenannte Schwingungen zweiter Art sind, bei denen

die Stromstärke eine gewisse Zeit lang, nämlich während der Aufladung des Kondensators, Null ist. Verkleinert man durch stärkeres Heizen allmählich den Widerstand der Röhre  $R$ , dann kann man nach SCHALLREUTER (s. oben Fußnote) auch Schwingungen erster Art erhalten, also solche, denen ein konstanter Gleichstrom überlagert ist; der Strom in der Gastrecke behält hierbei dauernd die gleiche Richtung und wird nie Null. Für Schwingungen erster Art gilt die Kirchhoff-Thomson'sche Formel  $T = 2\pi\sqrt{L \cdot C}$ , die für solche zweiter Art keine Gültigkeit hat. Schwingungen dritter Art, wie sie in

der Bogenlampe auftreten, bei deren Rückzündung erfolgt und sich die Stromrichtung umkehrt, scheinen bisher an Glimmlampen nicht beobachtet zu sein.

Um jederzeit schnell Kapazitätsmessungen ausführen zu können, habe ich in der Werkstatt unserer Schule eine Glimmbrücke<sup>1)</sup> gebaut, deren Schaltbild Fig. 6 zeigt. Verstärkerröhre  $R$  mit Heizwiderstand  $R_1$  und Glimmlampe  $G$  sind auf einer Hartgummiplatte ( $21 \times 29 \text{ cm}^2$ ) montiert. Zum Umschalten der Kondensatoren  $C$  und  $C^0$  dient statt der Wippe  $E_1 E_2$  (Fig. 4) der Umschalter mit den Klemmen 7, 8, 9, 10. Legt

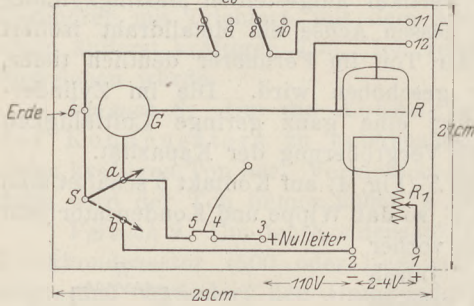


Fig. 6.

man Schalter  $S$  von  $a$  nach  $b$  um, dann schaltet man damit den Kondensator parallel zur Röhre  $R$  und kann ihn auf schlechte Isolation untersuchen: bei schnellem Umlegen von  $S$  zwischen  $a$  und  $b$  ändert sich dann die Tonhöhe. Statt den Fernhörer  $F$  an 11 und 12 einzuschalten, kann man ihn auch an die Klemmen<sup>2)</sup> 4 und 5 legen; doch ist dann der Ton bei gleicher Höhe sehr viel leiser. An Klemme 6 wird bei Messung von Antennen, Spulen usw. die Erde angelegt.

Der Apparat ist vorzüglich geeignet, schnell und sicher Kapazitätsmessungen auszuführen. Für subjektive Beobachtungen mit Kopffernhörer lege ich an 2 und 3 nur 110 Volt an und schraube in die Glühlampenfassung  $G$  die Wechselstromlampe mit übereinandersitzenden halbkugelförmigen Elektroden (s. o. Versuch 7) ein, da diese einen nicht zu kräftigen Ton gibt. Sollte er im Kopffernhörer doch noch zu laut sein, dann wählt man statt eines solchen von  $4000 \Omega$  einen mit kleinerem Widerstand.

## II. Messungen von Kondensatoren in den Schülerübungen.

*Methode:* Man wendet am besten das gebräuchliche Verfahren mittels Wheatstone'scher Brücke an, von dem Fig. 7 die Schaltung zeigt. Für das Gelingen des

Versuchs ist wesentlich, daß der Meßdraht  $AB$  einen hohen Widerstand hat. Unsere Brücken sind mit 1 m Konstantendraht von 0,18 mm Durchmesser und  $19 \Omega$  Widerstand bespannt. Das Induktorium  $I$  (Preis 1913 etwa 8 Mk.) wird durch einen Bleisammler  $E$ , den gleichzeitig 2 Schülergruppen benutzen, gespeist. Um das störende Geräusch des Hammerunterbrechers  $U$  zu dämpfen, empfiehlt es sich, das Induktorium in einen mit Watte ausgelegten Zigarrenkasten mit Deckel zu setzen.  $F$  ist der für den Rundfunk gebräuchliche Doppelkopffernhörer von  $2000 \Omega$

Widerstand pro Muschel. Ist durch Verschieben des Gleitkontaktes  $D$  das Tonminimum ermittelt, dann ist bekanntlich

<sup>1)</sup> Die Glimmbrücke von GEFCKEN und RICHTER wird von der Firma Kohl-Huth, Berlin-Leipzig, angefertigt.

<sup>2)</sup> Sie sind gewöhnlich durch einen Metallbügel (am Bindfaden befestigt) kurz geschlossen.

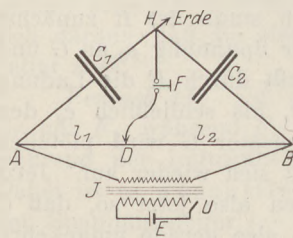


Fig. 7.



$$C_1 : C_2 = l_2 : l_1 \text{ oder } C_1 = C_2 \cdot \frac{l_2}{l_1} \dots \dots \dots (5)$$

Als Meßmaterial dienen:

1. Telephonkondensatoren von 0,5 bis 4  $\mu$ F.
2. Blockkondensatoren von 500 und 1000 cm, wie man sie für Rundfunkzwecke für 0,60 M. kaufen kann.

3. Drehkondensatoren mit Knopf und Skala von 500 und 1000 cm. Der Kondensator wird in einem Holzkasten ohne Vorder- und Hinterwand montiert und mit zwei kurzen blanken Kupferdrähten zum Anschluß an die Brücke versehen.

4. Plattenkondensatoren. Als solche dienen kreisrunde Platten aus etwa 2 mm dickem Zinkblech von 16 cm Durchmesser. Jede Platte trägt nahe dem Rande eine Klemme, durch die sie mit einem kurzen blanken Kupferdraht mit der Brücke verbunden wird. Die eine (untere) Platte wird auf einen Holzklötz gelegt, die zweite kommt darauf, und zwar wird sie durch drei kleine Glasplättchen von 1,5 mm Dicke und etwa 1 qcm Fläche von der unteren isoliert. Dadurch, daß man mehrere Glasstücke aufeinanderlegt, kann man den Abstand der Platten des Luftkondensators auf den 2-, 3- und 4fachen Wert bringen. Außerdem haben wir Glasplatten (18  $\times$  18 cm<sup>2</sup>, Dicke 1,5 mm) und Hartgummischeiben (Durchmesser 18 cm, Dicke 1,2 mm) mit Plättchen gleicher Dicke.

5. Als Antenne dient Kupferlitze von 10 bis 15 m Länge, die an den Enden mit je zwei Porzellaneiern versehen ist. Sechs davon können nebeneinander im Übungszimmer etwa 1,5 m über dem Fußboden horizontal ausgespannt werden. Eine geschlitzte Klemme kann auf der Antenne verschoben werden; durch sie wird die Verbindung mit der Brücke (Klemme A) hergestellt. Die andere Klemme an der Brücke (H in Fig. 7) wird an die Gasleitung gelegt.

Da einerseits eine gute Kapazitätseinheit recht teuer ist, andererseits aber die Angaben der Firmen über die Größe ihrer Kondensatoren von dem wirklichen Wert häufig beträchtlich abweichen, so bleibt nichts anderes übrig, als irgend einen Kondensator, etwa den Drehkondensator von 1000 cm als Einheit für die Messung zu nehmen; ebenso nimmt man einen Telephonkondensator als größere willkürliche Einheit.

Bei allen Messungen, namentlich wenn es sich um kleine Kapazitäten handelt, ist zu bedenken, daß die Verbindungsdrähte eine merkliche Kapazität besitzen, ferner daß bei leitender Verbindung zweier Leiter die resultierende Kapazität nicht unbedingt gleich der Summe der Einzelkapazitäten ist.

*Aufgabe 1:* Zwei Telephonkondensatoren sind miteinander zu vergleichen. Das Tonminimum ist scharf ausgeprägt, die Einstellung auf 1 mm etwa genau.

*Aufgabe 2:* Zwei Blockkondensatoren zu vergleichen. Je kleiner die Kapazität, desto flacher das Minimum; man hört bei einer Verschiebung des Gleitkontaktes um einige Zentimeter überhaupt keinen Ton<sup>1)</sup>. Man bestimmt an den Enden dieser Strecke die Punkte, an denen man im Fernhörer wieder etwas hört und nimmt ihre Mitte.

*Aufgabe 3:* Eichung eines Drehkondensators. Man schaltet in den einen Brückenzweig den Drehkondensator von 1000 cm, in den zweiten einen Blockkondensator von der gleichen Angabe. Man mißt den letzteren, indem man den ersteren gleich 1000 cm setzt, aus und findet z. B. 992 cm. Jetzt mißt man mit diesem den Drehkondensator aus, indem man das bewegliche Plattensystem

Tabelle 2.

Grad	$l_1/l_2$	C
180°	502/498	1000 cm
150°	462/538	852 "
120°	414/586	701 "
90°	350/650	534 "
60°	275/725	376 "
30°	187/813	228 "
0°	80/920	86 "

<sup>1)</sup> Auch bei Vertauschen von Stromquelle und Fernhörer wird das Minimum nicht besser.

allmählich aus dem festen herausdreht und die Stellung an der Skala abliest. Auf Grund der Tabelle 2 wird die Eichkurve des Kondensators gezeichnet.

*Aufgabe 4.* Wie hängt die Kapazität eines Plattenkondensators von dem Plattenabstand  $d$  ab? Man legt am besten in jeden Brückenast einen Plattenkondensator mit gleich dicker Luftschicht. Während man den einen als Einheit (= 100) benutzt und ihn nicht ändert, vergrößert man den Abstand des anderen durch Zwischenlegen von Glasplättchen auf 2, 3 und 4  $d$ . Tabelle 3 zeigt das Ergebnis einer Messung mit sehr dünner Luftschicht  $d$ .

Tabelle 3.

$d$	$C_{\text{beob.}}$	$C \cdot d$	$C_{\text{ber.}}$
0,04 cm	399 cm	16,0	400 cm
0,06 „	282 „	16,9	267 „

Als  $C_0$  diene ein Blockkondensator, Angabe 1000 cm. Der nach der Formel  $C = \frac{\epsilon^2 \cdot \pi}{4\pi \cdot d}$  berechnete Wert stimmt für ganz geringen Plattenabstand recht gut mit dem gemessenen überein.  $C \cdot d$  müßte konstant sein; der zweite Wert ist um reichlich 5% größer als der erste. Für größere Werte von  $d$  werden die Abweichungen der Produkte  $C \cdot d$  voneinander immer größer; z. B. ergab sich bei einem anderen Versuch für 1, 2 und 3  $d$  ( $d = 0,9$  mm)  $C \cdot d$  111, 134, 147.

Die Abweichung erklärt sich daraus, daß die Formel  $C = \frac{F}{4\pi d}$  unter der Voraussetzung gilt, daß die Ladungen nur auf den inneren einander zugewandten Flächen sitzen, daß die Kraftlinien also nur innerhalb der dünnen Luftschicht zwischen den Platten verlaufen, während sie in Wirklichkeit aus diesem Raum herausquellen und auch von den äußeren Oberflächen ausgehen. Die wirklich gemessene Kapazität setzt sich aus zwei Teilen zusammen, dem durch die Formel gegebenen und einem zweiten. Der letztere ist bei sehr kleinem Plattenabstand zu vernachlässigen, nimmt aber mit zunehmendem  $d$  immer mehr an Gewicht zu, und für  $d = \infty$  sind beide Werte gleich.

Es wäre meines Erachtens vollkommen falsch, wenn man diese Messungen nicht ausführen wollte, weil ihr Ergebnis nicht „stimmt“. Es stimmt sehr wohl, wenn man die Bedeutung der Formel klarlegt.

*Aufgabe 5:* Bestimmung der Dielektrizitätskonstante  $E$  von Glas und Hartgummi vgl. Versuch 10.

*Aufgabe 6:* Messung der Kapazität einer Antenne und einer Spule. Da beide klein sind, nimmt man als Einheit am besten den Plattenkondensator.

Zum Schluß sei noch darauf hingewiesen, daß man mittels der Brücke in bekannter Weise Widerstände von Elektrolyten bestimmen und daraus den Dissoziationsgrad berechnen kann. Als Gefäße dienen uns rechteckige Tröge ( $4 \times 8$  cm<sup>2</sup>, Höhe 10 cm), vernickelte Kupferelektroden ( $4 \times 10$  cm<sup>2</sup>) füllen die ganze Schmalseite aus, so daß die Stromlinien im wesentlichen parallele horizontale Geraden sind. Als Vergleichswiderstände dienen Spulen aus Konstantandraht (bifilar gewickelt) von 1, 10, 100 und 1000  $\Omega$ . Durch Wägung wird eine Normallösung von Kaliumchlorid in destilliertem Wasser und aus dieser mittels Saugpipette (100 ccm) und 1 Literkolben eine  $1/10$ ,  $1/100$  und  $1/1000$  n-Lösung hergestellt. Von jeder Lösung wird der Widerstand gemessen, den 150 ccm haben, wenn sie zwischen die Elektroden gebracht werden. Bei jedem Wechsel der Lösung gut mit der neuen Lösung vorspülen! Das Tonminimum ist am unschärfsten bei der 1 n-Lösung; je verdünnter die Lösung wird, um so genauer läßt es sich einstellen. Aus den Messungen der verschiedenen Gruppen wird das Mittel gebildet, siehe folgende Tabelle, erste Reihe,



	1 n	$\frac{1}{10}$ n	$\frac{1}{100}$ n	$\frac{1}{1000}$ n	$\frac{1}{\infty}$ n
1. Widerstand . . . . .	4,8 $\Omega$	36 $\Omega$	313 $\Omega$	2720 $\Omega$	—
2. Äquivalentwiderstand . . . .	4,8	3,6	3,1	2,7	2,2
3. Dissoziationsgrad . . . . .	46 %	61 %	71 %	81 %	100 %

Jetzt berechnet man den Äquivalentwiderstand, d. h. den Widerstand, welchen die in 150 ccm 1 n-Lösung enthaltene Anzahl KCl-Moleküle dem Strom bieten, wenn bei ungeändertem Elektrodenabstand die Oberfläche der Elektroden auf den 10- bzw. 100- und 1000fachen Wert gebracht wird: siehe Reihe 2. Den Widerstand bei unendlicher Verdünnung findet man durch Extrapolation (unter Hinweis auf die Unsicherheit dieses Verfahrens): auf der Abszissenachse trägt man die Normalität der Lösung 1,  $\frac{1}{10}$ ,  $\frac{1}{100}$ ,  $\frac{1}{1000}$ , am besten die Logarithmen 0, -1, -2, -3 ab, senkrecht dazu den Äquivalentwiderstand. Nun verlängert man die erst steil, dann flacher abfallende Kurve nach links über -3 ( $\frac{1}{1000}$ ) hinaus, bis sie parallel zur X-Achse verläuft. Ihr Abstand von der Horizontalen ergibt den Äquivalentwiderstand bei unendlicher Verdünnung: 2,2  $\Omega$ . Der Dissoziationsgrad der 1 n-Lösung ist dann der Quotient aus Äquivalentwiderstand bei unendlicher Verdünnung durch Äquivalentwiderstand bei Verdünnung 1 n, also  $\frac{2,2}{4,8} \cdot 100 = 46\%$ , vgl. Reihe 3.

## Über die fraktionierte Verbrennung von Wasserstoff und Methan in Gemischen mit atmosphärischer Luft.

Von Prof. Dr. P. Rischbieth in Hamburg.

Es ist bekannt, daß der Wasserstoff, mit Luft gemischt, leichter verbrennt als das Methan und daß, wenn man ein Gemisch von Wasserstoff und Methan mit der zur Verbrennung beider ausreichenden Menge Luft durch eine nicht ganz bis zum Glühen erhitzte Palladiumkapillare leitet, ausschließlich der Wasserstoff verbrennt. Hierauf gründet sich eine gute Methode der Trennung von Wasserstoff und Methan in ihrem Gemisch mit atmosphärischer Luft. Es war nun zu erwarten, daß auch in der Glühdrahtpipette (vgl. diese Zeitschr. 34, S. 210) aus einem Gemische der beiden Gase mit Luft bei relativ niedriger Temperatur des Platindrahtes zuerst der Wasserstoff allein verbrennen würde. Es ist das nun, wie ich kürzlich gefunden habe, in der Tat der Fall. Da dieses Verhalten in erster Linie für die Gasanalyse von Bedeutung ist, so habe ich meine diesbezüglichen Versuche in der Chemikerzeitung veröffentlicht.

Es erscheint nun aber besonders in Hinsicht auf die zunehmende Bedeutung der Heizgase für die Technik auch für den Unterricht wünschenswert, die Tatsache, daß der molekulare Wasserstoff leichter verbrennt als der an Kohlenstoff gebundene, durch einige Versuche zu demonstrieren, zumal sich diese Versuche mit Hilfe der Glühdrahtpipette in eleganter Weise und in wenigen Minuten ausführen lassen. Die Verbrennung erfolgt ohne Explosion oder Verpuffung und ist ganz ungefährlich, wenn man wie folgt verfährt.

Versuch 1. Man sperrt in der 100 ccm-Gasbürette 10 ccm reinen Wasserstoff ab, läßt bei tiefgehaltenem Niveaurohr 60 bis 70 ccm Luft in die Bürette strömen, liest den Bürettenstand ab und führt das Gasmisch in die durch Schlauchstück mit der Bürette verbundene Glühdrahtpipette über. Nun schließt man den elektrischen Strom und reguliert ihn durch Ausschaltung von Widerstand, so daß der Draht zwar heiß, aber nicht glühend wird. Es ist das an der strahlenden Wärme des Platindrahts durch die Glaswand der Pipette hindurch leicht zu bemerken. Sofort beginnt die Vereinigung von Wasserstoff und Sauerstoff unter dem Einfluß des erhitzten Platindrahts

als Katalysator. Zuweilen wird durch die Verbrennungswärme des Wasserstoffs der Draht vorübergehend dunkelrotglühend. Man steigert noch etwa eine Minute die Temperatur des Drahtes bis zur Rotglut, um die letzten Spuren Wasserstoff schneller zu verbrennen. Nachdem man die oberhalb des Drahtes warm gewordene Pipette sich etwas hat abkühlen lassen, zieht man durch Senken des Niveaurohres den Gasüberschuß in die Bürette zurück und liest den Büettenstand ab. Es zeigt sich, daß 15 ccm Gas verschwunden sind, daß sich somit 10 ccm  $H_2$  mit 5 ccm  $O_2$  verbunden haben. Wesentlich anders verhält sich nun das Methan, wie der folgende Versuch zeigt.

Versuch 2. Man sperrt 6 ccm Methan in der Gasbürette ab, saugt 80 bis 90 ccm Luft dazu in die Bürette hinein und drückt das Gasgemisch in die Glühdrahtpipette hinüber. Schließt man jetzt den Strom und bringt den Platindraht zur kirschroten Glut, so tritt, wenn das Methan wasserstofffrei ist, keine Volumänderung ein. Erst wenn der Draht durch Verstärkung des Stroms hellrot glüht, verbrennt das Methan. Dabei entsteht eine so große Wärmemenge, daß der Draht weißglühend wird. Es ist daher geraten, um ein bei dünnerem Draht mögliches Durchschmelzen zu vermeiden, die Hand am Rheostaten zu lassen und in dem Augenblicke, wo die Verbrennung lebhaft einsetzt, die Kurbel etwas zurückzudrehen. Nachdem man den Draht noch etwa eine Minute bei heller Rotglut gehalten hat, unterbricht man den Strom, läßt die Pipette sich etwas abkühlen und führt den Gasrest in die Bürette zurück. Die Kontraktion ergibt sich zu etwa 12 ccm, d. h. dem Doppelten des Methanvolums. Man kann mit dem Versuch die früher beschriebene Analyse des Methans verbinden, indem man das Gasgemisch jetzt in die Kalipipette leitet und das Kohlendioxyd zur Absorption bringt. Sein Volumen beträgt sehr angenähert 6 ccm.

Aus obigen beiden Versuchen ergibt sich nun die fraktionierte Verbrennung eines Wasserstoff-Methan-Luft-Gemisches wie folgt.

Versuch 3. 10 ccm eines Gemisches von Wasserstoff und Methan, das nicht mehr als 50% Methan enthält, vermischt man wie oben in der Bürette mit 70 bis 80 ccm Luft und leitet das Gemisch in die Pipette. Dann macht man den Draht dunkelrotglühend und führt nach 1 bis 2 Minuten das Gas in die Bürette zurück. Die mit  $\frac{2}{3}$  multiplizierte Kontraktion ergibt das Wasserstoffvolumen. Man führt nun das Gas nochmals in die Pipette und verbrennt vorsichtig bei auf Rotglut gehaltenem Draht das Methan. Durch Verdoppelung der Kontraktion erhält man das Methanvolumen.

Ein Versuch gab folgendes Resultat. Das angewandte Gasgemisch bestand aus 74% Wasserstoff und 25,5% Methan.

	Büettenstand	Volumen		
Gasgemisch . . . . .	90	10		
Luft . . . . .	19,5	70,5	entspricht	14,7 O
Nach Verbrennung des H . . . . .	30,7	—		
Kontraktion . . . . .	—	11,2	entspricht	7,5 H
Nach Verbrennung des CH . . . . .	35,9	—		
Kontraktion . . . . .	—	5,2	entspricht	2,6 $CH_4$

Zur Kontrolle wurde noch mit der Kalipipette das  $CO_2$  und mit der Phosphorpipette der Sauerstoff bestimmt.

Nach Absorption des $CO_2$ . . . . .	38,5	—	—
$CO_2$ . . . . .	—	2,5	entspricht 2,6 $CH_4$
Nach Absorption des O . . . . .	44,6	—	—
O Rest . . . . .	—	6,1	—
Verbraucht: $O_2$ . . . . .	(14,7 — 6,1)	8,6	(berechnet 8,8)

Bemerkung. Aus Acetat frisch bereitetes Methan enthält, wie es scheint, in geringer Menge schwere Kohlenwasserstoffe und darf nicht verwandt werden. Man schüttelt es mit Natronlauge oder läßt es einen Tag oder länger in einem Gassammelgefäß über Wasser stehen. Auch enthält das so bereitete Gas stets mehr oder weniger Wasserstoff. Der Platindraht sollte etwa 0,5 mm stark sein.



## Kleine Mitteilungen.

### Eine Bemerkung zu den Versuchen über die stabilfreien Achsen.

Von Prof. Dr. Franz Zimmermann in Horn (Niederösterreich).

Für diese Versuche finden sich in den Sammlungen ein Zylinder und ein Doppelkegel, die so dimensioniert sind, daß sie auf der Schwungmaschine aus der Rotation um die Körperachse in die um die Querachse übergehen. Es wird daher, je nachdem das axiale Trägheitsmoment größer oder kleiner als das äquatoriale ist, die Körperachse oder die Querachse stabilfrei sein; bei Gleichheit sind beide stabilfrei.

Da für den Zylinder z. B.  $\mathfrak{I}_{\text{achs.}} = M \frac{r^2}{2}$ ,  $\mathfrak{I}_{\text{aequat.}} = M \left( \frac{r^2}{4} + \frac{h^2}{12} \right)$  ist, so ist

$\mathfrak{I}_{\text{achs.}} \gtrless \mathfrak{I}_{\text{aequat.}}$ , je nachdem  $r \gtrless \frac{h}{3} \sqrt{3}$  ist; beim Doppelkegel, je nachdem  $r \gtrless \frac{h}{2}$  ist,

wobei  $h$  die Höhe des einfachen Kegels ist. Es ist schade, daß die Firmen die beiden anderen Körperformen nicht begeben. Der Versuch ist, wenn man von der Kugel absieht, etwas einseitig, so daß ein oberflächlicher Schüler in Erinnerung an diesen mitunter der Meinung verfällt, daß immer die Querachse die stabilfreie sein müsse.

Bezeichnen wir an einem Parallelepiped mit den Seitenverhältnissen  $a < b < c$  die Flächen der Reihe nach mit 1, 2 und 3, so sind die entsprechenden Trägheitsmomente

$\mathfrak{I}_1 = M \frac{a^2 + b^2}{12}$ ,  $\mathfrak{I}_2 = M \frac{a^2 + c^2}{12}$  und  $\mathfrak{I}_3 = M \frac{b^2 + c^2}{12}$ , daher  $\mathfrak{I}_1 < \mathfrak{I}_2 < \mathfrak{I}_3$ . Lassen

wir die Rotation um die auf die Fläche 1 senkrecht stehende Achse erfolgen, so sind die Achsen der beiden anderen Seitenflächen Querachsen, stabilfrei aber nur die der Fläche 3.

Einfache Demonstrationsobjekte sind Figuren aus Karton. Das axiale Trägheitsmoment ist hier durchaus größer als das äquatoriale, daher die Körperachse die stabilfreie. Die Herstellung ist höchst einfach. Man schneidet je zwei kongruente Figuren (Kreise, Rechtecke usw.) aus, bestreicht sie mit einem Klebmittel, legt ein entsprechend langes Schnürchen dazwischen und beschwert bis zum Trocknen. Den Faden kann man auch an irgendeiner durchlochenden Stelle der darüber gelegten Hälfte herausgehen lassen. Solche Scheiben gehen bei der Rotation flugs in die stabilfreie Achse über. Man hat auch nicht zu fürchten, wie besonders beim Doppelkegel, daß einem Schüler ein Stück an den Kopf geschleudert wird.

### Einfache Ableitung des Kirchhoffschen Strahlungsgesetzes.

Von H. Greinacher in Bern.

An Ableitungen des Kirchhoffschen Gesetzes, die eine Vereinfachung des Originalbeweises<sup>1)</sup> bezweckten, hat es nicht gefehlt<sup>2)</sup>. Immerhin scheint auch heute noch nicht jene physikalisch durchsichtige und einfache Fassung vorzuliegen, welche zu einer allgemeinen Aufnahme des Beweises in die Lehrbücher der Experimentalphysik hätte führen können. Im folgenden soll nun gezeigt werden, wie sich unter Zugrundelegung des Prevostschen Satzes vom Strahlungsgleichgewicht ein anschaulich einfacher Beweis geben läßt.

Gewöhnlich wird der Prevostsche Satz durch eine Anordnung von der Art der Fig. 1 erläutert. Innerhalb einer Hohlkugel befindet sich eine zweite Kugel. Dann

<sup>1)</sup> G. KIRCHHOFF, Gesammelte Abhandlungen, I. Abt. 1881.

<sup>2)</sup> Erwähnt seien etwa H. v. HELMHOLTZ, Vorlesungen über die Theorie der Wärme, 1903, S. 162; E. LECHER, Wiedem. Annal. 17, 477, 1882; PRINGSHEIM, Verhdlg. d. Deutsch. Physik. Ges. 3, 81, 1901. Ein (unvollständiger) Beweis findet sich z. B. auch in GRIMSEHL, Lehrbuch der Physik, 1923, Bd. I, S. 1070.

strahlt im Temperaturgleichgewicht die äußere in Summa der inneren gleich viel zu wie die innere der äußeren. Nimmt man noch die Definition des Absorptionsvermögens als Quotient aus absorbierter und auffallender Strahlungsenergie hinzu, so ist der Kirchhoffsche Satz fast unmittelbar aus der Betrachtung des in Fig. 1 dargestellten Falles zu entnehmen.

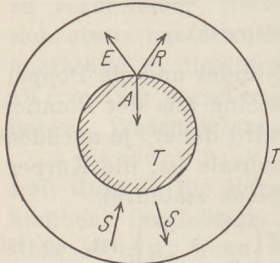


Fig. 1.

Es sei die äußere Hülle vollständig schwarz, absorbiere also alle Strahlung. Dann repräsentiert  $S$  die Strahlung eines schwarzen Körpers. Bedeutet  $E$  die Emission der inneren Kugel,  $R$  den von dieser reflektierten und  $A$  den absorbierten Anteil, so ist:

$$\text{auffallende Strahlung} \quad S = A + R;$$

$$\text{ausgesandte Strahlung} \quad S = E + R;$$

$$\text{d. h. es ist} \quad E = A.$$

Dieses ist der Ausdruck des Prevostschen Satzes. Nun haben wir ferner:

$$\text{Absorptionsvermögen} \quad a = \frac{A}{S};$$

$$\text{oder, da } A = E: \quad a = \frac{E}{S};$$

$$\text{bzw.} \quad S = \frac{E}{a}.$$

Danach ist der Quotient  $\frac{E}{a}$ , welches auch die Natur der inneren Kugel sei, konstant, d. h. stets gleich dem Strahlungsvermögen des schwarzen Körpers. Dies ist aber der Ausdruck des Kirchhoffschen Satzes, wenn auch noch nicht in der präzisen Fassung, welche den Begriff des Emissionsvermögens enthält, und auch nicht in der Allgemeinheit, welche sich auf monochromatisches Licht bezieht.

Wir können aber zeigen, daß es nicht schwer hält, den gewünschten Beweis auf sehr einfache Weise zu geben. Wir müssen dazu eine Beziehung haben zwischen dem Emissionsvermögen, d. h. der von 1 qcm ausgestrahlten Energie, und dem Absorptionsvermögen, d. h. dem Bruchteil der von 1 qcm absorbierten Energie und der dort auffallenden. Es liegt nun nahe, bestimmte Flächenstücke der inneren und äußeren Kugel (Fig. 1) in ausschließliche Wechselbeziehung zueinander zu setzen. Es gelingt dies durch Anbringen vollkommen spiegelnder Flächen<sup>1)</sup> (vollkommen weißer Körper!). Denken wir uns z. B. einen konischen Spiegel angebracht mit seiner Basis auf der äußeren Kugel und zum Kugelmittelpunkt konvergierend. Dann würde 1. das Strahlungsgleichgewicht nicht gestört, und 2. würden dann nur die beiden an den Enden des Konus befindlichen Flächenstücke in Wechselwirkung zueinander stehen. Bei näherer

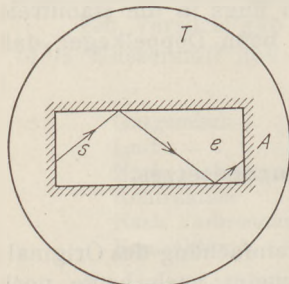


Fig. 2.

Betrachtung würden sich die Verhältnisse infolge der konischen Spiegelform doch als ziemlich verwickelt herausstellen. Indem man nun aber zum Zylinderspiegel übergeht und außerdem als strahlende Flächenstücke ebene nimmt, gelangt man zu folgender höchst einfachen Anordnung des Gedankenexperiments.

Ein Kreiszyylinder von der Basis 1 qcm bilde den Hohlraum eines beliebigen, auf konstanter Temperatur befindlichen Körpers (Fig. 2). Die linke Endfläche sei vollkommen schwarz, die rechte beliebig und die Zylinderwand vollkommen spiegelnd. Die von links nach allen Seiten emittierte Gesamtstrahlung ist gleich dem Emissions-

<sup>1)</sup> Der Kunstgriff, spiegelnde Flächen zum Beweis heranzuziehen, rührt schon von KIRCHHOFF (loc. cit.) her.



vermögen des schwarzen Körpers ( $s$ ). Sie gelangt teils direkt, teils infolge einfacher oder mehrfacher Spiegelung ungeschwächt ans rechte Ende; und zwar treffen alle einzelnen Strahlen unter demselben Winkel auf, unter dem sie emittiert werden. Die rechts unter allen Winkeln emittierte Gesamtstrahlung ist das Emissionsvermögen dieser Fläche ( $e$ ). Auch alle von rechts ausgehenden Strahlen gelangen infolge der getroffenen Anordnung insgesamt ans linke Ende. Die Zylinderwand selbst gibt keinen Beitrag zur Strahlung, da sie keine Strahlung absorbiert und somit auch nicht emittiert. Nach dem Prevostschen Satze sind also wieder die von links und rechts ausgehenden Strahlungen einander gleich. Im speziellen ist die rechts auftreffende Strahlenmenge gleich dem spezifischen Emissionsvermögen des schwarzen Körpers ( $s$ ). Somit haben wir für das Absorptionsvermögen der Fläche rechts:

$$a = \frac{A}{s};$$

oder, da

$$A = e;$$

$$a = \frac{e}{s}; \text{ d. h. } s = \frac{e}{a}.$$

Damit haben wir das Kirchhoffsche Gesetz, bezogen auf die Gesamtstrahlung, bewiesen.

Es bietet nun keine weitere Schwierigkeit, das Gesetz auch auf monochromatische Strahlung zu erweitern. Betrachten wir die Strahlung, die auf irgend einen Wellenlängenbereich  $d\lambda$  entfällt. Das Emissionsvermögen des schwarzen Körpers (Fläche links) sei  $s_\lambda$  und das beliebige (Fläche rechts)  $e_\lambda$ . Die in beiden Richtungen durch den Zylinder strahlenden Energien sind nun auch für diese monochromatische Strahlung gleich groß. Denn die Wellenlänge wird bei den Reflexionen nicht geändert, d. h. eine Verwandlung in bezug auf die Wellenlänge findet nicht statt. Der Prevostsche Satz muß also für jeden Wellenlängenbereich einzeln erfüllt sein, und wir dürfen setzen:

$$a_\lambda = \frac{A_\lambda}{s_\lambda} \text{ und } A_\lambda = e_\lambda;$$

d. h.

$$s_\lambda = \frac{e_\lambda}{a_\lambda}.$$

Im übrigen beziehen sich auch diese Größen auf die allseitige Emission bzw. Absorption. Sofern man die Fläche rechts als regelmäßig spiegelnd annimmt, kann man aber noch weiter gehen und das Gesetz ohne weiteres auf monochromatische Strahlung eines bestimmten Öffnungswinkels beziehen.

### Zum Beweise des Poiseuilleschen Gesetzes.

Von H. Greinacher in Bern.

Der Versuch, den mathematischen Beweis des Poiseuilleschen Gesetzes so weit zu vereinfachen, daß er im Experimentalphysikunterricht verwendet werden könnte, dürfte aussichtslos sein<sup>1)</sup>. Hingegen läßt sich die Ableitung, wie im folgenden gezeigt werden soll, doch so einfach gestalten, daß man sie mit Vorteil etwa in einem Ergänzungslehrgang bringen kann. Vorausgesetzt sein muß allerdings die Kenntnis der elementarsten Differential- und Integralrechnung.

Wir denken uns die in der Kapillaren vom Durchmesser  $2R$  und der Länge  $l$  fließende Flüssigkeit zerlegt in lauter dünne Hohlzylinder. Ein solcher vom Durchmesser  $2r$ , der Dicke  $dr$  und der Länge  $l$  ist in der Figur besonders gezeichnet. Wir wissen, daß die Flüssigkeitsteilchen an der inneren Wand eine etwas größere Geschwindigkeit haben als an der äußeren. Die radialen Geschwindigkeitsunterschiede werden nun aufrecht erhalten durch die in der Längsrichtung wirkenden Reibungskräfte. Ist das normal zur Laminarströmung vorhandene Geschwindigkeitsgefälle

<sup>1)</sup> Über einfache Beweisführungen aus anderen Gebieten der Mechanik siehe diese Zeitschr. 29, 21, 1916; 30, 130, 1917; 33, 54, 1920.

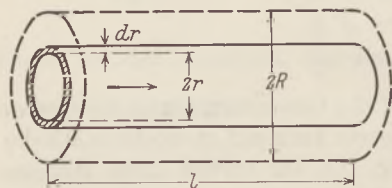
$\frac{dv}{dr}$ , so ist die dort pro Quadratcentimeter an den aneinander vorbeigleitenden Flüssigkeitsflächen wirkende Reibungskraft  $K = \eta \frac{dv}{dr}$ , wo  $\eta$  den Koeffizienten der inneren Reibung bedeutet. An der Innenwand des Hohlzylinders hat diese Kraft naturgemäß überall denselben Wert. Die ganze längs dieser Fläche angreifende Kraft ist somit

$$K = \eta \frac{dv}{dr} \times \text{Innenfläche,}$$

d. h.

$$K = 2\pi r l \eta \frac{dv}{dr} \dots \dots \dots (1)$$

Auf der Außenwand ist sie auch überall konstant, aber um einen geringen Betrag kleiner. Die Kraft erleidet also beim Übergang von der Innenfläche zur Außenfläche eine differentielle Verkleinerung. Das negative Differential von (1) ist



$$\begin{aligned} dK &= -d\left(2\pi r l \eta \frac{dv}{dr}\right) \\ &= -2\pi l \eta d\left(r \frac{dv}{dr}\right) \dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$

Dieser Kraftunterschied wird nun bewirkt durch den hydrostatischen Druck  $p$ , der den Flüssigkeitszylinder nach rechts schiebt. Da der Querschnitt des Hohlzylinders  $2\pi r \cdot dr$  beträgt, so ist die auf ihn wirkende hydrostatische Kraft

$$dK = p \cdot 2\pi r dr \dots \dots \dots (3)$$

Ausdruck (2) und (3) sind nun einander gleich zu setzen. Wir haben

$$-2\pi l \eta d\left(r \frac{dv}{dr}\right) = 2\pi r p dr,$$

oder integriert:

$$-l \eta \int d\left(r \frac{dv}{dr}\right) = p \int r dr,$$

d. h.

$$-l \eta r \frac{dv}{dr} + \text{const.} = \frac{p r^2}{2} \dots \dots \dots (4)$$

Die Integrationskonstante bestimmt sich aus der Bedingung, daß in der Mitte der Röhre die Geschwindigkeit ein Maximum sein muß, daß also für  $r = 0$  auch  $\frac{dv}{dr} = 0$  ist. Dies gibt, in (4) eingesetzt,  $\text{const.} = 0$ . Man hat somit

$$-l \eta r \frac{dv}{dr} = \frac{p r^2}{2} \dots \dots \dots (4a)$$

d. h.

$$-l \eta dv = \frac{p}{2} r dr.$$

Eine zweite Integration liefert:

$$-l \eta v + \text{const.} = \frac{p r^2}{4} \dots \dots \dots (5)$$

Auch hier läßt sich der Wert der Integrationskonstanten leicht bestimmen, wenn man den meist zutreffenden Fall annimmt, daß die Fließgeschwindigkeit direkt an der Wand gleich null gesetzt werden darf. Für  $v = 0$  und  $r = R$  folgt nämlich aus (5):

$$\text{const.} = \frac{p R^2}{4}.$$

Die Geschwindigkeitsgleichung lautet daher:

$$-l \eta v + \frac{p R^2}{4} = \frac{p r^2}{4},$$

oder

$$v = \frac{p}{4 l \eta} (R^2 - r^2) \dots \dots \dots (5a)$$



Die Strömungsgeschwindigkeit zeigt also in ihrer Abhängigkeit vom Abstand von der Zylinderachse einen parabolischen Verlauf.

Nun läßt sich auch ohne weiteres die Ausflußmenge in einer bestimmten Zeit berechnen (Poiseuille'sches Gesetz). Der Flüssigkeitshohlzylinder (s. Figur) wird in  $t$  Sekunden um  $vt$  vorweggeschoben. Die entsprechende Ausflußmenge ist also:

$$dm = 2\pi r dr \cdot l \cdot s \cdot vt, \dots \dots \dots (6)$$

wo  $s$  die Dichte der Flüssigkeit bedeutet.

Die gesamte ausfließende Menge ist:

$$\int_0^R dm = \int_0^R 2\pi r l s t \frac{p}{4l\eta} (R^2 - r^2) dr,$$

oder

$$m = \frac{\pi}{2} \frac{p s t}{\eta} \int_0^R (R^2 - r^2) r dr,$$

d. h.

$$m = \frac{\pi}{2} \frac{p s t}{\eta} \left[ \frac{r^2 R^2}{2} - \frac{r^4}{4} \right]_{r=0}^{r=R}$$

Da die eckige Klammer  $\frac{R^4}{4}$  ergibt, so erhalten wir als gesuchtes Ergebnis:

$$m = \frac{\pi}{8} \frac{R^4 p s t}{\eta} \dots \dots \dots (7)$$

### Die Valenzlehre im chemischen Unterricht.

Von Dr. W. Dahmen in Bonn.

Für den chemischen Unterricht wird heute gefordert ein erhöhtes Herausstellen der allgemeinen Gesichtspunkte im Gegensatz zu früheren Zeiten, wo manchmal spezielle Kenntnisse in zu starkem Maße verlangt wurden. Diese Tendenz wurde hauptsächlich hervorgerufen durch die großen technischen Errungenschaften des 20. Jahrhunderts. Allmählich besinnt sich der chemische Unterricht wieder auf seine eigentliche Aufgabe: er will den Schüler mit der Denkungsart der Chemie vertraut machen und ihm die Möglichkeit geben, die großen Zusammenhänge in der Natur zu erkennen.

Das ureigenste Gebiet der allgemeinen Chemie ist die Valenzlehre. Ihr schließen sich an die Lehre von der Konstitution der Verbindungen und die Lehre von den Isomerieerscheinungen. Einen ersten gesetzmäßigen Einblick in diese Materie, besonders über das Auftreten bestimmter Wertigkeiten, erhält der Schüler durch das periodische System der Elemente. Es dürfte sich deshalb empfehlen, so früh wie irgend möglich eine Bekanntschaft des Schülers mit diesem System zu vermitteln.

Das Auftreten verschiedener Wertigkeiten macht dem Schüler große Schwierigkeiten. Er fragt sich vergebens, warum das so ist. Das Ordnungsprinzip fehlt ihm. Hier hilft das periodische System über den toten Punkt hinweg. Der Schüler sieht die Gesetzmäßigkeit, die Sache leuchtet ihm ein.

Das Experiment vermittelt dem Schüler die Kenntnis und den Verlauf eines chemischen Vorganges. Der Lehrer muß ihn zum Verständnis für das Gesehene führen. Als Hilfsmittel dient ihm dazu die Formelsprache. Hier treten nun bekanntlich eine Reihe von Schwierigkeiten auf. Will man nicht, daß der Schüler die Formel auswendig lernt, so muß ihm ein tieferes Eindringen in ihren Sinn ermöglicht werden. Wie die Mathematik durch zeichnerische Darstellung den Verlauf eines Vorganges veranschaulicht und die Formelsprache die innere Gesetzmäßigkeit klarlegt, in steter Wechselwirkung zwischen Anschauung und Denkarbeit also eine Einführung in das begriffliche Denken erreicht wird, so muß auch die chemische Formel die Pforten zum

inneren Verstehen und Durchdenken eines chemischen Vorgangs öffnen. Diese Aufgabe wird durch die atomistische Betrachtungsweise sehr gefördert. Das soll nun nicht heißen, daß der Schüler mit Formeln überfüttert werden soll; im Gegenteil, er soll die Formel handhaben lernen, er soll befähigt werden, das neue Werkzeug geistig anzuwenden. Wie in der Mathematik ein Zuviel an Formeln die Lust an der Wissenschaft verleiden kann, wie aber andererseits die Herleitung einer Formel, ihre selbständige Entwicklung, die Freude am Ergebnis vergrößert, so soll auch die selbständige Handhabung der chemischen Formel das empirisch Wahrgenommene verstandesmäßig verarbeiten und die Bekanntschaft mit der chemischen Denkweise vermitteln.

Das Wesen eines chemischen Vorganges besteht in Reaktionen zwischen Molekülen. Der Begriff eines Moleküls muß zuerst durch sein Bild zu vollem Verständnis gebracht werden. Da nun bei allen Naturwissenschaften die Entwicklung der Wissenschaft von großer Bedeutung für ihre unterrichtliche Behandlung ist, wird auch hier ein Zurückgreifen auf die Arbeiten unserer Vorfahren von Wichtigkeit sein.

Ich erinnere nur daran, wie im Laufe der Zeit sich immer mehr der Gedanke in den Vordergrund drängte, einen chemischen Vorgang modellmäßig darzustellen. Als Hilfsmittel kommt neben Atommodellen die Strukturformel in Frage. Während nun ein Atommodell die Bewegungen der Atome, die die Umwandlungen der Moleküle bewirken, dem Auge des Schülers Schritt für Schritt zeigt, ist die Konstitutionsformel etwas Starres. Die mechanische Tätigkeit wird besonders im Anfang mehr erzielt als die rein geistige Tätigkeit. Durch die „Handarbeit“ wird der Schüler zur „Kopfarbeit“ gezwungen. Während für den Chemiker in den meisten Fällen die Strukturformel genügt — er ist mit den Gedankengängen vertraut —, soll der Schüler das Spezifische dieser Gedankengänge erst kennen lernen. Der Chemiker kann aus dem Ergebnis seine Entwicklung herleiten, der Schüler braucht die Entwicklung, um das Ergebnis zu verstehen.

Nun lassen sich aber die Anschauungen über den Aufbau der Verbindungen noch nicht unter einem einheitlichen Gesichtspunkt zusammenfassen. Auch erlauben es technisch die heutigen Atommodelle nicht, sämtliche Verbindungen ihrer Konstitution und ihrem Entstehen nach zu zeigen. Deshalb soll man aber die Atommodelle nicht ganz aus dem Unterricht entfernen. Ich glaube, daß auch hier der geschichtliche Werdegang für uns maßgebend sein wird. Die Geometrie macht den Schüler mit dem Komplex der geometrischen Gebilde (Punkt, Linie, Fläche, Körper) bekannt und behandelt dann systematisch die Eigenschaften dieser Dinge, indem sie vom eindimensionalen Gebilde der Reihe nach zum dreidimensionalen fortschreitet. Ein ähnlicher Weg wird sich auch für die Chemie empfehlen. Den Aufbau der Moleküle stellt man zunächst in der Ebene dar und zeigt später an geeigneter Stelle die Notwendigkeit der Einführung einer dritten Dimension, wobei gleichzeitig das Auftreten neuartiger Isomerieerscheinungen begründet werden kann. Das zweidimensionale Gebilde reicht vollkommen aus, um die einfachen chemischen Reaktionen zu kennzeichnen.

Ein Atommodell — wenn ich mich für den Augenblick so ausdrücken darf — müßte in zweifacher Ausfertigung vorliegen: eine Ausgabe größeren Formates für den Lehrer und eine kleinere für den Schüler. Die einzelnen „Atome“ der großen Ausgabe finden ihren Platz auf einer Tafel des periodischen Systems. Durch Farben sind die Kolonnen unterschieden. Durch Schattierungen der Farben wird der Unterschied Metall — Nichtmetall klargelegt. Aus den einzelnen Atomen setzt sich das Molekül der chemischen Verbindung zusammen. Die einzelnen „Atome“ lassen ihre Wertigkeit erkennen; die Anordnungen der Moleküle sieht der Schüler Schritt für Schritt. Bei Zeichnungen an der Tafel werden Teile weggewischt und an anderer Stelle neu gezeichnet; hier erfolgt eine Wegnahme an der einen und ein Anfügen an der anderen Stelle. Da nun neben dem Demonstrationsunterricht die Schülerübungen in den Vordergrund treten, soll der Schüler auch die Möglichkeit haben, den Vorgang, dessen Verlauf er sieht, bis in die Einzelheiten zu erkennen. Er wird also an seinem



Modell aus den Ausgangssubstanzen die Endprodukte feststellen, die er später auf einer weiteren Stufe einzeln durch charakteristische Reaktionen nachweisen lernt.

So läßt sich ohne weiteres das Gesetz der Erhaltung der Masse herleiten. Gleichzeitig lernt der Schüler die für die chemischen Zusammenhänge so wichtigen Beziehungen von Maß und Zahl kennen, und endlich wird der chemische Unterricht auch in seinen Anfängen zu einem vergeistigten Arbeitsunterricht.

Versuche in der angedeuteten Art sind schon länger im Gange. Über ihr Ergebnis, sowie über Einzelheiten des in Frage kommenden Apparates werde ich demnächst berichten.

### Statistische Angaben über Kohle, Erdöl und Eisen (Stahl) 1913 und 1924.

Von Friedrich Hofmann in Altenburg (Thür.).

Es ist beabsichtigt, laufend Zusammenstellungen von Produktionsdaten der für den Chemieunterricht wichtigen Güter zu geben. Der Anfang wird gemacht mit den drei wichtigen Gütern: Kohle, Erdöl und Eisen (Stahl). Die drei Schaubilder und die statistischen Angaben sind entnommen dem 5. Jahrgange der Zeitschrift „Wirtschaft und Statistik“, herausgegeben vom Statistischen Reichsamte im Verlage Reimar Hobbing, Berlin SW 61.

Das neueste Statistische Jahrbuch 1924/25<sup>1)</sup> enthält ebenfalls anhangsweise eine Reihe von Schaubildern aus den verschiedensten Gebieten. Die im neuesten Jahrbuch besonders erweiterten Internationalen Übersichten gestatten es, die Produktionsdaten wichtiger Güter über zahlreiche Jahre hin zu verfolgen.

#### Die Steinkohlenförderung der Welt 1913 und 1924.

	In Millionen Tonnen (1 metr. Tonne = 1000 kg)		In Prozenten	
	1913	1924	1913	1924
Welt: Insgesamt . . . . .	1216	1168	100	100
Davon:				
Europa . . . . .	605	549	49,7	46,9
Asien . . . . .	55	71	4,5	6,0
Afrika . . . . .	8	12	0,7	1,0
Amerika . . . . .	533	518	43,8	44,3
Australien . . . . .	14	18	1,2	1,6
Einzelne Länder:				
U. S. A. . . . .	517	506	42,5	43,3
Großbritannien . . . . .	292	274	24,1	23,5
Deutschland <sup>2)</sup> . . . . .	190	118	15,6	10,1
Frankreich <sup>2)</sup> . . . . .	40	44	3,3	3,8
Belgien . . . . .	22	23	1,9	2,0
Polen . . . . .	—	31	—	2,7
Japan . . . . .	21	27	1,7	2,3

Die Braunkohlenförderung erstreckt sich fast nur auf Europa. Geringe Förderungsmengen in Asien und Amerika sind in den Steinkohlenmengen mit eingerechnet, z. B. U. S. A. im Jahre 1913:  $\frac{1}{2}$  Million Tonnen Braunkohlen.

<sup>1)</sup> Statistisches Jahrbuch für das Deutsche Reich 1924/25, 44. Jahrgang. Verlag für Politik und Wirtschaft, Berlin SW 48.

<sup>2)</sup> Förderung in den jeweiligen Grenzen.

Die Braunkohlenförderung in Europa 1913 und 1924.

	In Millionen Tonnen (1 metr. Tonne = 1000 kg)		In Prozenten (Europa = 100)	
	1913	1924	1913	1924
<b>Einzelne Länder:</b>				
Deutschland . . . . .	87	124	68,7	76,1
Tschechoslowakei . . . . .	—	20	—	12,5
Ungarn . . . . .	—	5	—	3,4
Österreich <sup>1)</sup> . . . . .	37	3	29,3	1,7
Jugoslawien . . . . .	—	4	—	2,4
<b>Europa: Insgesamt . . . . .</b>	<b>127</b>	<b>163</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

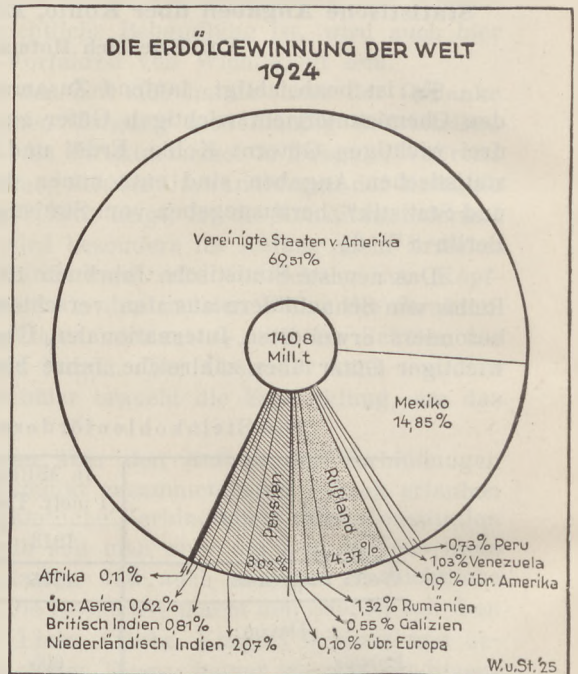
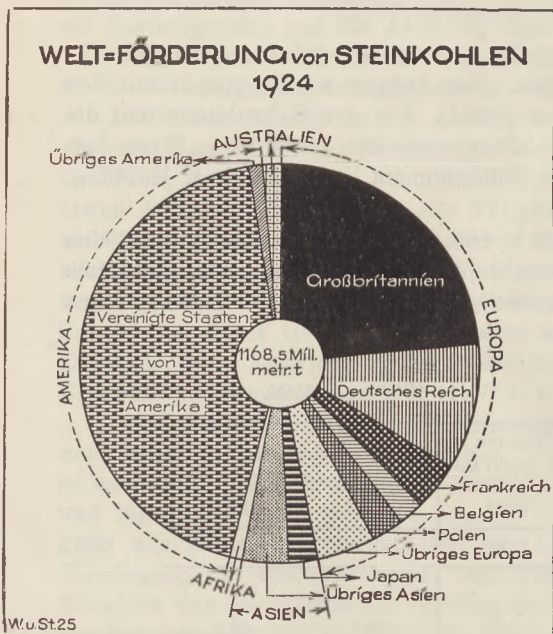


Fig. 1.

Fig. 2.

(Aus Wirtschaft und Statistik, herausgegeben vom Statistischen Reichsamt. Verlag Reimar Hobbing, Berlin SW 61.)

Erdölgewinnung der Welt 1913 und 1924.

Rohöl in Millionen Tonnen (1 metr. Tonne = 1000 kg).

	1913	1924
<b>Welt: Insgesamt . . . . .</b>	<b>52,8</b>	<b>140,8</b>
U. S. A. . . . .	34,0	97,8
Mexiko . . . . .	3,8	20,9
Venezuela . . . . .	—	1,4
Peru . . . . .	0,2	1,0
Rußland . . . . .	8,3	6,1
Rumänien . . . . .	1,8	1,8
Galizien . . . . .	1,1	0,7
Persien . . . . .	0,2	4,2
Niederl. Indien . . . . .	1,5	2,9
Brit. Indien . . . . .	1,0	1,1
Sarawak . . . . .	—	0,6
Japan . . . . .	0,2	0,2
Alle übrigen Länder zusammen	0,3	1,6

<sup>1)</sup> 1913: Österr.-ungar. Monarchie; 1924: Deutschösterreich.



Deutschland förderte 1913 120 000 t Rohöl; durch den Verlust des Elsaß sank die Gewinnung auf 60 000 t im Jahre 1924, d. h. 0,04% der Weltproduktion.

Durch den Vertrag von Versailles ist Frankreich in die Reihe der Erdöl gewinnenden Länder eingerückt; Frankreich hatte 1924 eine Rohölausbeute von 70 000 t.

Aus den statistischen Angaben ergibt sich, daß gegen das Jahr 1913 die Erdöl-gewinnung im Jahre 1924 fast dreimal so hoch gewesen ist. Allerdings ist 1924 eine geringe Verminderung in der Förderung an Rohöl gegenüber dem Jahre 1923 eingetreten. Das Jahr 1923 brachte das bisher höchste Ergebnis mit 141,8 Millionen Tonnen Rohöl. Während in allen anderen Ländern im Jahre 1924 eine Steigerung in der Ausbeute an Rohöl zu bemerken ist, ging gegen 1923 in Mexiko und in U. S. A. die Gewinnung von Rohöl um 6% bzw. 2% zurück.

Roheisenerzeugung der Welt 1913 und 1924.

	In Millionen Tonnen (1 metr. Tonne = 1000 kg)		In Prozenten	
	1913	1924	1913	1924
Welt . . . . .	79,0	66,4	100	100
Davon:				
Europa . . . . .	46,0	32,5	58,3	48,9
U. S. A. . . . .	31,4	31,6	39,8	47,6

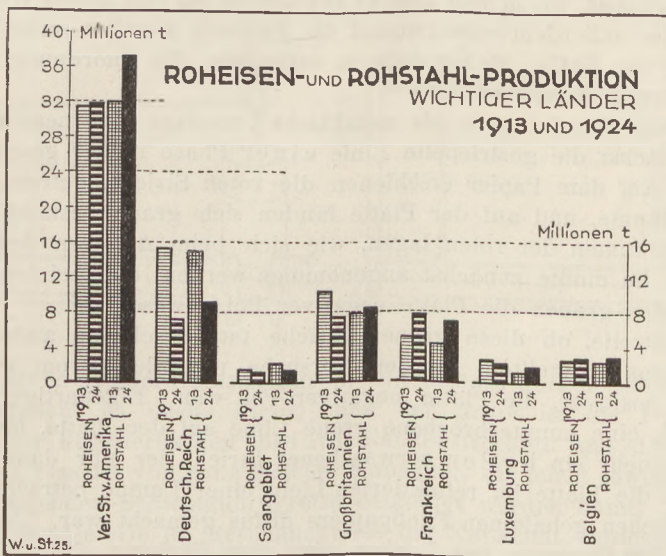


Fig. 3.

(Aus Wirtschaft und Statistik, herausgegeben vom Statistischen Reichsamt. Verlag Reimar Hobbing, Berlin SW 61.)

Es erzeugten von den wichtigen europäischen Ländern im Jahre 1924 (1913) in Millionen Tonnen: Deutschland im jeweiligen Gebiet 7,1 (16,7); Großbritannien 7,4 (10,4); Frankreich 7,6 (5,2); Belgien 2,8 (2,4); Luxemburg 2,1 (2,5); Saargebiet 1,3 (1,3). In der Zahlenangabe für Deutschland 1913 (16,7) ist das Saargebiet mit eingerechnet; im Schaubild ist dagegen das Saargebiet auch 1913 gesondert dargestellt.

## Rohstahlerzeugung der Welt 1913 und 1924.

	In Millionen Tonnen (1 metr. Tonne = 1000 kg)		In Prozenten	
	1913	1924	1913	1924
Welt . . . . .	75,3	75,6	100	100
Davon:				
Europa . . . . .	41,9	36,5	55,7	48,3
U. S. A. . . . .	31,8	37,2	42,2	49,2

Es erzeugten von den wichtigen europäischen Ländern im Jahre 1924 (1913) in Millionen Tonnen: Deutschland im jeweiligen Gebiet 9,1 (17,1); Großbritannien 8,3 (7,7); Frankreich 6,9 (4,6); Belgien 2,8 (2,4); Luxemburg 1,8 (1,1); Saargebiet 1,4 (2,0). In der Zahlenangabe für Deutschland 1913 (17,1) ist das Saargebiet mit eingerechnet; im Schaubild ist dagegen das Saargebiet auch 1913 gesondert dargestellt.

## Für die Praxis.

**Bemerkungen zu Versuchen mit Wechselströmen.** Von Dr. Hans Kohlmann und Heinrich Leo in Vegesack. — Im Heft 1, Jahrg. 1925 dieser Zeitschrift gibt Herr Dr. PENSELER u. a. einen Versuch an, wie man mit Benutzung von Fließpapier, das mit wässriger Kochsalz- und alkoholischer Phenolphthaläinlösung getränkt ist und auf einer blanken Metallplatte liegt, den Charakter des dreifach verketteten Wechselstroms zeigen kann. Der Versuch ist außerordentlich anschaulich und einfach auszuführen. Er zeigt aber, wie in dem Bericht angegeben ist, von jedem Wechselstrom nur die halbe Periode; außerdem verschwindet die Färbung ziemlich schnell, wohl infolge der Rückbildung von NaCl. Es lag nahe zu versuchen, die Anordnung so abzuändern, daß die Erscheinung fixiert würde.

1. Zu diesem Zweck wurde als metallische Unterlage eine neue Weißblechplatte benutzt und zunächst die gestrichelte Linie einer Phase in der geschilderten Weise aufgenommen. Auf dem Papier erschienen die roten Striche, getrennt durch gleich große Zwischenräume, und auf der Platte fanden sich graue beständige Striche, die in den Zwischenräumen der roten lagen, wie sich beim Anheben des Papiers leicht feststellen ließ. Es mußte zunächst angenommen werden, daß bei den roten Strichen der Draht, bei den grauen die Platte negativer Pol gewesen sei.

2. Zur Kontrolle, ob diese grauen Striche tatsächlich die andere Halbperiode des Wechselstroms darstellten, wurden Versuche mit Gleichstrom gemacht derart, daß der Draht positiver, die Platte negativer Pol war. Eigenartigerweise trat der erwartete Effekt, eine ununterbrochene graue Linie auf der Platte, hierbei nicht ein. Es entstand vielmehr ein heller verwaschener Strich, der nur dann gut zu sehen war, wenn man die Platte im reflektierten Licht einer Lampe betrachtete, das durch ein Stück dazwischen gehaltenen Fließpapiers diffus gemacht war. Außerdem zeigte sich auch auf der Oberseite des Papiers eine rote Färbung, die nur daher rühren konnte, daß die auf der unteren Seite entstehende rote Linie nach oben durchschien.

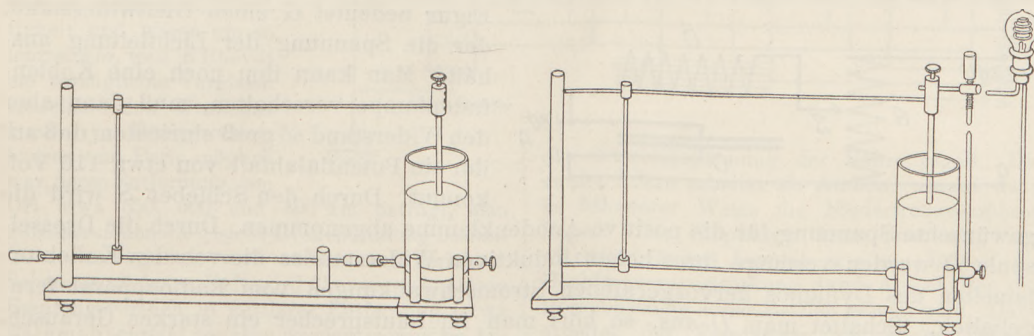
3. Um das Durchscheinen und zugleich eine Einwirkung der unten entstehenden Produkte auf die oben entstehenden zu verhindern, wurde eine vierfache Lage Papier genommen und der Versuch mit einer Wechselstromphase wiederholt. Hierbei entstanden auf der obersten und der untersten Papierschicht unterbrochene rote Striche, wobei die unteren zwischen den oberen lagen, wie sich beim Hindurchstechen mit einer Nadel nachweisen ließ. Man erhält also auf diese Weise beide Halbperioden des Wechselstroms, wenn auch auf verschiedenen Seiten der mehrfachen Papierschicht. Diesmal fielen die grauen Striche auf der Platte mit den roten Strichen der Ober-



schicht zusammen. Zwischen den grauen Strichen fanden sich auch die unter 2. erwähnten schwer zu sehenden hellen Striche. Damit bestand also zwischen den Gleichstromversuchen und denen mit Wechselstrom bei Benutzung mehrerer Papierschichten Übereinstimmung: Graue Striche entstehen, wenn die Metallplatte positiver, helle verwaschene Striche, wenn sie negativer Pol ist. Man hat also beide Halbperioden auf der Platte. Nach diesem Ergebnis konnte auch der scheinbare Widerspruch des Versuchs 1 aufgeklärt werden. Die beobachteten roten Striche auf dem Papier stammen nicht von einem negativen Pol auf der Oberseite, sondern von einem solchen auf der Unterseite des Papiers; sie scheinen durch. Die roten Striche der Oberseite liegen zwischen den eben erwähnten, bilden mit ihnen im ersten Augenblick eine zusammenhängende Linie, werden dann aber sehr schnell (vielleicht durch Chlor?) zerstört.

**Verbesserte Ausführung der Leydener Resonanzflaschen.** Von Dr. Joh. Binder in Rostock. Bei der Firma E. A. Schmidt, Berlin N 37, Weißenburger Str. 20, habe ich eine Ausführung von Leydener Resonanzflaschen kennen gelernt und bezogen, die gegen die bisher bei Kohl, Leybold usw. übliche Form so viele Vorzüge hat, daß ich die Kollegen auf sie aufmerksam machen möchte. Das Schmidtsche Instrumentarium zeichnet sich 1. durch große Leistung, 2. durch auffallende Handlichkeit und Sicherung gegen Beschädigung, sowie 3. durch vielseitige Verwendbarkeit aus.

Der erste Vorzug ist erreicht durch sorgfältige Auswahl und besonders saubere Belegung der Flaschen. Erregt man durch einen kräftigen Induktor in der ersten Flasche einen Funkenstrom von 1 bis 7 mm, so erhält man auch Resonanzfunken bis zu 7 mm Länge! Der zweite Vorzug ist darin begründet, daß jede Flasche mit dem



zugehörigen starken Kupferdrahtrahmen in ein festes, aber leichtes und elegantes Holzgestell eingebaut ist (siehe Figur), und der dritte ist die Folge der ersten beiden, sowie der Regulierbarkeit beider Funkenstrecken und der Beigabe einer dritten Leydener Flasche von ganz gleicher Kapazität, die leicht sowohl dem gebenden wie dem empfangenden Schwingungskreise beigefügt werden kann. Man kann also sowohl im Sendekreise wie im Resonanzkreise die Kapazität verdoppeln und zeigen, daß bei Verdoppelung der Kapazität die Induktion durch Verschiebung des beweglichen Drahtes halbiert werden muß, um die Resonanz, also die gleiche Wellenlänge, wieder herzustellen. Das Kirchhoffsche Gesetz der Konstanz von  $L \cdot C$  ist also mit lapidaren Mitteln demonstrierbar.

Zu besonderer Klarheit und Eindruckskraft aber lassen sich die Versuche über den Zusammenhang der zwei Schwingungskreise dadurch bringen, daß man die Resonanzfunkenstrecke durch eine Osramglühlampe ersetzt, was nach Lösen zweier Klemmschrauben sofort möglich ist. Naturgemäß ist die Lampe, die hier selbstverständlich nur als billiges, überall verfügbares, gasgefülltes Entladungsrohr wirkt und auch durch eine Spektralröhre oder ähnliches ersetzt werden könnte, ein viel empfind-

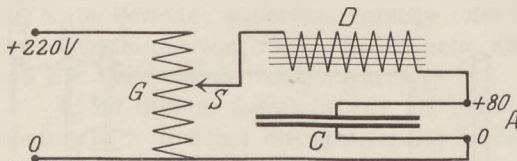
licherer Detektor für die Schwingungen des Hochspannungsfeldes als der Funke. Mit ihrer Einschaltung kann die Resonanz bis auf 1,20 m Entfernung und die Einstellung derselben durch den Schieber bis auf das Zentimeter genau gezeigt werden. Und auch schon jede geringe Drehung der Ebene des einen Drahtrahmens gegen die des anderen macht sich durch die veränderte Lichtstärke der Lampe bemerkbar. Während bei senkrecht zueinander stehenden Schwingungskreisen die Lampe völlig erlischt, genügt eine kleine Drehung von 5 bis  $10^\circ$  zum Wiederaufleuchten.

Somit scheint mir die neue Form des Instrumentariums bei seiner unübertrefflichen Einfachheit und Übersichtlichkeit für den Schüler ganz besonders geeignet, den ersten Grund für die Einführung in das Funkwesen zu legen, da es zwingend und in engstem Zusammenhang zu den Begriffen der elektrischen Strahlung, Schwingung, Resonanz, Abstimmung, Reichweite, Richtkraft, Abschirmung (die sich durch ein Blech vorzüglich nachweisen läßt), Detektor usw. hinleitet.

Der Preis des Instrumentariums von drei Flaschen beträgt nur etwa 60 Mk.

**Ersatz der Anodenbatterie mit einfachen Mitteln.** Von Dr. F. Hüttig in Görlitz. — Die Anodenbatterie gehört bekanntlich nicht gerade zu den Annehmlichkeiten des Radiofreundes. In der Regel nach 3 Monaten, oft schon vorher, ist sie aufgebraucht, was besonders unangenehm ist, wenn der Radioapparat nur gelegentlich gebraucht wird.

Die Anodenbatterie läßt sich jedoch erfreulicherweise durch einen Anschluß an die Lichtleitung ersetzen vermittelst einer Zusammenstellung von Apparaten, die heutzutage in den meisten physikalischen Sammlungen vorhanden sein dürften. Allerdings muß die betreffende Leitung Gleichstrom, nicht Wechselstrom führen. In der



Figur bedeutet  $G$  einen Gleitwiderstand, der die Spannung der Lichtleitung aushält. Man kann ihm noch eine Kohlenfadenlampe vorschalten, muß dann aber den Widerstand so groß einrichten, daß auf ihn ein Potentialabfall von etwa 110 Volt kommt. Durch den Schieber  $S$  wird die

gewünschte Spannung für die positive Anodenklemme abgenommen. Durch die Drosselspule  $D$  werden vermöge ihres hohen induktiven Widerstandes die von den Kollektorklamellen des Dynamos hervorgerufenen Stromschwankungen vom Radioapparat ferngehalten. Schaltet man  $D$  aus, so hört man im Lautsprecher ein starkes Geräusch. Als geeignet für diese Drosselspule hat sich die Sekundärspule eines kleinen Induktors von 1 cm Funkenlänge (zwischen Spitzen gemessen) erwiesen. Bei  $A$  sind die Abnahmeklemmen für die Anodenspannung.  $C$  ist ein zu  $A$  parallel geschalteter Kondensator von etwa 4 Mikrofarad, der den mittelfrequenten Schwankungen des Anodenstromes einen Weg von kleinem kapazitiven Widerstand bieten soll.

Es muß darauf geachtet werden, ob bei dem Radioapparat eine galvanische Verbindung zwischen der Antennenerdung und einem Pol der Heizbatterie besteht. Ein Leiter der Lichtleitung ist bekanntlich auch geerdet. Diese beiden Erdungen dürfen nicht von verschiedenen Polen der Heizbatterie abführen. Es würde sonst Kurzschluß entstehen. Am besten ist es, man löst erwähnte galvanische Verbindung, was wohl kaum auf die Güte des Empfanges von Einfluß sein dürfte.

Wünschenswert ist es auch, wenn der Nulleiter der benutzten Starkstromleitung der negative ist. Unsere Schule ist mit allen drei Leitern des städtischen Netzes, nämlich dem positiven, dem negativen und dem Null-Leiter verbunden. Die Lichtleitung besteht aus dem positiven und dem Null-Leiter, die Experimentierschalttafel wird vom negativen Leiter gespeist. In diesem Falle wird also der Apparat an die Lichtleitung angeschlossen.



## Berichte.

### 1. Apparate und Versuche.

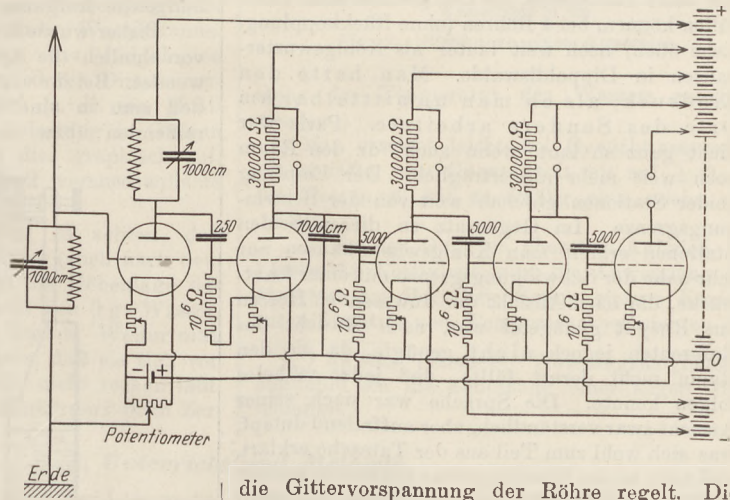
Über einige Versuche für den Fernempfang der Deutschen Welle auf dem Lautsprecher (Fortsetzung)<sup>1)</sup>. Im Auftrage der Staatlichen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht ausgeführt und beschrieben von Dr. FRIEDRICH MOELLER.

Vorbemerkung: Nachdem die Versuche in Dippoldiswalde als durchaus gelungen zu bezeichnen waren, ergab sich die Folgerung, diese Versuche in größerer Entfernung fortzuführen. Als Versuchsort wurde Rheydt (Rheinland) gewählt, wo durch Anerbieten der Herren Oberstudiendirektor Dr. HARRING und Studienrat WEISSENFELS in der Oberrealschule Räume und die nötigen Hilfsmittel zur Verfügung gestellt wurden. Die Entfernung vom Sender wuchs durch die Wahl dieses Ortes fast auf die größtmögliche innerhalb des Reiches an, wodurch die Empfangsgrenze sehr eindeutig festgestellt werden konnte, wenn eine solche vorhanden war. Die Versuchsergebnisse gewannen dadurch an Wichtigkeit und waren um so lehrreicher, weil in Rheydt ein vorzüglicher Vergleich zwischen den Stationen Daventry, Königswusterhausen und Paris möglich war, deren Entfernung vom Ort etwa 550, 500 und 400 km beträgt, also gewissermaßen die gleiche Größenordnung besitzt. Über das Ergebnis wird nachstehend berichtet. Schon im nächsten Heft wird über einen weiteren Empfangsversuch in mittlerer Entfernung (etwa 350 km) Nachricht gegeben werden, worauf im Anschluß daran eine kritische Besprechung über die Empfangsmöglichkeit der Deutschen Welle innerhalb des Reiches auf dem Lautsprecher stattfinden soll.

#### a) Der Empfangsapparat.

Die Apparatur wurde umgeändert, weil die bisherige Anordnung nach dem Resultat in Dippoldiswalde, wo sie zwar völlig genügte, aber keinen großen Überschuß an Lautstärke erbrachte, für die sehr viel größere Entfernung nicht ausreichend zu sein schien. Die dreifache Widerstandsverstärkung nach dem Audion wurde beibehalten. Eine weitere Niederfrequenzverstärkung war ausgeschlossen wegen des sog. „Klingens“ der Röhren, woraus sich die Benutzung der Hochfrequenzverstärkung ergab. Die Schaltung ist in obestehender Figur wieder-

gegeben und nur in den Eingangskreisen von der früher angegebenen verschieden. Der Antennenkreis liegt direkt am Gitter der ersten Röhre, während ein zweiter abgestimmter Kreis (Sekundär-, Sperr- oder Anodenkreis) an ihrer Anode liegt. Die beiden Kreise sind im Betrieb auf dieselbe Welle abgestimmt und in der Regel nicht induktiv gekoppelt, weil die innere Röhrenkapazität (Huth-Kühn-Schaltung) genügt, um (bei Wellengleichheit) das Einsetzen der Schwingung zu erreichen. Die Unterdrückung der Schwingung bzw. die Einstellung auf die Schwingungsgrenze wird durch das Potentiometer *P* bewirkt, das



die Gittervorspannung der Röhre regelt. Die zweite Röhre arbeitet als Audion, worauf dann in bekannter Weise die Niederfrequenzröhren folgen. Der Empfänger kann auch als Vierröhrenempfänger benutzt werden, indem die Hochfrequenzverstärkung durch Ausschalten der Röhrenheizung außer Betrieb gesetzt wird. Dann arbeitet der Empfänger als reiner Primär-Sekundär-Empfänger ohne Rückkopplung, mit der zweiten Röhre als Eingangs- und Audionröhre. In diesem Zustande kann der Empfänger zur Aufnahme eines Senders benutzt werden, der am Empfangsort ein äußerst intensives Feld erzeugt. Hervorgehoben sei, daß in dieser Schaltung Primär- und Sekundärkreis selbstverständlich induktiv gekoppelt werden müssen (Drehen des Spulenhalters).

#### b) Die Versuche.

Die Versuche wurden ausgeführt am 26. und 27. März im Physikzimmer der Oberrealschule Rheydt (Rheinland), dessen Fläche  $7,5 \times 5,5$  m betrug, bei einer Höhe von etwa 5 m. Die Antennenabmessungen waren etwa die gleichen wie in Dippoldiswalde. Als Erde wurde die Wasserleitung der Schule benutzt. Die Luftstörungen waren ziemlich stark, ohne indessen das Verstehen der Darbietungen merklich zu

<sup>1)</sup> Siehe Heft II, 1926, ds. Zeitschr., S. 84.

beeinträchtigen. Auch Motorgeräusche waren vorhanden, die sich vielleicht bei Vorhandensein eines Transformators im Empfänger verheerend hätten auswirken können, aber so die Verständigung nicht beeinträchtigen konnten. Bei Besprechung der Ergebnisse muß ein Vergleich zwischen den Stationen Daventry, 1600 m (30 KW), Paris 1750 m (10 KW) und Königswusterhausen, 1300 m (20 KW) stattfinden, der sich bei den Versuchen mit Gewalt aufdrängt, um so mehr, weil wohl alle drei Stationen zum Teil demselben Zweck dienen. Die Beobachtungen wurden gleichzeitig, d. h. innerhalb einer Stunde, ausgeführt. Der Empfang von Daventry war am besten, der von Königswusterhausen bei weitem am schlechtesten, sowohl was Lautstärke als Reinheit der Wiedergabe betrifft. Daventry kam bei 5 Röhren mit einer Lautstärke, die den größten Saal hätte füllen können, bei 4 Röhren (ohne Rückkopplung, siehe oben) noch weit lauter als Königswusterhausen in Dippoldiswalde. Man hatte den Eindruck, als ob man unmittelbar am Orte des Senders arbeitete. Paris war nicht ganz so laut, wenn auch für den Raum noch weit mehr als erträglich. Der Empfang beider Stationen geschah weit von der Schwingungsgrenze. Im Gegensatz zu diesen beiden Stationen erhielt man Königswusterhausen nur sehr nahe der Schwingungsgrenze mit einer Lautstärke, die nach Ansicht der anwesenden Herren aus Rheydt genügend war, nach Ansicht des Referenten jedoch nicht genügte, da sie den Raum nicht derart füllte, daß jeder mühelos folgen konnte. Die Sprache war nach seiner Ansicht zwar verständlich, aber auffallend dumpf, was sich wohl zum Teil aus der Tatsache erklärt, daß nahe an der Schwingungsgrenze gearbeitet werden mußte. Die Einstellung auf den Sender war nicht so leicht wie die auf die beiden anderen Sender, so daß bei der geringsten Wellenänderung des Senders wie des Empfängers wohl ein Nachstimmen notwendig würde. Ein Einschalten des Apparates von Ungeübten könnte also nicht unter allen Umständen erfolgen!

Beim Verfolgen der Vorträge wurde wieder wie in Dippoldiswalde von allen Anwesenden die Feststellung gemacht, daß die Sprecher in der Vortragskunst noch nicht die genügende Sorgfalt anwenden, die unbedingt notwendig ist, wenn der Zweck der Darbietungen, nämlich ein Lehrmittel zu sein, erreicht werden soll. Es wird vor allem noch viel zu rasch gesprochen. Es ist doch zu bedenken, daß der Gedankengang oft schwierig und das Thema stets neu ist, daß also ein Nachdenken des Hörers schon an sich erforderlich ist. Wenn noch dazu in Betracht gezogen wird, daß in größerer Entfernung vom Sender Störungen irgendwelcher Art oft nicht zu vermeiden sind (zumal im Sommer), daß also unter Umständen Worte ausfallen, deren Sinn vom Hörer zu

ergänzen ist, so läßt sich erst die Forderung „deutlich und langsam sprechen“ richtig ermessen.

Alles in allem: Der Empfang der Deutschen Welle in solcher Entfernung auf dem Lautsprecher erscheint schwierig und ist vorläufig nicht unter allen Umständen einwandfrei gewährleistet.

**Apparatur zur erschütterungsfreien Mehrbelastung für Zug- und Biegevversuche.** Orig.-Bericht von Dr. W. EWALD in Berlin.

Zur Bestimmung der Zug- und Biegefestigkeit von Kristallen benutze ich die unten aufgeführte Apparatur. Durch ihre Einfachheit ist es möglich, sie selbst zusammenzubauen und lehrreiche Aufgaben mit ihrer Hilfe zu lösen.

Bisher wurde für Zug- und Biegevversuche vornehmlich die Apparatur von W. VOIGT verwendet. Bei ihr wird die Belastung so gesteigert, daß man in eine Schale, die an dem zu zerreißen (bzw. zerbrechenden) Stab hängt,

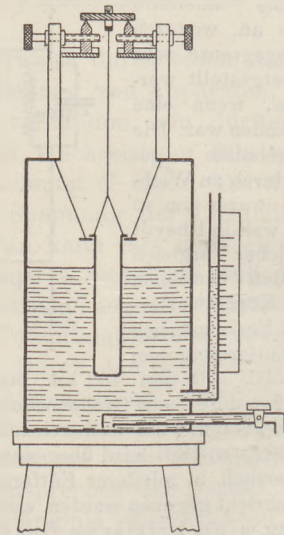


Fig. 1. Schema eines Bruchversuches.

allmählich immer mehr Schrottkörner schüttet, Quecksilber laufen läßt oder sonst direkt Gewichte legt. Hierbei ist es jedoch verständlich, daß sich Erschütterungen nicht vermeiden lassen, und diese können die Messungen stark fälschen, zumal wenn man die Reiß- bzw. Bruchlast fast erreicht hat. Gerade bei Messung der Festigkeit dünner Stäbchen muß möglichst auf eine vollkommen erschütterungsfreie Mehrbelastung getachtet werden.

Die Anwendung einer Magnetspule (Solenoid) verbessert die Genauigkeit wesentlich. Statt der Schale hängt man einen Eisenbolzen auf, den man etwas in die Öffnung einer Drahtspule hereinragen läßt. Wird jetzt der Strom eingeschaltet und allmählich gesteigert, so wird der Eisenkern mit immer stärkerer Kraft angezogen



und so das Gewicht erhöht. Aber auch hierbei kommen nicht unerhebliche Fehler durch das Schwanke der Spannung in den elektrischen Anlagen herein.

Statt dieser Methode benutze ich die Wirkung des Auftriebs an einem Schwimmkörper, die den Vorzug einer vollkommen erschütterungsfreien Mehrbelastung hat.

Der Apparat (Fig. 1) arbeitet etwa in folgender Weise: Der z. B. auf Bruchfestigkeit zu prüfende Körper wird in Form eines Parallelepipedes auf zwei Schneiden gelegt. Man belastet ihn in der Mitte durch eine dritte Schneide, an der die Last hängt. Zu Beginn des Versuches ist das Gewicht des Schwimmers infolge des Auftriebs kompensiert, also die Last gleich Null. Das kann immer durch beliebige Wahl des Wasserspiegels erreicht werden. Senkt man nun den Wasserspiegel, so wird die Last erhöht. An einem Wasserstandsglas läßt sich die Länge des freigelegten Schwimmers feststellen und durch Dimensionsmessungen des Schwimmers (z. B. ein Hohlzylinder aus Messing) die Belastung in Gramm angeben. Trägt man sich dies graphisch auf, so erhält man eine in Fig. 2 veranschaulichte Eichkurve.

Es ist besonders darauf zu achten, daß während des ganzen Versuches (auch nach dem Bruch des Versuchskörpers) die Höhenlage des Schwimmkörpers in bezug auf den 0 g - Wasserspiegel dieselbe ist wie zu Beginn. Weiter muß die Aufhängung so stabil sein, daß sie sich von dem sich erhöhenden Gewicht nicht recken läßt. Zum Auffangen des Schwimmkörpers beim Zer-

brechen dient, wie aus Fig. 1 ersichtlich, ein lose um den Schwimmer gelegter Ring. Nach dem Zerbrechen muß, wie schon betont ist, der Schwimmkörper in die Anfangslage gebracht werden; erst dann ergibt sich aus der Ablesung am Wasserstandsglas die wahre Belastung. Bei längerer Dauer der Versuche muß auf die Kon-

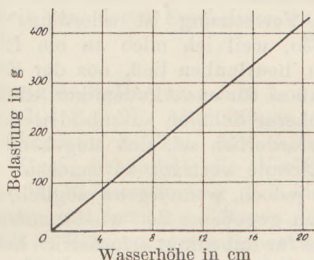


Fig. 2. Eichkurve eines Apparates.

stanz der Temperatur des Wassers geachtet werden<sup>1)</sup>.

Man erreicht leicht bei Gewichtsmessungen bis zu 500 g eine Genauigkeit bis auf  $\pm 0,1$  g, bei Messungen bis zu 5000 g eine solche von  $\pm 2$  g.

Außer den Gesetzen über den Auftrieb, die Elastizität (Festigkeit) gibt die Anwendung der Methode bei Berücksichtigung einiger Korrekturen Kenntnis vom Temperaturkoeffizienten usw.

<sup>1)</sup> Zwecks genauerer Ablesungsmöglichkeit empfehle ich die Benutzung einer engen Glaschlange.

#### 4. Unterricht und Methode.

Zur Frage der Ausbildung der Lehramtskandidaten an den Universitäten. Orig.-Bericht von W. WESTPHAL, Berlin, z. Zt. Schloßschule Salem (Baden).

Die Mitteilungen von K. METZNER über FRIEDRICH POSKES Lebenswerk in dieser Zeitschrift (39, 3, 1926) veranlassen mich zur Mitteilung einiger eigenen Erfahrungen auf dem Gebiete der Ausbildung der Lehramtskandidaten in der Physik.

Vor etwa zwei Jahren wurde in einer Vertreterversammlung der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fachgruppen der Deutschen Studentenschaft der Mangel einer spezifischen experimentellen Ausbildung der künftigen Lehramtskandidaten an den Hochschulen lebhaft beklagt. Ich erklärte mich bereit, an der Berliner Universität einen solchen Versuch zu machen, sofern es mir gelänge, die dafür notwendige besondere Apparatusammlung zu beschaffen. Denn es war von vornherein klar, daß die eigentliche Apparatusammlung eines Universitätsinstituts hierzu nicht verwendet werden könnte, einmal wegen der Gefahr von Beschädigungen, vor allem aber deshalb, weil die Studierenden sich insbesondere in der Arbeit mit denjenigen Typen von Instrumenten üben sollten, wie sie sie später an den Schulen vorfinden, und diese

sind von den im Universitätsunterricht gebräuchlichen oft sehr verschieden. Ich wandte mich daher an Firmen, die mir in außerordentlich dankenswerter Weise Apparate in namhaftem Werte zur Verfügung stellten.

Mit diesen Mitteln habe ich im Sommersemester 1925 wöchentliche Unterrichtsübungen abgehalten. Irgendwelche ältere Versuche dieser Art waren mir nicht bekannt, es galt also, zunächst in gemeinsamer Arbeit mit den sehr interessierten Studierenden die richtige Form zu finden. Wir gingen von dem Gedanken aus, die Übungen möglichst in Form einer Unterrichtsstunde der Oberstufe — da das naturgemäß viel leichter ist, als bei der Unterstufe — abzuhalten. Als wir am Schlusse des Semesters das Ergebnis kritisch betrachteten, waren wir uns darüber einig, daß es zunächst wie ein völliger Mißerfolg aussah. Wir waren durchweg mit dem, was die einzelnen geboten hatten, restlos unzufrieden; selbst jüngere, bereits im Lehrberufe tätige Teilnehmer hatten Unbefriedigendes geleistet, wenn auch die Versuche zum größeren Teil leidlich ausgefallen waren. Der Grund lag klar zutage: es war unmöglich, die Fiktion der Unterrichtsstunde, der mit den Tatsachen noch nicht bekannten Zuhörerschaft, aufrecht zu erhalten. Und trotzdem waren wir uns auch darüber einig, daß wir — mich selbst

durchaus eingeschlossen — außerordentlich viel bei diesen Übungen gelernt und vor allem auch großen Vorteil aus den anschließenden Diskussionen über die ausgeführten Experimente und die Methodik des Unterrichts gehabt hatten. Es herrschte nur eine Stimme darüber, daß es wünschenswert sei, diese Übungen beizubehalten und auszubauen.

Diese Fortsetzung ist allerdings zunächst unterblieben, weil ich mich an ein Landerziehungsheim beurlauben ließ, aus der Erkenntnis heraus, daß es für uns Akademiker, die künftige Lehrer höherer Schulen auszubilden haben, unbedingt erforderlich sei, sich eingehend mit der heutigen Schule vertraut zu machen. Ich beabsichtige jedoch, wenn irgend möglich, derartige Übungen zu gegebener Zeit wieder aufzunehmen, weil ich sie für unbedingt erforderlich halte. Wie nötig sie sind, zeigt vielleicht am besten der lebhafteste Wunsch aus Kreisen der Studentenschaft. Ich würde in diesem Falle wohl auf Grund der bisherigen Erfahrungen die Form ändern, insbesondere die Fiktion des Unterrichts notgedrungen aufgeben und das Experimentelle mehr betonen. Es gilt in erster Linie, den Kampf gegen die unbestreitbare Tatsache aufzunehmen, daß, wie die Kinder sich so schön ausdrücken, die Physik oft die Stunde ist, in der die Versuche nicht gehen; oder in der die Versuche, die eigentlich vorgeführt werden sollten, nur beschrieben werden. In erster Linie kommt also das bloße Anstellen von Versuchen in Frage und die möglichst reine Herausarbeitung der zu zeigenden Effekte, insbesondere auch die Ausbildung der Kunst, mit geringen Mitteln doch alles Wesentliche zu zeigen. Ganz wesentlich ist, daß die künftigen Lehrer der Physik sich dessen völlig bewußt sind, daß es kaum einen, auch nicht den unscheinbarsten Versuch gibt, auf dessen sicheres Gelingen man sich verlassen darf, wenn man ihn nicht vorher ausprobiert hat. Diese Erkenntnis ist zweifellos schon ein großer, positiver Gewinn der Teilnehmer an meinen Übungen gewesen.

Es war gewiß nicht die Absicht, mit den erwähnten Übungen der späteren pädagogischen Ausbildung der Lehramtskandidaten vorzugreifen. Trotzdem müssen solche Übungen naturgemäß ein starkes pädagogisches Moment haben. Das hat den großen Nutzen, daß die Teilnehmer — wie mir das auch mehrere meiner Studierenden bestätigten —

sich doch auch einmal einer Selbstprüfung auf ihre pädagogische Eignung unterziehen, die zum Lehrberuf ungeeignete Persönlichkeiten gelegentlich veranlassen könnte, sich zu einer anderen Betätigung auf dem Gebiete der Physik zu entschließen, zu einer Zeit, wo dies noch nicht so schwer ist, wie nach begonnener und als erfolglos erkannter Lehrtätigkeit.

Unbedingt erwünscht ist bei derartigen Übungen die Teilnahme von bereits im Lehrberuf erfahrenen und auch von jüngeren Lehrern. Das war bei meinen Übungen in Berlin der Fall.

Der Hauptzweck meiner Mitteilung ist, anzuregen, daß auch an andern Stellen erneut derartige äußerst lohnende Versuche unternommen werden möchten. Wo studentische Fachgruppen bestehen, wie z. B. die ganz mustergültig arbeitende Mathematisch-Physikalische Arbeitsgemeinschaft (Mapha) in Berlin, werden die Dozenten, welche die so sehr erwünschte enge Fühlung mit ihnen halten, leicht feststellen, welche starke Resonanz solche Bemühungen bei der Studentenschaft finden. Eine Schwierigkeit liegt eigentlich nur in der Beschaffung der nötigen Apparate. Aber man kann mit Wenigem anfangen, zunächst am besten mit den in den Schulen vielfach aus Gründen der Ersparnis vorhandenen Universalapparaten, wie z. B. dem Looserschen Thermoskop, gewissen Universalapparaten für Mechanik usw., und allmählich aufbauen. Gerade der Charakter als Universalapparat bringt es mit sich, daß das Experimentieren mit ihnen oft nicht ganz einfach ist; man kann sich also mit einem solchen Apparat ziemlich ausgiebig beschäftigen. Sehr wesentlich ist eine gründliche Ausbildung im optischen Experimentieren, wo es auf der Schule heißt, mit wenigen und kleinen Linsen, winzigen Nicolschen Prismen und dergleichen auszukommen. Und ähnliche Gebiete lassen sich noch zahlreich anführen. Besonders die jüngeren akademischen Kollegen, die noch nicht so stark mit Amtspflichten belastet sind und daher am ehesten die Zeit für die mühevollen und zeitraubende Vorbereitung solcher Übungen aufbringen können, möchte ich daher nachdrücklich auf diese lohnende Betätigung ihrer Venia legendi hinweisen. Sie werden dabei nicht weniger lernen und nicht geringere Freude daran haben als die beteiligten Studierenden.

## Neu erschienene Bücher und Schriften.

**Die historische Uhrensammlung Furtwangen.** Im Auftrage des Badischen Ministeriums für Kultus und Unterricht verfaßt von A. KISTNER, Prof. in Karlsruhe. Furtwangen 1925, 173 S., 16 Bildtafeln.

Das mit großer Sorgfalt geschriebene Buch beginnt mit einer allgemeinverständlichen, trotz ihrer Kürze ziemlich eindringenden Erläuterung: „Aus Astronomie und Kalenderkunde.“ Es folgt

eine Beschreibung der „Uhr und ihrer Teile“, die sich zunächst an den Unkundigen wendet, aber auch einige nur für den Fachmann bestimmte Aufzählungen einstreut. Der Abschnitt: „Die Schwarzwälder Uhr“ wendet sich an den Sammler, dürfte aber auch dem Uhrmacher zum Verständnis des Werdens seiner Kunst recht wertvoll sein. Auf den Beschauer der Sammlung berechnet ist dieser Teil zusammen mit den beiden folgenden:



„Die staatliche Uhrmacherschule zu Furtwangen“ und „Die historische Uhrensammlung zu Furtwangen“. Die Abschnitte „Thaddäus Rinderle“ und „Globenuhr und Planetarium von Ph. M. Hahn“ ergänzen das Gesamtbild im einzelnen. Das Verzeichnis der 1014 Sammlungsstücke umfaßt 107 Seiten. Durch viele Abkürzungszeichen ist es ermöglicht, eine Fülle von Angaben zu machen, besonders für den Sammler und den Fachmann, die in gewöhnlichem Druck die dreifache Seitenzahl erfordert hätten.

Das Buch macht einen sehr günstigen Eindruck und gibt manche Anregung für den Physikunterricht, die sich bei Besichtigung der Sammlung wohl noch verstärken würde. Über seinen besonderen Zweck hinaus stellt es den Wert solcher historischen Sammlungen in ein helles Licht und ist ein ernster Mahner, daß wir in der Anlegung geschichtlicher Sammlungen in unseren Forschungsinstituten und im Schulwesen uns arge Versäumnisse haben zuschulden kommen lassen. Zur rechten Zeit lassen sich solche Stücke ohne nennenswerte Kosten sammeln, die Kosten der Erhaltung sind mäßig. Was aber einmal vernachlässigt ist, das ist, wenn nicht besondere Zufälligkeiten eintreten, unwiederbringlich verloren. *W. V.*

**Kinetische Theorie der Wärme.** Von KARL F. HERZFELD unter Mitwirkung von H. C. GRIMM. Müller-Pouillet's Lehrbuch der Physik. 11. Auflage. III. Band, 2. Hälfte. Braunschweig 1925. Vieweg & Sohn. X + 436 S. mit 52 Fig. Geheftet R.M. 21.—

Der Verfasser behandelt in 9 Kapiteln: Die kinetische Theorie der Gase in elementarer Darstellung; allgemeine statistische Mechanik; Gase; Flüssigkeiten; Lösungen; Theorie der Schwingungen; Quantentheorie; Weiterbildung der statistischen Mechanik; im zehnten Kapitel werden Zahlenwerte (vor allem für die LOSCHMIDTSCHE Zahl) und die Methoden ihrer Bestimmung sowie einige geschichtliche Bemerkungen gegeben.

Das Buch gibt, wie der Verfasser im Vorwort hervorhebt, die erste zusammenfassende Darstellung des gesamten Gebiets der kinetischen Theorie der Wärme. Es wird damit in der Tat einem wesentlichen Bedürfnis aller derjenigen abgeholfen, die sich mit diesem ausgedehnten und für die moderne Physik so wichtigen Gebiet eingehender befassen wollen. Der Verfasser hat auch die Ergebnisse der neueren und neuesten einschlägigen Arbeiten mit verwendet; Literaturangaben sind zahlreich gemacht, so daß man mit Leichtigkeit die Originalarbeiten auffinden kann. Als besondere Vorzüge des Buches möchte ich noch folgendes hervorheben: es werden keine gar zu hohen Anforderungen an den Leser gestellt; nur die jedem Physiker geläufigen mathematischen Operationen treten auf; der Text, der ja naturgemäß wesentlich theoretische Betrachtungen enthält, gibt an den in Betracht kommenden Stellen nicht nur experimentelle Ergebnisse an, sondern meist auch eine kurze Beschreibung der Versuchsanordnung; endlich wird an vielen Stellen

der Inhalt der Formeln durch sehr hübsche, recht anschauliche Vergleiche oder Beispiele erläutert, was gerade bei manchen schwierigeren Problemen für den Leser angenehm und vorteilhaft ist. Demgegenüber kommen einige unbedeutende Ausstellungen (z. B. stimmt Abb. 3 nicht mit dem Text überein, auch Abb. 33 nicht ganz genau) gar nicht in Betracht. Alles in allem liegt hier eine Arbeit vor, deren Erscheinen warm zu begrüßen ist. *E. Lamla.*

**Leitungsinstitution von B. JAKOBI.** Zweite Auflage, 104 S., 275 Abbildungen. Leipzig, 1925, Hachmeister & Thal. RM. 4,50.

Das Buch behandelt die Verlegung der Leitungen für Niederspannung (d. h. bis 250 Volt) in trockenen und feuchten Räumen, in Sonderfällen (d. h. in Räumen, deren Bauart oder Inhalt besondere Rücksichten erfordert, bei vorläufigen Anlagen, in Ausstellungen, Prüffeldern usw.), in elektrischen Betriebsräumen und im Freien. Die vielen gut ausgewählten Abbildungen stellen die Hilfsmittel und Werkzeuge der Leitungslegung und ihre Handhabung übersichtlich und unter Beschränkung auf bewährte und typische Formen dar. Der Text ist in der Beschreibung klar und von genügender Ausführlichkeit, erörtert aber auch die Zweckmäßigkeit überhaupt und im Einzelfall. Das Buch ist für den Verwalter einer physikalischen Sammlung sehr nützlich; eine nicht geringe Anzahl der Abbildungen ist auch für den Unterricht gut zu brauchen. *W. V.*

**Übersicht über den heutigen Stand der Gleichrichter.** Von Prof. Dr. Ing. A. GÜNTHER-SCHULZE und Dr. WERNER GERMERSHAUSEN. Mit 79 Abbildungen. 2. Aufl. Leipzig 1925, Hachmeister & Thal. 111 Seiten. Preis R.M. 4.—

Trotz der großen Verbreitung, welche der Wechselstrom in den letzten Jahrzehnten gefunden hat, so daß nur noch in seltenen Fällen der Netzanschluß Gleichspannung liefert, ist für manche Zwecke Gleichstrom unbedingt erforderlich. Für die Umwandlung von Wechsel- in Gleichstrom kommen Dreh- bzw. Wechselstrom Gleichstrom-Aggregate oder besonders für kleinere Leistungen Gleichrichter in Frage. Verfasser teilen dieselben folgendermaßen ein:

- I. Mechanische Gleichrichter,
- II. Gleichrichter mit elektrischer Ventilwirkung.
  - a) Elektrolytgleichrichter,
  - b) Glimmlichtgleichrichter,
  - c) Lichtbogengleichrichter,
  - d) Glühelektrische Gleichrichter,
  - e) Detektoren.

Von sämtlichen Gleichrichtern, mit Ausnahme der Detektoren, erfährt der Leser die Einrichtung und ohne umschweifende mathematische Entwicklungen die physikalischen Gesetze und damit die Wirkungsweise; auch wird er genau über Vorzüge und Nachteile und die Grenzen der Leistungsfähigkeit der einzelnen Typen informiert. Besprochen sind die Pendelgleichrichter, die Quecksilberstrahlgleichrichter, die Flammengleichrichter, die elektrolytischen Gleichrichter,

der Wehnelt- und der Glühkathodengleichrichter mit Wolframkathode, die Glimmlichtgleichrichter, wohl wegen ihrer Bedeutung am ausführlichsten behandelt, die Quecksilberdampfgleichrichter mit Glas- und Eisengefaß, sowie die Argonalgleichrichter und zum Schluß die Funkgleichrichter.

Eine Tabelle über die Anwendungsbereiche der Gleichrichter gibt einen Überblick über das gesamte von den Gleichrichtern überdeckte Gebiet.

Nicht nur den Betriebsingenieuren, Ärzten, Rundfunkliebhabern und Studenten der Elektrotechnik, sondern auch den naturwissenschaftlichen Lehrern an höheren Schulen wird die Lektüre des Buches bei der Wahl der Anschaffung eines Gleichrichters große Dienste leisten.

*Dr. A. Semmler, Berlin.*

**Kettenleiter und Sperrkreise in Theorie und Praxis.** Von G. EICHELBERGER. (Bibl. des Radio-Amateurs, Band 23. Mit 120 Textabbildungen. (99 S.). Berlin 1925. Verlag Julius Springer. RM. 3.—.

Warum ist dieses sehr mathematische Buch wohl in der Bibliothek des Radioamateurs erschienen? Ein Radioamateur normaler Art dürfte sich kaum mit hyperbolischen Funktionen, imaginären Zahlen, Vektorenrechnung und Differentialen beschäftigen. Nach dem theoretischen Teil folgt ein praktischer Teil, in dem eine Reihe von Schaltungen angegeben ist. Das Buch kann nur dem mathematisch gründlich eingeweihten Leser von Nutzen sein.

*Dr. F. Moeller.*

**Wellentelegraphie und Wellentelephonie.** Von M. G. WEINHOLZ. Mit 116 Figuren im Text und 4 farbigen Tafeln. Berlin und Leipzig, 1926, Walter de Gruyter & Co.

In seinem Vorwort schreibt der Verfasser, daß man leicht zu der Ansicht gelangen könnte, es hieße Eulen nach Athen tragen, wenn man den vorhandenen Schatz an Funkbüchern noch vermehren wollte und begründet die Entstehung seines Buches mit der Erklärung, daß es ein Lehrbuch sein solle für Schüler von Real-, Mittel-, Fortbildungs- und Berufsschulen. *Difficile est satiram non scribere!* Ein Lehrbuch? Wirklich ein Lehrbuch? Der Ausdruck „Fehlerbuch“ wäre richtiger. Es ist ganz unmöglich, eine ausführliche Besprechung dieses „Lehrbuches“ zu schreiben, da man sie Seite für Seite vornehmen müßte, was schon aus Raummangel unmöglich ist. Um das Wesen dieses Buches hervortreten zu lassen, scheint mir die wortgetreue Wiedergabe einer Buchseite unbedingt notwendig zu sein. Ich führe dazu S. 69/71 an, wo die Wirkungsweise der Elektronenröhre besprochen wird. Es heißt nach einigen einleitenden Worten:

„Ein solches Glasrohr<sup>1)</sup>, dessen Inneres ein luftverdünnter Raum bildet, hat an den Enden 2 Metallelektroden. Legen wir eine Spannung daran, so werden die Luftatome sofort zersprengt, indem vom negativen Pol, der Kathode, unausgesetzt Elektronen, negativ geladene Teilchen,

sehr geschwind davon fliegen. Durch den Zusammenprall mit den Luftmolekülen werden auch diese zertrümmert; es spielt sich derselbe Vorgang ab, durch den im Luftraum die neutralen Teile in elektrisch geladene gespalten werden, d. h. die Luft ionisiert wird. Die frei gewordenen Elektronen führen den Strom hinüber zum positiven Pol, der Anode. Während die positive Elektrizität an einen verhältnismäßig schweren Atomkern gebunden ist, also niemals frei ohne Masse angetroffen wird, können die negativen Elektronen mit äußerster Beweglichkeit ihren Geschwindmarsch ausführen. Da die Hauptstrahlung also von der Kathode ausgeht, werden die Röhren auch Kathodenröhren genannt, in denen Professor RÖNTGEN die nach ihm bezeichneten Strahlen entdeckte, die an der Glaswand, über die der Elektronenstrom nicht hinaus kann, ihren Anfang nehmen. Gewöhnlich treten Elektronen nur bei sehr hoher Spannung aus. Bringen wir die Kathode zum Glühen, so werden die Verhältnisse weit günstiger. Daraus ergibt sich, daß auch Wärme die Atome zerschmettert. Fügt man zwischen Anode und Kathode eine dritte Elektrode in Form eines durchlochten Bleches oder einer Drahtspirale, so wird das Rohr zum Verstärker. Unser Bild<sup>1)</sup> zeigt zwei an die Röhre gelegte Stromkreise. Die Kathode steht mit einer Heizbatterie, einer heißen Leitung, in Verbindung, die den Glühfaden, der gewöhnlich aus Wolfram besteht, zur Rotglut bringt. Eine zweite Stromquelle, die Anodenbatterie, liegt mit dem positiven Pol an der Anode, einem cylinderförmig gebogenen Blech, und dem negativen an der Kathode. Es ist eine kalte Leitung. Schon bei einer Temperatur von 2000 Grad beginnt der Elektronenaustritt. Die Elektronen, die negativen Teilchen, nach denen das Gerät auch als Elektronenröhre bezeichnet wird, werden von der positiven Anode aufgesogen, usw.“

In dieser Weise ist das ganze Buch geschrieben, wobei manches Unwesentliche außerordentlich in die Breite gezogen, das Wesentliche (wie oben) eine ganz unglückliche Darstellung erfahren hat. Es wimmelt von Fehlern im Ausdruck und im Inhalt (z. B. wird 1 Ohm dem Widerstand einer Quecksilbersäule von 106,3 cm Länge und 19 mm Querschnitt gleichgesetzt und darauf, mit demselben falschen Maß, auch der Widerstand von Metallstäben bezogen). Auch der Aufbau des ganzen Buches ist überaus merkwürdig; es ist nur zu verwundern, wie der Verlag ein solches Buch überhaupt hat erscheinen lassen können.

*Dr. Friedrich Moeller.*

**Die Vakuumröhren und ihre Schaltungen für den Radioamateur.** Von J. SCOTT-TAGGART. Deutsche Bearbeitung von Dr. SIEGMUND LOEWE und Dr. E. NESPER. Mit 136 Textabbildungen. (188 S.) Berlin 1925, Julius Springer. Preis geb. RM. 13.50.

Es ist ebenso anziehend wie lehrreich, einmal die Darstellungsweise des Auslandes kennen

<sup>1)</sup> Gezeichnet ist eine Geißlersche Röhre.

<sup>1)</sup> Ist gar nicht vorhanden.



zu lernen und zumal eines Mannes, der in seinem Lande der bekannteste und fruchtbarste Vorkämpfer des Radioamateurwesens ist. Es ist deswegen LOEWE und NESPER zu danken, daß sie die Übersetzung des Buches durchgeführt haben. Das etwa 170 Seiten füllende Werk ist gut, die schwierige Materie ist sehr anschaulich und methodisch behandelt, wobei allerdings (wie es sich aber wohl von selbst versteht) die Technik gegenüber der Physik weit vorangestellt ist. Wenn der Verfasser sein Buch offenbar als ein Lehrbuch betrachtet sehen will (worin er durchaus im Rechte ist), so ist es ein Lehrbuch für Amateure im besten Sinne des Wortes; für Schulen kommt es wegen der mageren physikalischen Behandlung nicht in Frage. Übrigens scheint auch in England (ebenso wie in Deutschland) unter den Amateuren die Verwechslung physikalischer Begriffe zu grassieren, wovon leider auch das vorliegende Werk Zeugnis gibt, denn für die grundverschiedenen Begriffe Leistung, Energie, Intensität gibt es im Buche nur den Sammelnamen „Energie“. Es seien noch die Überschriften der einzelnen Kapitel genannt: Die Ventilröhre; die Dreielektrodenröhre; mehrstufige Röhrenverstärker; Rückkopplungsverstärkung und Schwingungserregung; Rückkopplungsempfang drahtloser Signale; Empfangskreis für kontinuierliche Wellen; Röhrensender; Radiotelephonie mit Röhren; verschiedene sonstige Röhrenanwendungen; praktische Winke. Allen Kapiteln, das sei noch besonders hervorgehoben, ist eine Aufgabensammlung beigelegt. Alles in allem ein Werk, das zu den besten in der Radio-Büchersammlung gehört. *Dr. Friedrich Moeller.*

**50 Radioaufsätze der Woche.** Von OTTO KAPPELMAYER. Berlin, August Scherl G. m. b. H. Steif broschiert RM. 3.—.

Das Buch enthält für reine Bastler manche brauchbare Winke; für den Unterricht ist die physikalische Behandlung allzu bescheiden. Die andauernde Verwechslung physikalischer Begriffe, die, wie in jedem Amateurbuche, so auch hier in verschwenderischer Fülle stattfindet, verleidet dem Leser die Lektüre. *Dr. F. Moeller.*

**Chemiker-Kalender 1926.** Ein Hilfsbuch für Chemiker, Physiker, Mineralogen, Industrielle, Pharmazeuten, Hüttenmänner usw. Begründet von Dr. RUDOLF BIEDERMANN. Neubearbeitet von Prof. Dr. WALTHER ROTH, Braunschweig, Techn. Hochschule. In drei Bänden. 47. Jahrgang. — Erster Band: Taschenbuch. (60 S.) — Zweiter Band: Die wichtigsten Eigenschaften anorgani-

scher und organischer Stoffe. Dichten. Löslichkeiten. Analyse aller Art. Lösungsmittel. (718 S.) — Dritter Band: Theoretischer Teil. (596 S.) Berlin 1926, Julius Springer. Geb. RM. 16.50.

Der altbewährte Kalender erscheint in diesem Jahre in drei Bänden, deren erster ein handlicher Kalender mit den für den Chemiker wichtigsten Tabellen, deren zweiter ein chemisches Nachschlagebuch und deren dritter zum Teil eine Fortsetzung des zweiten ist, vor allem aber ein Abriss der Physik und Chemie unter besonderer Hervorhebung der Teile, die in der letzten Zeit eine lebhaftere Entwicklung durchgemacht haben.

Mit diesem Jahrgang hat der Herausgeber die vor sieben Jahren begonnene Umgestaltung und Erneuerung des Kalenders im wesentlichen abgeschlossen, nur die Thermochemie hat noch nicht ganz die geplante Durcharbeitung erhalten. So dürfte, da der Herausgeber nunmehr den Kalender in andere Hände gibt, für die nächsten Jahre mit Beschränkung auf die allernötigsten Änderungen zu rechnen sein, so daß dieser Jahrgang besonderen Wert hat für die, welche nicht alljährlich den Chemiker-Kalender anschaffen, z. B. für die Schulen. *W. V.*

**Kolloidchemie.** Von Dr. A. KUHN, Assistent am physikalisch-chemischen Institut d. Universität Leipzig. Breitensteins Repetitorien Nr. 74. Mit 11 Abbildungen. Leipzig 1925, J. A. Barth. 122 S. R.M. 4.20, geb. 4.70.

Der vorliegenden Schrift dient von vornherein als Empfehlung, daß der Verfasser sich auf eine mehrjährige Assistententätigkeit unter Wo. OSTWALDS Leitung berufen kann. Entsprechend dem Charakter des Repetitoriums werden zum Gebrauch für Vorgeschriftene die wichtigsten Begriffe, Vorgänge und Gesetze der Kolloidchemie geboten, und zwar mehrfach, z. B. bei der Brownschen Molekularbewegung, unter mathematischer Begründung. Gelegentlich der „Elektrophorese“ konnte der noch vielfach übliche Ausdruck Katakaphorese (der im Register fehlt) beiläufig erwähnt werden, wenn auch vielleicht nur in ablehnendem Sinne. Im Abschnitt „Dispersitätsgrad“ ist bei Erörterung der spezifischen Oberfläche (Oberfläche geteilt durch das Volumen) zweimal die Dimension nicht richtig angegeben, z. B. für  $0,1 \mu$  Würfelmantellänge mit „ $6 \cdot 10^6 \text{ cm}^4$ “. Im übrigen zeichnen sich die Darlegungen durch wissenschaftliche Klarheit und Anschaulichkeit aus, auch ist überall die geschichtliche Herkunft der gegebenen Grundbegriffe und Gesetze mit erwähnt. Das Buch verdient auch seitens der Schulchemie volle Beachtung. *O. Ohmann.*

### Aus Werkstätten.

Die Firma E. Leybold's Nachfolger A. G., Köln, stellt seit kurzem ein **Hochvakuumumpen-aggregat** her, das geeignet ist, die für die Hochvakuumtechnik außerordentlich wichtig gewordene Diffusionspumpe auch im Unterricht zu behandeln. Bisher stand hierfür bei den

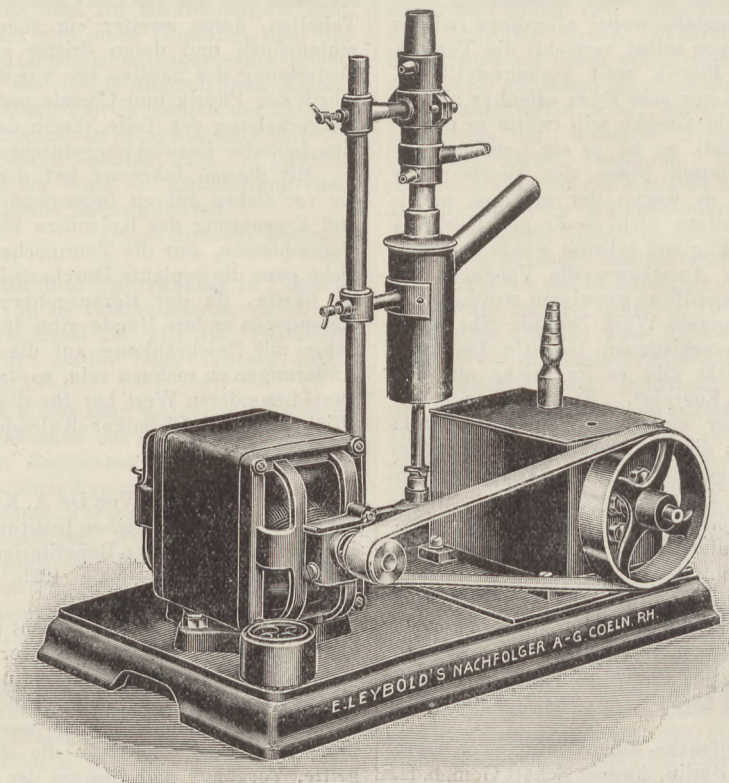
Metallpumpen der hohe Preis hindernd im Wege und bei den aus Glas hergestellten die leichte Zerbrechlichkeit.

Die neue kleine einstufige Hochvakuum-Diffusionspumpe benötigt ein Vorvakuum von 0,1 mm, das mit den vielfach in Schulen vor-

handenen Gaedeschen Kapselpumpen erreicht wird. Zur Füllung dieser Pumpe werden nur 8 ccm Quecksilber benötigt. Mit Hilfe eines Zwischenstückes werden Entladungsröhren auf den Schliff der Pumpe gesetzt und in Bruchteilen einer Minute auf höchstes Vakuum ent-

lüftet. Auf diese Weise können die Vorgänge in einer Entladungsröhre bei fortschreitender Entlüftung, die Röntgenstrahlen, Kanalstrahlen usw. leicht und anschaulich vorgeführt werden.

Da der hohe Preis der Gaedeschen Kapselpumpe aus Bronze bisher vielen Schulen ihre



Anschaffung unmöglich machte, hat die E. Leybold's Nachfolger A. G. auch eine neue Ölpumpe nach GAEDE herausgebracht, die ganz unter Öl läuft und besonders geeignet ist als Vorpumpe für die Diffusionspumpe. Sie liefert ein Vakuum von etwa 0,01 mm und ist daher auch als Pumpe für sämtliche anderen Entlüftungsversuche mit Vorteil zu verwenden. Da sie ganz aus Eisen und Stahl gebaut ist, ist sie unempfindlich gegen Quecksilber.

Gegenüber den anderen unter Öl laufenden Kapselpumpen hat sie den Vorteil, daß beim Abstellen der Pumpe kein Öl in die Leitung tritt. Man schützte sich bei den bisherigen Konstruktionen durch Sicherheitsventile und Hähne, jedoch waren derartige Einrichtungen unsicher und kostspielig. Bei der neuen Konstruktion hört der Ölumlaufl beim Abstellen der Pumpe auf, und infolgedessen kann kein Öl in die Vakuumleitung zurücktreten.

### Korrespondenz.

#### Mathematisch-physikalischer Ferienkursus der Universität Göttingen.

Vom 2. bis 16. Juli ds. Js. wird die Universität Göttingen einen Ferienkursus für Mathematiker und Physiker veranstalten. Der auf 12 Arbeitstage berechnete Lehrgang wird die vielen Möglichkeiten, welche die Göttinger mathematisch-naturwissenschaftliche Fakultät mit ihrer großen Anzahl von Dozenten und ihren zahlreichen Unterrichts- und Forschungseinrichtungen bietet, weitgehend ausnutzen. Folgende Vorträge und Übungen sind geplant:

#### I. Reine Mathematik. 16 Stunden.

1. Prof. Dr. COURANT: Riemann und seine Bedeutung für die Entwicklung der Mathematik in den letzten 80 Jahren. 3 Std. — 2. Prof. Dr. HERGLOTZ: Elementare Betrachtungen über Vektorenfelder. 2 Std. — 3. Prof. Dr. LANDAU: Unendliche Reihen in der Schulbuchliteratur. 4 Std. — 4. Geheimrat Prof. Dr. RUNGE. (Thema noch unbestimmt). — 5. Dr. WALTHER: a) Einige Aufgaben aus der Interpolations- und Differenzenrechnung; Bedeutung der Differenzenrechnung für die moderne Naturwissenschaft. 3 Std. —



b) Führung durch die mathematische Sammlung. 2 Std.

II. Angewandte Psychologie. 3 Stunden.

Oberstudiendirektor Dr. LIETZMANN: Korrelationsbegriff und Leistungsbeurteilung. 3 Std.

III. Experimentalphysik. 15 Stunden.

1. Dr. HOMANN: Photographie und photographische Hilfsmittel im Unterricht. 2 Std. — 2. Prof. Dr. POHL: a) Das elektrische Feld im Unterricht. 2 Std. b) Ausgewählte Vorlesungsversuche. 2 Std. — 3. Prof. Dr. REICH: a) Klangtreue Lautübertragung. 2 Std. b) Demonstrationsversuche der wichtigsten Vorgänge in den Dynamomaschinen, mit Übungen. 1 Std. und 2 Std. — 4. Dr. KÜSTNER: Röntgenstrahlen. 4 Std.

IV. Atomtheorie. 9 Stunden.

Prof. Dr. BORN, Prof. Dr. FRANK, Dr. HUND und Dr. OLDENBERG. Zusammen 9 Std.

V. Mechanik. 10 Stunden.

1. Dipl.-Ing. Dr. ACKERET: Gasströmungen mit Überschallgeschwindigkeit. 2 Std. — 2. Dipl.-Ing. Dr. BETZ: Der Wirbelbegriff und seine Bedeutung für die Flugtechnik. 2 Std. — 3. Prof. Dr. PRANDTL: Anschauliches über die Hydromechanik schwachreibender Flüssigkeiten. 2 Std. — 4. Dipl.-Ing. Dr. NADAI: a) Einige neuere Aufgaben aus der Elastizitätslehre, unter besonderer Berücksichtigung der technischen Anwendungen. (Mit Lichtbildern.) 2 Std. b) Fortschritte der Mechanik plastischer Massen. 2 Std. 1. Grenzspannungs- und Gleichgewichtszustände plastischer Massen. 2. Neuere Versuche über plastische Formänderungen der Metalle. Die Bedeutung der Gleitflächen für die Mechanik bildsamer Massen. (Mit Lichtbildern.)

VI. Astronomie, Geophysik und Meteorologie. 9 Stunden.

1. Prof. Dr. KIENLE: Werden und Vergehen der Sterne. 2 Std. — 2. Geheimrat Prof. Dr. MEYERMANN: Zeit- und Ortsbestimmungen, mit Übungen. 2 Std. — 3. Geheimrat Prof. Dr. WIECHERT: a) Neuere Probleme der Meteorologie. 2 Std. b) Praktische geophysikalische Übungen. 3 Std.

VII. Musik. 2 Stunden.

Kammersänger WUZEL: Die Mechanik der Stimmbildung. 2 Std.

Meldungen zur Teilnahme und Anfragen sind zu richten an die Geschäftsstelle des Arbeitsausschusses der Staatlichen Ferienkurse an der Universität Göttingen. Göttingen, Am weißen Stein 21.

**Über Gasabzüge und Lockflammen.** In seiner Mitteilung über eine sehr glückliche Lösung der schwierigen Frage des Unterrichtsdigestoriums (diese Zeitschr. 39, 83; 1926) macht H. REISSE

die Bemerkung, daß bei gewissen Winden die Lockflamme leider unwirksam sei. Seit Jahrzehnten habe ich in Universitätslaboratorien und Schulen, die ich zu besuchen Gelegenheit hatte, mich stets nach der Zuverlässigkeit der Lockflammen erkundigt. Die Auskunft war verhältnismäßig oft ungünstig, besonders was das Absaugen schwerer Gase betrifft. In einem großen Hochschullaboratorium war eine Reihe von Abzügen im Sommer, eine andere im Winter unbrauchbar und die Versuche, Abhilfe zu schaffen, waren völlig mißglückt. Wenn das nun schon dort der Fall ist, wo die Lockflammen dauernd brennen, so muß man sich in den Schulen auf viel größere Unsicherheit gefaßt machen, und der Befund rechtfertigt diesen Schluß. Es scheint mir deshalb dringend nötig zu sein, daß man für Schulen gänzlich von den Lockflammen abgeht und elektrische Entlüftung anwendet. Sie hat den Vorzug auch vor wirksamen Lockflammen, daß sie sogleich ihre Aufgabe erfüllt und nicht erst nach Erwärmung des langen kalten Dunstrohres. Ferner sind über Dach geführte Dunstrohre nicht unbedingt nötig, sondern ein an der Decke zur Außenwand geführter Kanal aus Brettern und ein vom Hof oder der Straße her kaum sichtbares Loch in der Außenwand genügen vollkommen. Den Abschluß bilden Klappen, die der Luftstrom des Ventilators selbst zu heben vermag. Ein Drahtnetz verhütet, daß Vögel das Luftloch zum Nistplatz wählen. So kann die Anlage sogar billiger werden als mit Lockflamme und langem Dunstrohr aus Ton, besonders bei nachträglichem Einbau. *W. Volkmann.*

Prof. AL. SCHMITT am Friedrichsgymnasium in Freiburg i. Br. würdigt in einer Zusage die Verdienste seines Amtsvorgängers Prof. J. Neuberger, der bis zu seinem Tode im 70. Lebensjahre unser Mitarbeiter war. Die Jahrgänge 20, 37 und das vorige Heft weisen Beiträge von ihm auf. Von 1904 bis zu seinem Übertritt in den Ruhestand im Herbst 1919 brachte er die von ihm eingerichtete physikalische Sammlung seiner Anstalt auf eine bedeutende Höhe und stellte auch noch nachher seine Erfindungsgabe und seine Geschicklichkeit im Bau von Apparaten in den Dienst unserer Unterrichtsbestrebungen. NEUBERGER besaß eine ungewöhnliche Fertigkeit im Experimentieren und wußte seinen Schülern, die er zu exaktem Denken erzog, außerordentlich viel zu bieten. Seine Schulfloren von Baden, deren achte Auflage er noch selbst fertigen konnte, legt Zeugnis ab von einem umfassenden Wissen auf dem Gebiete der Botanik. Was NEUBERGER zur Förderung des naturwissenschaftlichen Unterrichts geschaffen hat, sichert ihm ein ehrendes Gedenken, und seine Opferfreudigkeit im Dienste der Schule wird vorbildlich bleiben.

## Himmelserscheinungen im Juli und August 1926.

W. Z.: Welt-Zeit = Bürgerlich. Zeit Greenwich. 0h W. Z. = Mitternacht bürgerl. Zeit Greenwich.  
 Stundenzählung von 0h bis 24h. St. Z. = Bürgerl. Zeit Stargard = W. Z. + 1h.

W. Z. 0h	Juli						August						Sept. 3	
	5	10	15	20	25	30	4	9	14	19	24	29		
♄ {	AR	8h 42m	9.3	9.19	9.28	9.30	9.24	9.12	8.57	8.46	8.45	8.56	9.19	9.51
	D	+ 19,0°	+ 16,6	+ 14,4	+ 12,4	+ 11,1	+ 10,6	+ 11,0	+ 12,4	+ 14,1	+ 15,6	+ 16,4	+ 16,0	+ 14,4
♃ {	AR	4h 23m	4.47	5.12	5.38	6.4	6.30	6.56	7.22	7.47	8.13	8.38	9.3	9.28
	D	+ 19,8°	+ 20,8	+ 21,6	+ 22,2	+ 22,5	+ 22,6	+ 22,4	+ 21,9	+ 21,2	+ 20,2	+ 19,0	+ 17,5	+ 15,9
♁ {	AR	6h 53m	7.14	7.34	7.54	8.14	8.34	8.53	9.12	9.31	9.50	10.9	10.27	10.45
	D	+ 22,9°	+ 22,4	+ 21,7	+ 20,9	+ 19,9	+ 18,8	+ 17,5	+ 16,2	+ 14,7	+ 13,1	+ 11,5	+ 9,7	+ 7,9
♂ {	AR	0h 53m	1.5	1.17	1.29	1.40	1.51	2.1	2.11	2.21	2.30	2.38	2.46	2.53
	D	+ 2,8°	+ 4,0	+ 5,2	+ 6,3	+ 7,3	+ 8,3	+ 9,2	+ 10,1	+ 10,9	+ 11,7	+ 12,4	+ 13,0	+ 13,5
♃ {	AR	21h 57m		21.54		21.50		21.46		21.41		21.36		21.31
	D	- 13,6°		- 13,8		- 14,2		- 14,6		- 15,1		- 15,5		- 15,9
♁ {	AR	15h 12m				15.10				15.12				15.15
	D	- 15,5°				- 15,5				- 15,7				- 16,0

$\Delta$  = Sternzeit für 0h Welt-Zeit; für östl. bzw. westl. Länge  $\lambda^0$  v. Greenwich:  $\mp \lambda \cdot 0.657^s$ .  
 Zeitgl. = Mittl. Z. - Wahre Z.

Zeitgl.	18h	19.	19.	19.	20.	20.	20.	21.	21.	21.	22.	22.	22.
	48m 56s	8.38	28.21	48.4	7.47	27.30	47.12	6.55	26.38	46.21	6.3	25.46	45.29
+4m 11s	+5.1	+5.40	+6.7	+6.20	+6.19	+6.3	+5.32	+4.47	+3.47	+2.35	+1.12	-0.20	

Breite v. Berlin (52,5°). Länge v. Stargard. Aufgang u. Untergang d. ob. ☉-Randes. St. Z.

Aufg.	3h 43m	3.48	3.54	4.1	4.7	4.15	4.23	4.31	4.39	4.47	4.56	5.4	5.12
Unterg.	20h 25m	20.21	20.16	20.11	20.4	19.56	19.48	19.39	19.29	19.19	19.8	18.57	18.46

Breite v. Berlin (52,5°). Länge v. Stargard. Aufgang u. Untergang d. ob. ☾-Randes. St. Z.

Aufg.	0h 59m	4.3	9.24	15.11	20.33	22.44	0.28	4.49	10.33	16.29	20.2	21.57	0.48
Unterg.	15h 47m	20.52	22.58	0.12	4.1	11.0	17.8	20.25	21.55	(24.31)	5.43	12.40	17.31

Mondphasen W. Z.	Neumond	Erstes Viertel	Vollmond	Letztes Viertel
		Juli 9. 23h 6.4m Aug. 8. 13h 48.6m	Juli 18. 2h 55.0m Aug. 16. 16h 38.6m	Juli 25. 5h 13.3m Aug. 23. 12h 37.8m

Verfinsterungen der Jupitertrabanten I, II, III, IV. E: Eintritt, A: Austritt. W. Z.

I		II		III		IV	
Juli 5.	1h 30.7m E	Aug. 5.	22h 5.6m E	Juli 23.	21h 41.3m E	Juli 20.	21h 11.3m E
„ 13.	21h 53.5m E	„ 13.	0h 0.3m E	„ 31.	0h 16.4m E	„ 28.	1h 11.7m E
„ 20.	23h 47.9m E	„ 21.	22h 41.8m A	Aug. 17.	21h 38.6m A	Aug. 25.	20h 52.0m A
„ 28.	1h 42.4m E	„ 29.	0h 36.7m A	„ 25.	0h 14.8m A	Sept. 2.	0h 52.6m A
„ 29.	20h 11.0m E	„ 30.	19h 5.4m A				

Tägliches Erscheinen und Verschwinden der Planeten. Breite von Berlin. Länge von Stargard.

St. Z.	♀	♀	♂	♃	♁
Juli 5.	Da 21,0h U 21,7h	A 1,7h Dm 3,2h	A 23,8h Dm 2,8h	A 22,3h Dm 2,7h	Da 21,6h U 1,0h
„ 15.	(21,2h)	A 1,9h Dm 3,4h	A 23,3h Dm 3,0h	A 21,6h Dm 2,9h	Da 21,5h U 0,3h
„ 25.	—	A 2,2h Dm 3,6h	A 22,8h Dm 3,2h	Da 21,1h Dm 3,1h	Da 21,3h U 23,7h
Aug. 4.	—	A 2,4h Dm 3,9h	A 22,3h Dm 3,5h	Da 20,6h Dm 3,4h	Da 21,0h U 23,0h
„ 14.	(4,1h)	A 2,7h Dm 4,2h	A 21,8h Dm 3,8h	Da 20,5h Dm 3,7h	Da 20,7h U 22,4h
„ 24.	A 3,3h Dm 4,3h	A 2,9h Dm 4,4h	A 21,3h Dm 4,0h	Da 20,1h Dm 3,9h	Da 20,3h U 21,7h
Sept. 3.	A 3,8h Dm 4,6h	A 3,2h Dm 4,7h	A 20,8h Dm 4,3h	Da 19,8h U 3,3h	Da 20,0h U 21,0h

A = Aufgang; U = Untergang; Da und Dm = Erscheinen bzw. Verschwinden in der Dämmerung.

W. Z. Merkur in gr. östl. Elong. 26° 22', Juli 10. 17h. Merkur in Konjunktion mit dem Mond  
 Juli 12. 6h. Jupiter in der Opposition Aug. 7. 14h. Merkur in gr. westl. Elongation 18° 20'  
 Aug. 25. 9h. Ringförmige Sonnenfinsternis Juli 9.—10., in Europa unsichtbar. A. Weill.

Für die Redaktion verantwortlich: Ministerialrat Professor Dr. K. Metzner, Berlin W. 8.

Nachdruck nur mit Quellenangabe und mit Genehmigung der Verlagshandlung gestattet.