BIBLIOTEKA
WYŻSZEJ SZKOŁY PEDAGOGICZNEJ
W GDAŃSKU

Zeitschrift
für den
Physikalischen und Chemischen Unterricht.

XXXVI. Jahrgang. 1923. Erstes Heft.

Über eine neue Art der Darstellung von Äquipotentialflächen im elektromagnetischen Felde.

Von Martin Gebhardt und Erich Günther in Dresden

Als Vortrag gehalten auf der Jahrhundertfeier deutscher Naturforscher und Ärzte zu Leipzig im September 1922.

1.

Es ist verhältnismäßig einfach, die Faradayschen Anschauungen über das elektromagnetische Feld im Unterrichte darzustellen, wenn man sich auf die Kraftlinien beschränkt. Wir erinnern an die Benutzung aufgestreuter Eisenfeilspäne oder anderer z. T. in geeigneten Flüssigkeiten suspendierter Pulver, wie solcher aus Kork, Hollundermark, Zucker, Glycin, Chininsulfat oder Gips, an die Verwendung von schwimmenden Stahlstäben oder elektrisierten Papierbüscheln, an das Abtasten mit kurzen Magnetnadeln und andere Hilfsmittel. Dazu kann auf zahlreiche Artikel dieser Zeitschrift verwiesen werden[1]). Weit schwieriger gestalten sich die Verhältnisse, wenn man das zu den Kraftlinien gehörige, orthogonale System der Äquipotentialflächen in die Betrachtung hereinziehen will, da es bisher unseres Wissens kein Mittel gab, diese Flächen in einfacher Weise experimentell zu gewinnen. Deshalb blieben sie dem Schüler ein abstrakter mathematischer Begriff. Man hat sich wohl damit zu helfen gesucht, daß man einen Kompaß immer senkrecht zur Richtung der Magnetnadel verschiebt. Indes ist wohl klar, daß es sich dabei letzten Endes eben auch nur um eine rein mathematische Konstruktion der Orthogonalkurven handelt; damit erreicht man auch nicht mehr, als durch eine Skizze an der Wandtafel. Das innere Verständnis der Sache wird nicht gefördert. Die Niveauflächen werden als eine physikalische Realität dadurch nicht erfaßt.

Gelegentlich von Resonanzversuchen im Hochfrequenzkreis bedienten wir uns in bekannter Weise des Telephons, um mit Hilfe des Tonmaximums den Resonanzpunkt festzustellen. Im weiteren Verfolg dieser Untersuchungen wurden wir darauf geführt, das Telephon auch als Indikator für die Topographie des Wechselstromfeldes zu verwenden. So ergab sich die im folgenden zu beschreibende Methode.

2.

Erregt man ein kräftiges Wechselstromfeld und bringt man in dieses eine Spule, deren Durchmesser und Achsenlänge möglichst klein zu wählen sind, so wird im allgemeinen ein mit dieser Spule kurzgeschlossenes Telephon einen Ton geben. Die Stärke dieses Tones erreicht einen Höchstwert, wenn die Achse der Spule in die Richtung der Kraftlinien fällt, wobei die Induktionswirkung möglichst groß wird. Dreht man die Spule auch nur ein wenig aus dieser Lage heraus, so daß die Achse einen Winkel mit den Kraftlinien bildet, so erfährt der Ton eine Abschwächung. Führt man die Spule so vorwärts, daß das relative Maximum erhalten bleibt, so ist

[1]) W. Weiler, d. Ztschr. 6, 194; 7, 136. — F. Hoffmann, 12, 153. — L. Keck und K. Hartwig, 12, 154. — M. Seddig, 17, 38. — G. Mie, 19, 154. — B. v. Czudnochowski, 22, 362. — Fr. C. G. Müller, 25, 174. — C. Fischer, 29, 204 u. a.

man sicher, längs einer Kraftlinie fortzuschreiten. Hier liegt also eine Methode vor, die dem Verfahren des Abtastens mit der Magnetnadel im großen und ganzen entspricht.

Es liegt nun nahe, statt des Maximums das Minimum des Tones einzustellen, wodurch die Spulenachse senkrecht zu einer Kraftlinie gelegt, also Tangente einer Äquipotentialfläche wird. Dabei stellt sich heraus, daß bei einer sehr scharf einstellbaren Lage der Spule der Ton ganz oder fast ganz verschwindet. Das Minimum kennzeichnet sich jedenfalls viel schärfer, als das Maximum.

Verschiebt man nun unter Einhaltung des Tonminimums die Spule in ihrer Achsenrichtung sehr wenig, und fährt man damit von der neuen Lage ausgehend fort, so tastet man mit großer Sicherheit eine Niveaulinie ab.

Während die oben angedeutete Methode, die Kraftlinien mit Hilfe des Tonmaximums zu ermitteln, gegenüber dem Verfahren mit der Magnetnadel nichts grundsätzlich neues bietet, verhält es sich anders mit dem Aufsuchen der Niveaulinien. Das zu den Kraftlinien senkrechte Fortschreiten erhält hier erst durch das Tonminimum einen wirklichen, physikalischen Sinn; die Niveauflächen werden nicht mehr nur als rein mathematische Gebilde erkannt, sondern sie erhalten eine physikalische Bedeutung.

3.

Zunächst einige Angaben über die Versuchsanordnung. Als Feld wird für Unterrichtszwecke wohl nur ein ein- oder zweipoliges in Frage kommen. Die zu seiner Erzeugung von uns benutzten Spulen sind etwa 7 cm lang bei einem inneren Durchmesser von 5 cm und bestehen aus vier Lagen dicken, umsponnenen Kupferdrahtes, der eine Belastung von 10÷15 Amp. ohne zu starke Erwärmung verträgt. In das Innere läßt sich ein gut lamellierter Eisenkern einschieben. Vorteilhaft verwendet man sodann ein Zeichenbrett mittlerer Größe, auf das die Spulen aufgelegt werden und das zur Aufnahme der Niveaulinien dient. Es empfiehlt sich das Brett beiderseits mit passenden Ausschnitten für die Spulen zu versehen, so daß die Spulenachsen in die Zeichenebene hineinfallen. Man legt das Brett entweder einfach wagerecht auf den Experimentiertisch; besser aber stellt man es für Demonstrationszwecke senkrecht auf, wobei dann die Spulen auf Holzklötzen angebracht werden (Fig. 1). Nach diesem Verfahren erhält man vorerst nur die Niveaulinien als Schnitt der Äquipotentialflächen mit der Zeichentafel.

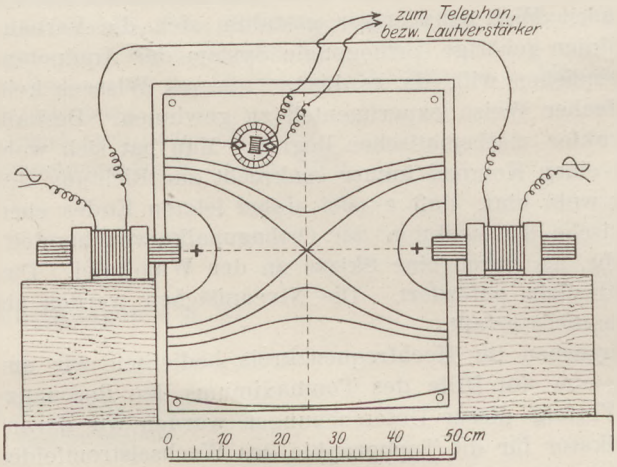


Fig. 1.

Zum Abtasten verwenden wir eine kleine Spule aus einem Telephontransformator; sie hat 2 cm Durchmesser und 2 cm Achsenlänge, ist mit 600 Windungen sehr feinen Kupferdrahtes umwickelt und auf einer kleinen Kreisscheibe aus Karton montiert, so daß die Spulenachse parallel zur Kartonscheibe liegt. Die Scheibe ist aus weiter unten zu erörternden Gründen mit einer Gradeinteilung und zwei kleinen, rautenförmigen Ausschnitten versehen, die in die Projektion der Spulenachse fallen und zum Markieren der Achse auf der Zeichentafel dienen (Fig. 2). Die genaue Justierung der Achse geschieht durch ein Verfahren, ähnlich dem der Justierung einer

Libelle: An einem beliebigen Feldpunkte wird die Spule auf Tonminimum eingestellt, die Achsenrichtung durch zwei scharfe Punkte auf der Unterlage durch die Rautenfenster hindurch markiert und die Spule sodann um 180° gedreht; mit Hilfe der Abweichung von der alten Achsenrichtung beim neuen Tonminimum wird nun die gegenseitige Lage von Spule und Kartonscheibe korrigiert.

Ist in der Sammlung ein Lautverstärker zur Verfügung, so wird man ihn vorteilhaft an Stelle des einfachen Telephons verwenden, um das Tonminimum gleichzeitig der ganzen Klasse bemerkbar zu machen. Man wird überrascht sein, wie scharf das Minimum herauskommt und in welch weitem Bereiche man das Feld unter-

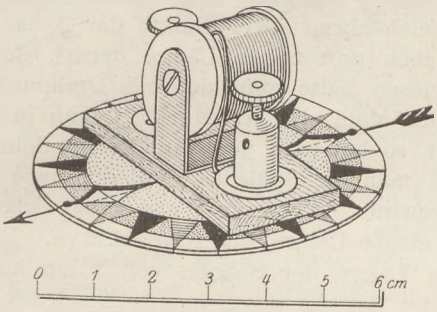


Fig. 2.

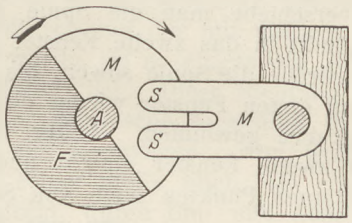


Fig. 3.

suchen kann. Bei Verwendung eines Dreifach-Lautverstärkers erhielten wir noch in einer Entfernung von mehr als 1 m zwischen Tastspule und Feldspulen deutliche Wirkung.

Für Schulen, denen Wechselstrom nicht zur Verfügung steht, ersannen wir folgende Abart des Verfahrens: Die Feldspulen werden mit Gleichstrom beschickt, der durch einen langsam arbeitenden Unterbrecher sekundlich etwa dreimal geöffnet und geschlossen wird. Ein solcher Unterbrecher läßt sich leicht aus einer Vulkanfieberscheibe, die zur Hälfte mit Messing belegt ist, herstellen. Sie wird mit einer Rändelmutter auf der Achse eines kleinen Elektromotors[1]) befestigt. An ihr schleift in bekannter Weise eine Kontaktgabel (Fig. 3). Gelegentlich verwenden wir auch einen schwingenden Quecksilberinterruptor, dessen Unterbrechungszahl sich durch eine verschiebbare Masse *M* passend regeln läßt und der eine Belastung von 10 Amp. gut verträgt (Fig. 4). Ein solcher ist vorzuziehen, weil er, wenn die Eintauchstellen der Platinkontaktstifte gut mit Petroleum abgedeckt sind, fast gar nicht funkt und nahezu ohne Geräusch sehr schön gleichmäßig arbeitet, auch mit wünschenswerter Plötzlichkeit den sekundären Strom abbricht und wieder schließt.

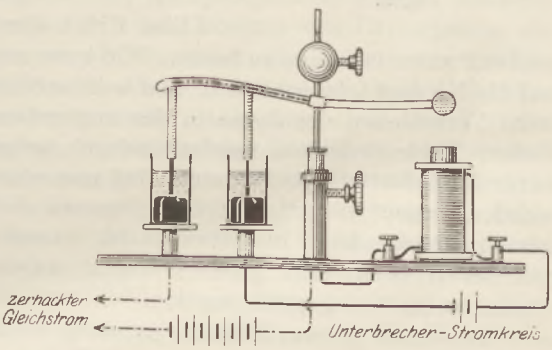


Fig. 4.

Als Indikator dient dann entweder ebenfalls das Telephon, in dem nun an Stelle des Tones ein regelmäßiges Knacken vernehmbar ist. Ist man aber im Besitz eines hochempfindlichen Spiegelgalvanometers von guter Dämpfung, so kann man dieses an Stelle des Telephons verwenden. Der Lichtzeiger des Instruments führt bei der

[1]) Sehr brauchbar ist hierzu der von den physikalischen Werkstätten (Phywe) in Göttingen gelieferte Universalmotor, dessen Umdrehungsgeschwindigkeit außerordentlich fein und in weitem Spielraume regulierbar ist. Gesonderte Felderregung ist hier nicht erforderlich.

beschriebenen Anordnung kräftige Schwingungen aus; dem Tonmaximum entspricht größte Amplitude, dem Tonminimum vollkommene Ruhe des Lichtzeigers. Wir verwenden mit vorzüglichem Erfolge das ausgezeichnete Spiegelgalvanometer DNr. 591 von Hartmann und Braun. An Feinheit steht diese Methode der zuerst beschriebenen in keiner Weise nach. Besitzt man keinen Lautverstärker, so empfiehlt sich die Anwendung des Galvanometers, da damit die Erscheinung objektiv vorgeführt werden kann. Freilich hat die Telephonmethode den Vorzug, daß bei ihr Auge und Ohr müheloser das Zusammenfallen zweier Ereignisse festzustellen vermögen.

Um mit Sicherheit in einer Niveaulinie fortzuschreiten, bediene man sich des folgenden Verfahrens. Bei einer Minimumstellung markiere man durch die scharfen Ecken der beiden Rautenfenster auf dem Zeichenbrett zwei Punkte der Achse. Sodann verschiebe man die Spule um die eben gewonnene Länge derart, daß der erste Punkt in das zweite Fenster tritt. Diesen halte man nun als Drehpunkt fest und verdrehe die Spule soweit, bis wieder Minimum erfolgt. Markiert man in dieser Lage im ersten Fenster wieder einen Punkt, so hat man jetzt eine zweite Sehne der Niveaukurve gewonnen. Weiter verschiebe man die Spule so, daß der neue Punkt in das zweite Fenster eintritt und man gewinnt in dieser Weise eine Folge von äquidistanten Punkten oder von Sehnen gleicher Länge der Niveaukurve. Bei der von uns gewählten Länge der Sehnen von 2 cm kommen alle Krümmungen der Kurven deutlich zum Ausdruck.

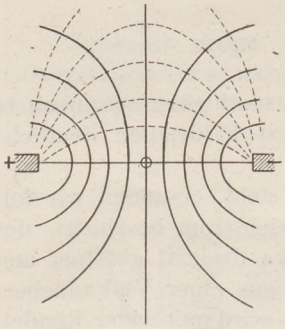


Fig. 5.

In Fig. 1 sind für den Fall des gleichnamig-zweipoligen Feldes die Kurven genau so wiedergegeben, wie sie ein geschickter Primaner während der Schülerübungen aufgenommen hat. Man erkennt deutlich in Annäherung eine Schar Cassinischer Kurven, die als Sonderfall die Lemniskate enthalten. In Fig. 5 ist das ungleichnamig-zweipolige Feld, ebenfalls nach der Ausführung eines Schülers skizziert; die Genauigkeit der Bilder dürfte den Ansprüchen des Unterrichts vollauf genügen [1]).

4.

Eine Kritik der Methode hätte vor allem die folgenden beiden Punkte ins Auge zu fassen: Wie kann man erstens aus der Lage der Spule exakt auf die Niveaufläche schließen, und welche Sicherheit hat man zweitens dafür, daß man beim Verschieben der Spule in der angegebenen Weise auf derselben Niveaufläche bleibt? Beide Bedenken werden dadurch ausgelöst, daß man mit einer Spule von meßbarer Ausdehnung arbeiten muß, daß man also praktisch kein Differentialverfahren anwenden kann. Wenn auch das Abtasten der Kraftlinien mit der Magnetnadel allgemein unbedenklich in Gebrauch ist, obwohl sich dagegen die beiden Einwände in gleicher Weise geltend machen lassen, sollen sie hier auf ihre Stichhaltigkeit noch einmal besonders geprüft werden.

Der erste Einwand macht es nötig, zunächst einmal die Verhältnisse in einem Feldpunkte genauer zu untersuchen. Es ist ohne weiteres klar, daß im Falle des homogenen Feldes, also bei geradlinigen, äquidistanten, parallelen Kraftlinien, das Minimum der Induktionswirkung dann eintreten wird, wenn die Spulenachse genau senkrecht zu den Kraftlinien liegt, somit vollständig in eine Niveaufläche, die hier ja eine Ebene ist, hineinfällt. Die Größe der Untersuchungsspule spielt dabei keine Rolle. Nicht viel schwieriger liegen die Dinge, wenn die Kraftlinien geradlinig nach

[1]) Wir verweisen auf die unter Mitwirkung von Maiß und Poske verfaßte „Physik von Höfler“ (Braunschweig, Vieweg), ein ausgezeichnetes Werk, in dem sich in § 24 (Gravitationspotential) sehr schöne Tafeln mit exakten Zeichnungen von Kraftfeldern finden. Durch Herumklappen transparenten Papiers kann man dort in farbiger Darstellung Kraftlinien und Niveaulinien zu einem anschaulichen Gesamtbilde vereinigen.

einem Punkte konvergieren, die Niveauflächen somit Kugeln sind, oder wenn das Feld im untersuchten Punkt eine Symmetrieachse in Richtung maximaler Intensität besitzt; in beiden Fällen ist die Spulenachse in der Minimumstellung ohne weiteres Tangente der Äquipotentialfläche. Um nun aber auch Klarheit für das beliebige, inhomogene Feld zu erhalten, wurde folgendermaßen verfahren. Die Spule wurde mit dem ballistischen Galvanometer verbunden[1]). Das Feld wurde mit Gleichstrom erregt; beim Ein- und Ausschalten des Feldstromes zeigt das ballistische Galvanometer gleiche Ausschläge, die als ein Maß für die Induktionswirkung angesehen werden können. Der rotierende Unterbrecher darf dabei natürlich nicht verwendet werden; das Ein- und Ausschalten erfolgt einfach mit der Hand durch einen gewöhnlichen Schalter, da man dem Galvanometer Zeit lassen muß, den vollen Ausschlag auszuführen. Nun wurde die Untersuchungsspule in einen Feldpunkt gebracht, so daß die oben erwähnte Kartonscheibe mit dem Teilkreis auf der mit weißem Papier bespannten Zeichentafel auflag. Durch Versuche wurde sie so eingestellt, daß ihre Achse in die Richtung größter Intensität des Feldes[2]) fiel. Diese Richtung wurde markiert und auf ihr wurde der am Galvanometer gemessene Ausschlag in einem passenden Maßstabe vom untersuchten Feldpunkt aus abgetragen. Nun wurde die Spule derart, daß ihr Mittelpunkt unverrückt an seiner Stelle blieb, um einen am Teilkreis ablesbaren Winkelbetrag (etwa 15°) gedreht, durch Ein- und Ausschalten die Komponente der Feldstärke in der neuen Richtung bestimmt und der so gefundene Galvanometerausschlag wiederum als Vektor auf der neuen Achsenrichtung aufgetragen. In dieser Weise fuhr man fort und erhielt durch die Endpunkte der sämtlichen Vektoren eine Kurve, die anschaulich die Intensitätsverhältnisse im untersuchten Gebiet, also in unmittelbarer Umgebung des fraglichen Feldpunktes wiedergab. Die Tangente an diese Kurve im Feldpunkte, der ja auf der Kurve liegt und der Pol der ganzen Darstellung ist, muß Tangente der Äquipotentialfläche sein. Im Falle des homogenen Feldes nimmt die Intensität mit dem Kosinus des Drehwinkels ab; die Kurve wird also ein Kreis sein, dessen Durchmesser der Vektor des größten Galvanometerausschlags ist. Das Verfahren ist übrigens so genau, daß sich seine Vorführung im Unterrichte schon zur experimentellen Ableitung eben des Kosinusgesetzes empfiehlt; ist es doch nicht einfach, dieses wichtige Gesetz, wo es sonst auftritt (Druck auf eine schräg in eine Strömung gehängte Platte, Beleuchtungsstärke bei schrägem Einfall usf.), durch den Versuch nachzuprüfen. Im inhomogenen Felde wird die Kurve Abweichungen von der idealen Kreisform haben, deren Stärke einen Begriff von der Größe der Inhomogenität geben kann. Bei der Kleinheit der von uns verwendeten Spule zeigten sich nun auch in möglichst inhomogenen Feldgebieten kaum irgendwie bemerkbare Abweichungen der Kurve von der Kreisform, so daß es gerechtfertigt ist, das Feld in dem von unserer Spule umschlossenen Raum als hinreichend homogen zu betrachten.

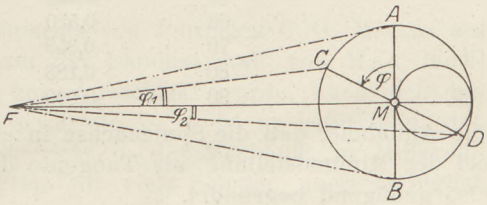


Fig. 6.

Die allgemeine Berechnung der eben besprochenen Kurve für ein beliebiges, inhomogenes Feld bei gegebener Kraftlinienanordnung überschreitet die Grenzen der Schulmathematik. Als Beispiel sei ein Fall gegeben, der unter besonders einfachen Voraussetzungen im Unterrichte noch lösbar ist, nämlich der, wo die Kraftlinien geradlinig von einem Punkt ausgehen, die Niveaukurven also bei Beschränkung auf den

[1]) Bei dem Galvanometer von Hartmann & Braun läßt sich der Übergang zum ballistischen Galvanometer in der einfachsten Weise dadurch erreichen, daß auf das System eine passende Zusatzmasse aufgelegt wird.

[2]) Vgl. M. de Waha, Das magnetische Feld, diese Zeitschr. 13 S. 315 (1900).

ebenen Fall einfach Kreise sind. In Fig. 6 sei F der Konvergenzpunkt der Kraftlinien, M der Spulenmittelpunkt, also gleichzeitig der untersuchte Feldpunkt, AB der Spulendurchmesser für den Fall, daß die Spule senkrecht zu FM liegt, wobei größte Induktionswirkung eintritt, CD endlich der Spulendurchmesser bei beliebiger Lage, wenn die Spule um den Winkel φ gegen die Ausgangslage AB gedreht worden ist. Bezeichnen wir weiter CFM mit φ_1 und DFM mit φ_2, so ist der Kraftlinienfluß durch die Spule

$$N = N_0 \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2\pi} \quad \varphi_1 = arcsin \frac{r \cos\varphi}{\sqrt{e^2 + r^2 - 2\,e\,r \sin\varphi}} \quad \varphi_2 = arcsin \frac{r \cos\varphi}{\sqrt{e^2 + r^2 + 2\,e\,r \sin\varphi}}$$

wenn N_0 der gesamte, von F ausgehende Kraftlinienfluß und $\frac{FM = e}{AM = r}$ ist. In der nachfolgenden Tabelle sind die Intensitäten N als Funktion von φ wiedergegeben für den Fall, daß $FM = 5$ cm, $AB = 2$ cm ist. Die Maximalintensität ist gleich 1 angenommen. N' sind die entsprechenden Intensitäten für das homogene Feld. Man sieht, daß die Werte für N und N' nur geringfügig von einander abweichen.

φ	N	N'	$N - N'$
0	1,000	1,000	0,000
10	0,986	0,985	0,001
20	0,946	0,940	0,006
30	0,877	0,866	0,011
40	0,781	0,766	0,015
50	0,663	0,643	0,020
60	0,520	0,501	0,019
70	0,359	0,342	0,017
80	0,183	0,174	0,009
90	0,000	0,000	0,000

Die Annahme, daß die Spulenachse in erster Annäherung auch im allgemeinen Falle bei der Minimalstellung als Tangente der Niveaufläche angesehen werden kann, ist also genügend begründet.

Weiter wäre zu erörtern, welche Sicherheit dafür vorhanden ist, daß man beim Verschieben der Spule in der angegebenen Weise auf derselben Niveaulinie bleibt und wieweit das Verfahren der äquidistanten Punkte, das man zum Festlegen der Kurven verwendet, zutrifft. Eine gewisse Beruhigung gibt die große Schärfe und vorzügliche Symmetrie der aufgenommenen Feldbilder. Wirklich überzeugend ist das folgende Verfahren: Man nimmt zunächst eine Reihe äquidistanter Punkte einer Niveaulinie auf, zeichnet dann die Kurve möglichst genau ein und nimmt sodann bei einem Punkte beginnend, der etwa in der Mitte zwischen zwei Punkten der ersten Aufnahme liegt, eine neue Punktreihe auf. Liegen diese Punkte gut auf der gezeichneten Kurve, so ist das Verfahren innerhalb der Fehlergrenzen als gerechtfertigt anzusehen.

Ein vollkommen befriedigendes Kriterium gibt endlich der Vergleich des gewonnenen Niveaulinienbildes mit dem Kraftlinienbilde. Durch aufgestreute Eisenfeilspäne überzeugt man sich zunächst oberflächlich davon, daß es sich wirklich um zwei Systeme orthogonaler Trajektorien handelt [1]). Man verschärft das Urteil sodann dadurch, daß man die Kraftlinien genau mit Hilfe einer kleinen Bussole aufnimmt. Die Orthogonalität der beiden Kurvenscharen kann dann z. B. in der einfachsten und genauesten Weise mit dem Spiegellineal [2]) nachgeprüft werden. In allen von uns behandelten Fällen zeigte sich ein vollständiges Eintreffen der geschilderten Kriterien, so daß die Methode im vollen Umfang als befriedigend anzusprechen ist.

Im Unterrichte möchte übrigens noch darauf ganz besonders hingewiesen werden, daß die Methode deshalb zulässig ist, weil die Topographie des Feldes, also die Form der Kraftlinien und Äquipotentialflächen von der Stromstärke der Feldspulen ganz

[1]) Die Kraftlinien sind in der Fig. 5 für die obere Hälfte punktiert eingezeichnet.

[2]) Vgl. E. Günther, Methode zur Untersuchung der Fallgesetze, diese Zeitschr. 35, S. 69 (1922), oder Mehmke, Leitfaden zum graph. Rechnen (Teubner 1917 S. 108).

unabhängig ist, wenn diese in beiden Spulen in gleichem Maße geändert wird. Es ändert sich dabei die Feldstärke nur nach ihrer Größe, nicht aber nach ihrer Richtung.

5.

Will man zeigen, daß es sich nicht um Kurven, sondern um Flächen gleichen Potentials handelt, so stelle man sich aus Pappe Schablonen her, die von der Symmetrale des Feldes einerseits und einer beliebigen Niveaulinie anderseits begrenzt werden. Befestigt man die Abtastspule an einer solchen Schablone derart, daß ihre Achse Tangente der Niveaulinie wird, so bleibt Tonminimum bzw. Nullamplitude erhalten, wenn man die Schablone um die Symmetrale im Raume dreht. Durch Änderung der Stromstärke in nur einer der Feldspulen, durch Anwendung von mehr als zwei Spulen und durch Änderung ihrer gegenseitigen Lage, schließlich auch durch Einbringen von Eisenmassen in das Feld kann man die mannigfachsten Feldbilder erzeugen [1]).

Über eine Abänderung des Müllerschen Reifenapparats und die Behandlung der harmonischen Bewegung im Unterricht.

Von **Karl Wildermuth** in Cannstatt.

I.

Da die präzise Herstellung des Reifenapparats von FRIEDRICH C. G. MÜLLER auf Schwierigkeiten zu stoßen scheint — der von der Landesanstalt von Max Kohl bezogene leistet, obwohl er zur Umarbeitung zurückgeschickt wurde, auch nicht annähernd das, was ich nach der Beschreibung erwartete — so ist zu befürchten, daß dieses ausgezeichnete Hilfsmittel für den Unterricht in der Mechanik in Mißkredit kommt, um so mehr, als auch der heutige Preis für viele Schulen unerschwinglich sein dürfte. Ich habe daher den vitalen Teil des Apparats so umgeändert, daß er, ohne an Präzision zu verlieren, erheblich billiger und so robust wird, daß er auch in Schülerhände gegeben werden kann. Diese abgeänderte Form hat bei den Kursen in der württembergischen Landesanstalt für den Physikunterricht ungeteilten Beifall gefunden, und es werden daher in Bälde viele württembergische Schulen damit versehen sein. Die folgende Beschreibung schließt sich eng an die MÜLLERschen Aufsätze über diesen Apparat an (vgl. *d. Zeitschr. 8, 194, 1895* und *14, 71, 1901*), doch möge der Bequemlichkeit halber an der Hand der Fig. 1, die dem MÜLLERschen Aufsatz entnommen ist, das Prinzip des Apparats nochmals kurz angegeben werden: Ein Reifen D aus 4,4 mm starkem Messingdraht ist mit den feinen Fäden E an einem Tragring F auf-

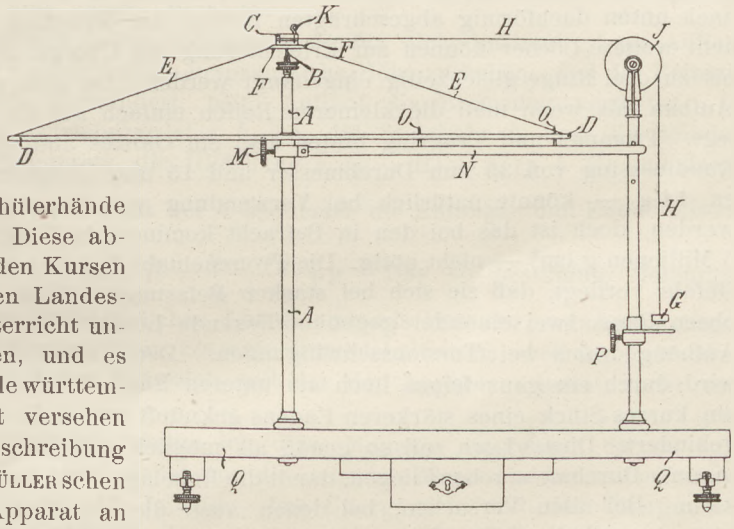


Fig. 1.

[1]) Vgl. auch hierzu das oben genannte Werk von Höfler-Maiß-Poske.

gehängt. Dieser Tragring paßt genau auf den Mantel einer kleinen Trommel C, die sich ähnlich einer Magnetnadel auf der Stahlspitze B fast reibungslos drehen kann. Die Drehung wird bewirkt durch ein kleines Gewicht G, das an dem auf den Trommelmantel gewickelten feinen Faden H über eine Präzisionsrolle J hinweg zieht.

Bei meinem gekauften Exemplar stellt der Reifen eine Raumkurve ziemlich hoher Ordnung dar, die Fäden werden beim Abgleichen der Längen mittelst der weit nach außen stehenden Messingwirbel fast regelmäßig abgerissen, die Reibung des Hütchens auf der Stahlnadel ist beträchtlich, die leichte Drehbarkeit des Tragrings auf dem Trommelmantel führt bei manchen Versuchen zu Ungenauigkeiten, infolge des durch die Aufhängung bedingten geringen Gewichts des Reifens ist er auch gegen leichte Erschütterungen recht empfindlich. Ich nehme daher für den Reifen D statt Rundmessing gezogenes Flacheisen von 4—5 mm Dicke und 10—35 mm Breite, dessen Enden auf die halbe Stärke ausgefräst und dann übereinander gelötet werden. Das Biegen wird recht einfach, wenn man das Band zuerst durch eine Reifenbiegemaschine hindurchlaufen lassen kann. Solche Reifen bleiben vollkommen eben und behalten ihre Kreisform bis auf Bruchteile eines mm bei. Auf den Reifen wird ein Telegraphenpapierband T (s. Fig. 3 auf S. 12) aufgeklebt, das man mit einer beliebigen Teilung versieht; am bequemsten sind 100 Teile. Die Aufhängefäden sind durch feine Löcher am obern Rand des Reifens hindurchgeschleift und endigen an der andern Seite in Häkchen H aus dünnem Stahldraht. Da es nicht schwer ist, die Fäden samt Häkchen ein für allemal auf gleiche Länge zu bringen, können die kleinen Wirbel, die sich als eine Quelle ständigen Ärgers erwiesen, wegfallen. Neuerdings nehme ich statt der Fäden feinen Stahldraht, der durch zwei über einanderliegende Löcher des Reifens hindurchgesteckt und umgebogen wird. Biegt man die freien Enden über einen steifen Blechstreifen von entsprechender Länge, so braucht man keine besonderen Häkchen und bekommt ganz von selbst gleiche Längen. Mit den umgebogenen Enden wird der Ring unmittelbar in feine Löcher L am Rand des erweiterten und nach unten dachförmig abgeschrägten Bodens der Trommel eingehängt (Fig. 2). In acht weitere Löcher können zur Erleichterung des Übergangs vom Reifen zur Scheibe bis zu drei Ringe gleichzeitig eingehängt werden; das gibt einen erheblich stabileren Aufbau, als wenn man die kleineren Reifen einfach auf die Tragschnüre des großen legt. Trommel und Tragring bilden also ein Ganzes und werden aus einem Stück Rundmessing von 35 mm Durchmesser und 15 mm Länge gedreht. Ihr Gewicht — ca. 14 g — könnte natürlich bei Verwendung von Magnalium erheblich vermindert werden, doch ist das bei den in Betracht kommenden Trägheitsmomenten — bis zu 5 Millionen g cm² — nicht nötig. Die Trommelnabe hat auch keinen Schlitz, da sonst die Gefahr vorliegt, daß sie sich bei starken Belastungen oben etwas erweitert, aber am obern Rand zwei einander gegenüberliegende Löcher zur bequemen Befestigung des Aufhängedrahts bei Torsionsschwingungen. Der Antriebsfaden H in Fig. 1 und 2 wird durch ein ganz feines Loch am unteren Rand der Nabe hindurchgesteckt, über ein kurzes Stück eines stärkeren Fadens geknüpft und dadurch am Wiederheraustreten gehindert. Dieses Loch soll so genau als möglich mit einem der Löcher am Tragring in einer Durchmesserebene liegen, damit die Ruhelage rasch und genau eingestellt werden kann. Bei allen Versuchen, bei denen auch die verzögerte Bewegung in Betracht kommt, muß diese Durchmesserebene noch den Antriebsfaden und am besten auch den Haltestift St (Fig. 3) enthalten, damit alles ganz symmetrisch abläuft. Die Trommel bekommt, und das ist die wesentlichste Abänderung, statt des Stahlhütchens nur eine gut zentrierte Anbohrung, in die ein Stahlkügelchen von 3—6 mm Durchmesser, wie sie bei Kugellagern Verwendung finden, mit einer Spur Klebwachs oder Plastilin eingekittet wird (Fig. 2). Dieses Kügelchen dreht sich ohne Schmierung auf einem Stückchen Spiegelglas von etwa 2 cm Durchmesser oder besser, da manche Glassorten bei

Fig. 2.

starken Belastungen angegriffen werden, auf einem ebenen Stückchen eines beliebigen, aber möglichst harten Materials, z. B. Jaspis oder Achat. Kügelchen und Plättchen sind sorgfältig auszusuchen, da schon die kleinsten Unregelmäßigkeiten den Gang beeinträchtigen.

Diese Anordnung ist auch gegen größere Belastungen unempfindlich, daher können Reifen, die mehrere kg wiegen, benützt oder leichtere durch Anhängen von Gewichten so weit belastet werden.

Alle weiteren Teile, Träger, Präzisionsrolle usw. können den allgemeinen Einrichtungsgegenständen entnommen oder improvisiert werden, da es der Landesanstalt möglich war, dank einer größeren Stiftung, sämtliche realistischen Vollanstalten und Lehrerseminare mit Feinstellzeug, zu dem diese Teile gehören, auszustatten.

Das Plättchen wird also einfach auf einen oben ebenen Stativstab aufgelegt oder besser aufgeklebt, die Präzisionsrolle am Stab einer Tischklemme befestigt. Man gewinnt dadurch für das Antriebsgewicht eine Falltiefe bis zu $1^1/_2$ m, die bei Versuchen über den Luftwiderstand nützlich ist, da man auch mit angehängten größeren Metallblechen viele Umdrehungen braucht, bis die Bewegung gleichförmig geworden ist.

Bei Reibungs- und solchen Versuchen, bei denen es darauf ankommt, immer wieder genau den ursprünglichen Anfangspunkt der Bewegung einstellen zu können, hat sich als Anhaltevorrichtung folgende Anordnung gut bewährt (Fig. 3): Man hängt an einen in einer Tischklemme steckenden Stativstab an einem Faden ein beliebiges Gewicht Q_1 auf, läßt aber den Faden zur Vermeidung von Pendelungen unten durch ein Loch L laufen. An diesen Faden legt sich dann der aufgezogene Reifen mit einem horizontalen Stift St an. Beim Loslassen wird der Faden in der Bewegungsrichtung weg- und dann einfach oben um einige mm zurückgezogen, so daß der Stift vorbeigehen kann.

Im übrigen verlaufen die Versuche auch mit dem abgeänderten Apparat genau so, wie es Müller mehrfach beschrieben hat. Nur bei der Bestimmung des Reibungsgewichts bevorzuge ich eine andere Methode:

Bekanntlich ist der sich selbst überlassene Reifen nicht imstande, beim Auflauf das Antriebsgewicht p[1]) wieder auf die ursprüngliche Höhe zu heben, weil die Reibung beim Ablauf den Antrieb vermindert, beim Auflauf die Bremsung vermehrt. Ist daher die Falltiefe des Antriebsgewichts h_1 cm, die Steighöhe h_2 und die Reibung R g, so liefert das Energiegesetz die Gleichung $h_1 (p - R) = h_2 (p + R)$ und damit $R = \frac{h_1 - h_2}{h_1 + h_2} \cdot p\,g$ oder, da man statt der h bequemer die Anfangs- und Endamplitude n_1 und n_2 am Reifen beobachtet, $R = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \cdot p\,g$. Das so bestimmte Reibungsgewicht hängt wegen des veränderlichen Luftwiderstands von der Anfangsamplitude ab, gibt aber gerade deswegen einen besseren Durchschnittswert, weil der Luftwiderstand bei der außerordentlichen Präzision, mit der der Apparat arbeitet, nicht vernachlässigt werden darf.

Auch für die Fallmaschine möchte ich diese Methode empfehlen, da sie sehr rasch zum Ziel führt. Man muß dabei nur die steigende Masse um das halbe Zulagegewicht schwerer machen als die fallende ohne Übergewicht und das Übergewicht so weit oben abheben, daß sich die dann eintretende verzögerte Bewegung ungestört auslaufen kann, also die Anordnung treffen, mit der man mit der Fallmaschine die Umsetzung potentieller Energie in Wucht zeigt.

Um die Brauchbarkeit dieses Verfahrens nachzuweisen, und zugleich einen Anhaltspunkt zu geben, welche Genauigkeit man erwarten kann, teile ich eine beliebige Versuchsreihe mit, die mit einem ausnahmsweise schweren Reifen erhalten wurde:

[1]) In Fig. 1 mit G bezeichnet.

Masse $m = 3336\ g$, Halbmesser $r = 41{,}32$ cm, Antriebsgewicht $K = 50$ g, Trommelhalbmesser $\varrho = 1{,}005$ cm; die Zeiten wurden nach den Schlägen einer Junghansschen Lehruhr gezählt, die 131,6 Schläge in der Minute machte.

		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8. Quadrant
Zahl der Schläge bei	Linksdrehung	44	62,2	76,3	88,2	98,2	107,6	116,5	124,5
	Rechtsdrehung	44,7	63,0	76,8	88,8	99,0	108,5	117,2	125,5

Beim Auflauf fehlten 9,4 und 8,8 Teile. Bildet man die Durchschnitte und dann die Differenz zwischen der Summe der Quadrate der vier letzten und der vier ersten Zeiten (vgl. z. B. F. Kohlrausch, Lehrb. der prakt. Physik 1914. Nr. 28. S. 111), so gibt der vierte Teil 7772 als das Quadrat der Umlaufszeit des ersten Umlaufs. Für die Reibung findet man $R = 1{,}16\ g$, also bleiben für den Antrieb $p = 48{,}84$ g, die mit $p' = \frac{\varrho p}{r}$ g am Reifenumfang wirken. Setzt man die Zahlenwerte in die Formel für die Umlaufszeit[1]) ein und löst nach g auf, so erhält man $g = \frac{4\pi m r^2}{\varrho p t^2}$ oder 982 cmsec^{-2}. Drei unmittelbar daran anschließende Versuche lieferten für R die Werte 1,23; 1,12; 1,22 und für g 982; 983; 981 cmsec^{-2}. Versuche mit Reifen, deren Massen 1518 bzw. 825 g und deren Halbmesser 30 und 25 cm waren, gaben ähnliche Resultate. Als Unterlage diente ein Jaspisplättchen, wie man es in jeder mineralogischen Sammlung findet.

Mit unserem Apparat kann man also bei Anwendung der auseinandergesetzten Methode zur Bestimmung des Reibungsgewichts aus einer einzigen Versuchsreihe den Umrechnungsfaktor für das statische in das dynamische Kraftmaß auf mindestens $^1/_2$ % genau bekommen. Würde man den Wert für die Reibung einsetzen, den man mit der sonst üblichen Methode bekommt, — er ist kleiner als 1 g — so käme ein zu kleiner Wert für g heraus. Der abgeänderte Reifenapparat arbeitet also außerordentlich exakt und zeigt auch bei zwanzigfachem Druck keine größere Reibung pro Druckeinheit, als die Nadelaufhängung bei vorzüglichster Ausführung, und da hier keine leicht verletzlichen oder schwer herstellbaren Teile vorhanden sind, so zweifle ich nicht, daß er sich trotz gewisser didaktischer Bedenken, die ja auch bei der Fallmaschine vorhanden sind, überall durchsetzen wird, und jeder, der mit dem Apparat länger experimentiert hat, wird das Urteil Müllers nur bestätigen können, daß das Arbeiten mit ihm für Lehrer und Schüler eine Freude ist. Dazu kommt noch, daß der Reifenapparat auch eine rein induktive Behandlung der harmonischen Bewegung gestattet, wie sie sich ähnlich mit keiner der gebräuchlichen Versuchsanordnungen durchführen läßt. Da ein solcher Lehrgang ganz wesentliche Besonderheiten zeigt, möchte ich darauf noch näher eingehen.

II.

Bei der Behandlung der harmonischen Bewegung im Unterricht wird in der Regel von der Unveränderlichkeit der Schwingungsdauer ausgegangen. Das hat einerseits den Vorteil, daß diese wichtigste Eigenschaft des neuen Problems von vornherein stark betont wird, andererseits aber den Nachteil, daß dabei im Schüler zu leicht der Eindruck entsteht, es seien zu seiner Bewältigung auch ganz neue Hilfsmittel nötig, denn es gibt nach meiner Meinung keinen elementaren Weg, der von hier aus ohne jede Künstelei zur Sinusgleichung führt, und bei dem die Experimente so exakt und also zwingend sind, wie es sich z. B. bei der gleichförmig-beschleunigten Bewegung bei Benützung des Reifenapparats leicht erreichen läßt. Ich stelle daher den schönen Höflerschen Versuch, der direkt zeigt, daß die Pendelschwingung als Projektion der Bewegung des Zentrifugalpendels aufgefaßt werden kann, oder die optische

[1]) Weg $2\pi r = \frac{b}{2} t^2$ und $b = \frac{\varrho p g}{r m}$, also $t^2 = \frac{4\pi m r^2}{\varrho p g}$.

Zusammensetzung zweier zueinander senkrechter Schwingungen zu einer gleichförmigen Kreisbewegung, als Bestätigungsversuche lieber an den Schluß als an den Anfang, und beschreibe im folgenden einen Lehrgang, der der üblichen Behandlung der gleichförmig-beschleunigten Bewegung genau entspricht, also mit der Aufnahme einer Tabelle für die Weg- oder hier besser Ort-Zeitgleichung beginnt. Dieser Gang ist möglich, wenn man die langsamen Schwingungen eines Reifenapparats benützt, Schwingungen, deren Schwingungsdauer Minuten statt Sekunden beträgt.

Zur Einleitung und um den Übergang von der fortschreitenden zur hin- und hergehenden Bewegung noch natürlicher zu gestalten, entwickle ich die Begriffe Periode, Amplitude usw. an Schwingungen, die durch eine konstante Kraft veranlaßt werden. Diese Einleitungsversuche dienen gleichzeitig zur Repetition der Gesetze der gleichförmig-beschleunigten Bewegung und ihrer Anwendung auf Bewegungen, die auf kreisförmiger Bahn vor sich gehen, falls man mit Poske Bedenken haben sollte, diese Gesetze von vornherein am Reifenapparat experimentell abzuleiten. Ich für meinen Teil gestehe, daß diese Bedenken bei mir um so mehr geschwunden sind, je mehr ich zu größeren Reifen — über 80 cm Durchmesser und 3 – 4 kg Masse — übergegangen bin, bei denen man bei langsamer Bewegung kaum mehr den Eindruck einer Rotation hat. Ich benütze daher im folgenden den Begriff Trägheitsmoment nicht, sondern wende den Satz an, daß die Kraft p an der Trommel gleichwertig ist einer Kraft $\frac{p\varrho}{r}$, die am Reifenumfang angreift. In diesem Fall kann die Schwingbewegung direkt an die gleichförmig-beschleunigte Bewegung angeschlossen werden.

Bei den Versuchen wurde ein Reifen mit dem Halbmesser $r = 30$ cm und der Masse $m = 1518$ g benützt, der Trommelhalbmesser war $\varrho = 1{,}004$ cm. Zur Zeitmessung dienten die Schläge einer Junghansschen Lehruhr mit 131 Schlägen in der Minute. Die Zeiten in den Tabellen sind also $\frac{60}{131}$ Sekunden, die Örter-Entfernungen von der Gleichgewichtslage in Quadranten.

A. Schwingungen unter dem Einfluß der Kraft p = const.

a) Versuchsanordnung: Man legt ein Antriebsgewicht p auf, erteilt dem Reifen z. B. zwei volle Umdrehungen — Anfangsamplitude also 8 Quadranten — und überläßt ihn nach dem Loslassen sich selbst. Da aber die beschleunigte Bewegung unter dem Einfluß der Kraft $p - R$ und die unmittelbar daran anschließende verzögerte Bewegung unter dem Einfluß der Kraft $p + R$ vor sich geht, sind beide Bewegungen nicht symmetrisch zueinander. Damit daher die Analogie mit der Pendelschwingung, bei der sich die Reibung erst nach einer größeren Anzahl von Schwingungen bemerklich macht, recht deutlich wird, muß die Reibung kompensiert werden.

b) Bestimmung des Reibungsgewichts (vgl. oben S. 9). Der Antriebsfaden wurde mit $p = 10{,}5$ g belastet (Schalengewicht = 0,5 g), die Anfangsamplitude war zwei ganze Umdrehungen. Beim Aufwickeln fehlten bei Linksdrehung $n_1 = 21$ Teile des Reifenumfangs und bei Rechtsdrehung $n_2 = 23$ Teile. Damit erhält man für die Reibung $R = 620$ mg.

c) Kompensation der Reibung: Der Reifen erhielt wieder zwei volle Umdrehungen als Anfangsamplitude, zu dem Antriebsgewicht kamen aber noch 2mal 620 mg in Form eines schmalen Blechstreifens hinzu, die beim Durchgang des Reifens durch die Ruhelage stoßfrei abgehoben wurden, damit die verzögernde Kraft genau gleich der beschleunigenden wird, nämlich je 11,12 g. Jetzt fehlten beim Wiederaufwickeln bei Linksdrehung noch 1,2 Teile, während sich bei Rechtsdrehung ein Überschuß von 0,5 Teilen ergab.

d) Aufnahme einer Ort-Zeittabelle: Die Beobachtung der Zeitpunkte des Vorübergangs der einzelnen Quadranten an der Anhaltevorrichtung ergab folgende Tabelle:

Tabelle 1.

Örter	Zeiten t links	Zeiten t rechts	t^2 (Durchschnitt)
8	0	0	0
7	43,4	43,2	1870
6	61,0	61	3720
5	75	74,4	5580
4	86	86	7400
3	96,2	96,2	9250
2	105,3	105,5	11130
1	114	113,6	12950
			14830
0	122	121,6	
			14810
— 1	130	129,6	12930
— 2	138,2	138	11110
— 3	147,5	147,1	9250
— 4	158	157,6	7340
— 5	170	169,2	5620
— 6	183,5	183	3640
— 7	202,2	201,6	1780
— 8	244	243	—

Aus der letzten Spalte findet man (Rechnungsmethode s. oben S. 10) für die Beschleunigung den Wert 0,243 cmsec^{-2}, für die Verzögerung 0,242, während man aus der Formel 0,241 erhält.

Die graphische Darstellung dieser Tabelle — zwei auf der Zeitachse mit gemeinschaftlicher Tangente zusammenstoßende Parabelbögen — unterscheidet sich bei oberflächlicher Betrachtung kaum von einer Cosinuslinie. Daß die Kraft beim Durchgang des Reifens durch seine Gleichgewichtslage nicht momentan von + 11,12 auf — 11,12 g springt, sondern wegen des Abrollens des Fadens allmählich durch Null hindurchgeht, prägt sich also in der Figur nicht aus.

e) Wiederholung des vorhergehenden Versuchs mit nur einer Umdrehung des Reifens: Statt den Versuch wirklich auszuführen, wird man vielleicht besser durch gemeinsame Überlegung feststellen lassen, daß man eben die vier ersten und die vier letzten Zeiten erhalten würde. Die Abhängigkeit der Schwingungsdauer von der Anfangsamplitude ist also hier selbstverständlich.

B. Schwingungen unter dem Einfluß der Kraft $P = -\gamma^2 s$.

a) Versuchsanordnung (vgl. Fig. 3): Man hängt in etwa 2 m Entfernung vom Reifenapparat ein möglichst langes Pendel so auf, daß es auf der vom Apparat abgewandten Seite einer einige cm unter dem Aufhängepunkt angebrachten Gabel G anliegt (siehe B, c), stellt hinter dasselbe einen nach der Trommel zielenden Spiegelmaßstab Sp und merkt sich die Ruhelage N des Pendels. Jetzt knüpft man den Antriebsfaden K in solcher Höhe an den Pendelfaden, daß er wagrecht liegt, erteilt dem Reifen von der Nullebene aus (s. oben) zwei volle Umdrehungen und verschiebt das Reifenstativ in dieser Ebene so weit, daß das Pendel $2 \cdot 2\pi$ cm Ablenkung erhält. Durch diese Verschiebung wird erreicht, daß das Kraftgesetz von $s = \frac{\pi}{2}$ an genau erfüllt ist, und daß die durch die Trommel bedingte Abweichung von dem selben in das Gebiet fällt, in dem die Kraft durch Null hindurchgeht und damit unschädlich wird. Natürlich könnte die Kraftbedingung auch durch eine senkrechte Feder unter Zwischenschaltung einer feinen Rolle erfüllt werden, ich ziehe aber das Pendel vor, da damit jede beliebige Schwingungsdauer eingestellt werden kann, und es vom didaktischen Standpunkt aus vorteilhaft ist, das

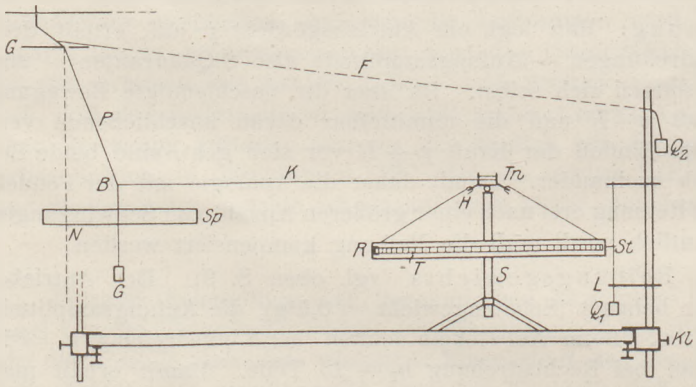


Fig. 3.

Pendelgewicht G so zu berechnen, daß die Schwingungsdauer mit der unter A (56 sec) möglichst übereinstimmt. In unserem Fall muß es deshalb bei einer Pendellänge von $l = 185$ cm $G = 203$ g wiegen.

Wird nun der Haltestift St freigegeben, so kommt der Reifen unter dem Einfluß der Zugkraft des Pendels in beschleunigte Bewegung, während der Ausschlag des Pendels von $s = 2 \cdot 2\pi$ bis gegen Null abnimmt — bis auf $\frac{\pi}{2}$ — 1 cm —. Hierbei setzt sich die potentielle Energie des Pendels in Wucht um, aber diese Wucht steckt nicht wie beim frei schwingenden Pendel in der Pendelmasse, sondern im Reifen, denn der auf das Pendel kommende Anteil ist nur etwa der 9000. Teil der Gesamtenergie und kommt nicht in Betracht. Infolgedessen ist der Reifen nach seinem Durchgang durch die Gleichgewichtslage imstande, das Pendel abzubremsen und wieder fast genau in seine vorige Lage zu heben. Die Umkehr des Pendels erfolgt völlig stoßfrei, da, abgesehen von seiner geringen Wucht, seine Geschwindigkeit nicht momentan umgekehrt wird. Die Schwingungen sind natürlich stärker gedämpft als freie Pendelschwingungen; will man ungedämpfte Schwingungen erhalten, so muß auch hier wie bei A die Reibung kompensiert werden.

b) Bestimmung der Reibung: Die Anfangsablenkung des Pendels bei zwei vollen Umdrehungen des Reifens sei e_1 cm, die durch die Wucht des Reifens bewirkte Endablenkung, bei der der Reifen also wieder umkehrt, nur e_2 cm, dann ist die durch die Reibung auf dem Weg $(e_1 + e_2)$ cm verbrauchte Energie $(e_1^2 - e_2^2)\frac{G}{2l}$ cmg. Damit bekommt man für die durchschnittliche Reibung die Gleichung $R(e_1 + e_2) = (e_1^2 - e_2^2) \cdot \frac{G}{2l}$, woraus $R = (e_1 - e_2) \cdot \frac{G}{2l}$ g oder, da die Anfangs- und Endlagen am Reifen abgelesen werden, $R = (n_1 - n_2) \cdot \frac{2\pi}{100} \cdot \frac{G}{2l}$ g. Im vorliegenden Fall war $n_1 = 200$ Teile, $n_2 = 181{,}6$ Teile und somit $R = 0{,}63$ g.

c) Kompensation der Reibung. Die Zugkraft des Pendels muß beim Ablauf um R g vermehrt, beim Auflauf um ebensoviel vermindert werden. Das könnte durch zwei über Rollen laufende Gewichtchen geschehen, die abwechselnd angeschlossen werden müßten oder einfacher, wenn man dafür sorgt, daß beim Ablaufen des Reifens die Entfernung zwischen Pendel und Trommel um $\frac{l}{G} \cdot R = (n_1 - n_2) \cdot \frac{\pi}{100}$ cm oder, da $n_1 - n_2 = 18{,}4$ gefunden wurde, um 6 mm größer und beim Auflauf um denselben Betrag kleiner ist als normal. Zu diesem Zweck bringt man einige Zentimeter unter dem Aufhängepunkt des Pendels eine 2 mal 6 mm breite Gabel G oder bequemer einen gewöhnlichen regulierbaren Spalt so an, daß das Pendel auch bei seiner größten Ablenkung noch an dem weiter vom Apparat entfernten Spaltende ansteht und befestigt am Pendelfaden oberhalb des Spalts einen Zugfaden F, der, mit einem passenden Gewicht Q_2 belastet, das Pendel so auf die Seite ziehen kann, daß es beim Auflauf am näheren Spaltbacken anliegt. Natürlich ist der Reifen so zu stellen, daß das Pendel bei zwei Umdrehungen um $2 \cdot 6{,}28 + 0{,}6$ cm aus seiner Ruhelage abgelenkt ist. Der Faden ist bis zu einer neben dem Reifen in einer Tischklemme sitzenden Stativstange geführt, damit das Pendel von hier aus verschoben werden kann. An dieser Stativstange hängt auch die Anhaltevorrichtung für den Reifen. Gabel, Pendel und Spiegelmaßstab sind am andern Tischende an einer hohen Stativstange befestigt. Ich nehme dazu ein Gasrohr, das unten von einer Tischklemme gehalten wird und oben in einem an die Decke angeschraubten Flacheisen steckt, eine Anordnung, die sich auch sonst bewährt, wenn hohe Stative gebraucht werden[1]).

[1]) Bei diesen Versuchen drehte sich das Kügelchen auf Spiegelglas; bei Verwendung eines Jaspisplättchens hätte die Reibung nur stark die Hälfte betragen. Man wird daher in manchen Fällen auf die Kompensation der Reibung überhaupt verzichten können.

d) Aufnahme der Ort-Zeit-Tabelle: Der Reifen erhielt zwei volle Umdrehungen, Anfangsamplitude also $a = 8$ Quadranten, der Pendelfaden liegt am entfernteren Gabelzinken an, beim Durchgang des Reifens durch die Gleichgewichtslage wird er durch Loslassen des Gewichts Q_2 an den näheren herangezogen. Bei dieser Versuchsreihe machte die Beobachtungsuhr 131,6 Schläge in der Minute. Spalte 3 und 4 wurde aus 1 und 2 berechnet mit der Formel $s = a \cos \alpha t$.

Ort s	Zeit t		
8	0	0°	α
7	39,5	29,0	0,734
6	56,5	41,4	0,733
5	70,2	51,4	0,732
4	81,7	60	0,735
3	92,6	68	0,734
2	102,4	75,0	0,737
1	112,6	83,8	0,735
0	122,3	90	0,736
— 1	132,7	97,2	0,733
— 2	142,7	104,5	0,732
— 3	152,4	112	0,735
— 4	163,2	120	0,735
— 5	175,2	128,6	0,734
— 6	189,1	138,6	0,733
— 7	206,4	151	0,732
— 8	246,0	180	0,732

Mit Bogenmaß und Sekunden wird $\alpha = 0{,}0281$.

Die graphische Darstellung der Spalten 1 und 2 zeigt zwar geringe aber doch so typische Abweichungen von der bei A gewonnenen Kurve, daß sie den Schülern nicht entgehen, und da es eine fast mathematisch exakte Sinuslinie ist, wie sie die Schüler vom Mathematikunterricht her kennen, kann man wohl die Aufgabe stellen, zu probieren, ob der Zusammenhang dieser Zahlen sich nicht genügend genau durch die Gleichung $s = a \cos \alpha t$ wiedergeben läßt. Natürlich erfordert die Einführung des Faktors α eine eingehende Erörterung, ebenso muß man darauf aufmerksam machen, daß die berechneten Winkel der dritten Spalte nicht die Drehwinkel des Reifens sind. Die Abweichungen der Einzelwerte von dem Durchschnittswert $\alpha = 0{,}734$ sind so gering, daß aus der vierten Spalte der zwingende Beweis folgt, daß die Wegzeitgleichung dieser Bewegung wirklich eine Sinusgleichung ist. Es wird wenige Fälle geben, bei denen der Schüler einen ebenso tiefen Eindruck von der Zwangläufigkeit des Naturgeschehens bekommt, wie hier, wo trotz der fortwährenden Änderung der Kraft, doch die Beobachtung auch nur des ersten Wertepaares genügt, um festzustellen, wann z. B. der Reifen zum viertenmal seine Anfangslage wieder erreichen wird. (Rechnung: 1471 Schläge oder 671 Sekunden, Versuch: 675 Sekunden, wobei die Amplitude um $^1/_2$ % abnahm.)

Läßt man nun noch mit dem Durchschnittswert von α für beliebige Zeitpunkte mit Hilfe des Zeigerdiagramms zeichnerisch die Amplituden bestimmen, ein Verfahren, das den Schülern von der Konstruktion der Sinuslinie her geläufig ist, wobei man also die jeweiligen Amplituden eines Reifenpunkts als die Abszissen des mit der Winkelgeschwindigkeit α auf einem Kreis mit dem Halbmesser $4\pi r$ cm oder bequemer einfach 8 — Einheit also Quadranten — umlaufenden Hilfspunkts erhält, so sieht man, obgleich die Bewegung des Reifens mit der Bewegung des Hilfspunkts zwar physikalisch nicht das mindeste zu tun hat, daß man in den Fällen, bei denen die Kraft eine geradlinige hin- und hergehende Bewegung erzeugt, wie bei der schwingenden Feder oder beim Pendel bei kleinen Ausschlägen, nicht bloß die Größe der augenblicklichen Amplituden, sondern auch die wirklichen Örter als Projektionen dieses Hilfspunkts erhalten kann[1]).

e) Schwingungsdauer und Anfangsamplitude: Wie bei A wird der vorige Versuch wiederholt, jedoch mit nur einer Umdrehung als Anfangsamplitude. Der vorangegangene Versuch unter *A, e* macht die Unabhängigkeit der Schwingungsdauer vom größten Ausschlag besonders eindrucksvoll. Der genauere Vergleich, da man hier einfach die Zeiten für die geradzahligen Quadranten des vorhergehenden Versuchs erhält, statt wie bei *A, e* (S. 12) die Zeiten für die vier ersten und letzten Quadranten, führt von selbst zur Erklärung dieser wichtigsten Eigenschaft der harmonischen Schwingungen.

[1]) Poske, Oberstufe § 11, Fr. C. G. Müller (*d. Zeitschr. 30, S. 141, 1917*).

C. Zusammenfassung der Versuchsergebnisse.

Obgleich bei der Behandlung der Schwingbewegung der Massenbegriff und was damit zusammenhängt natürlich als bekannt vorausgesetzt werden darf, kann man hier nochmals darauf eingehen und, nachdem man die Ausdrücke für die Beschleunigungen durch Differentiation abgeleitet hat, darauf hinweisen, daß durch solche Versuche der experimentelle Beweis für folgende Sätze erbracht wird:

a) Ist die statisch gemessene Kraft konstant, so ist es auch die Beschleunigung, und der Quotient aus beiden ist zahlenmäßig gleich der Masse, denn die Kraft pg Dyn am Trommelumfang ist gleichwertig einer am Reifenumfang angreifenden Kraft $P = p \cdot g \cdot \frac{\varrho}{r}$ Dyn; diese erteilt z. B. der Reifenmasse $m = 1518$ g die Beschleunigung $b = 0{,}242$ cmsec^{-2} und es wird $\frac{P}{b} = 1509$ g.

b) Ist die Kraft proportional der Abweichung von der Gleichgewichtslage, so ist es auch die Beschleunigung, und der Quotient aus zwei zusammengehörigen Werten ist zahlenmäßig gleich der bewegten Masse, denn wenn die Amplitude des Reifens s cm beträgt, so ist das Pendel um $\frac{\varrho}{r} \cdot s$ cm abgelenkt und übt am Trommelumfang den Zug $p = \frac{G \cdot g}{l} \cdot \frac{\varrho s}{r}$ Dyn aus, der der am Reifenumfang angreifenden Kraft $P = p \cdot \frac{\varrho}{r}$ Dyn gleichwertig ist. Diese bewirkt die Beschleunigung $b = \alpha^2 s = 0{,}0281^2 \cdot s$ und der Quotient wird $\frac{P}{b} = 1517$ g. Man hat demnach auch hier $\frac{P}{b} = \frac{\gamma^2 s}{\alpha^2 s} = m$ oder $\alpha^2 = \frac{\gamma^2}{m} = \frac{G g \varrho^2}{l r^2 m}$.

Kennt man also die wirkende Kraft und die bewegte Masse, so kann man auch bei der harmonischen Bewegung die „charakteristische" Beschleunigung errechnen und dann mit Hilfe der Weg-Zeit-Gleichung für jeden Augenblick den Ort angeben.

Die wichtige Konstante α kann übrigens auch ohne Differentialrechnung gefunden werden, da die absolute Geschwindigkeit $v = 4\pi r \cdot \alpha$ des mit der Winkelgeschwindigkeit α auf dem Zeigerkreis umlaufenden Hilfspunkts (vgl. oben *B, d*) ebenso groß ist wie die Geschwindigkeit des Reifens, wenn er durch seine Gleichgewichtslage hindurchgeht. Diese Geschwindigkeit liefert uns aber das Energiegesetz in bekannter Weise: Während der Reifen zwei Umdrehungen macht, sinkt das Pendel um $4\pi\varrho$ cm zurück und leistet dabei eine Arbeit, die gleich der Wucht des Reifens ist. Das gibt die Gleichung

$$\frac{1}{2}\frac{Gg}{l}(4\pi\varrho)^2 = \frac{1}{2}\,\mathrm{m}(4\pi r\alpha)^2, \text{ woraus wie oben } \alpha^2 = \frac{Gg\varrho^2}{l m r^2} \text{ und } \cdot\, \alpha = 0{,}0281.$$

D. Theoretische Ableitung der Weg-Zeit-Gleichung.

Wohl bei keiner Schulgattung werden die mathematischen Kenntnisse der Schüler die direkte Herleitung dieser Gleichung durch Integration gestatten. Man wird sich daher im allgemeinen etwa mit der Reis-Müllerschen Ableitung derselben begnügen müssen, die übrigens hier durch die Ableitung von α aus dem Energiegesetz gut vorbereitet ist. Für Schulen, in denen einfache Reihenentwicklungen nach dem Taylorschen Satz durchgenommen werden, möchte ich empfehlen, die Integration durch Reihenentwicklung zu umgehen. Da dieser Weg, soweit meine Erfahrungen reichen, selten eingeschlagen wird, obgleich er bei vielen andern Problemen wie Höhenformel, Abkühlungsgesetz, Fall mit Luftwiderstand u. a. ebenfalls rasch zum Ziele führt, und diese physikalischen Beispiele eine wertvolle Bereicherung des mathematischen Übungsstoffs bilden würden, will ich darauf noch kurz eingehen. Der Analogie halber leite ich gleichzeitig die Formel für die gleichförmig-beschleunigte Bewegung ab (A bzw. B)

Bei A und B ist für $t = 0$ die Amplitude $s_0 = 2 \cdot 2\pi r$ und die Geschwindigkeit $s' = 0$, während die Beschleunigung bei A den Wert $s'' = -\frac{\varrho \cdot p \cdot g}{r \cdot m}$ und bei B den Wert $s'' = -\frac{G \cdot g \cdot \varrho^2}{l \cdot m \cdot r^2} \cdot s = -\alpha^2 s$ hat. Bei A sind alle folgenden Differentialquotienten $= 0$, bei B werden sie $s''' = -\alpha^2 s'$; $s^{IV} = -\alpha^2 s''$; $s^{V} = -\alpha^2 s'''$ ..... und somit für $t = 0$ $s''' = 0$; $s^{IV} = +\alpha^4 s_0$; $s^{V} = 0$: $s^{VI} = -\alpha^6 s_0$, wobei also $s_0 = 4\pi r$ ist.

Damit erhalten wir die Reihen:

für A: $s = 4\pi r - \frac{\varrho p g}{r m} \cdot \frac{t^2}{2}$ oder $s = 4\pi r\left(1 - \frac{\varrho p g \cdot t^2}{8\pi m r^2}\right)$

und für B: $s = 4\pi r\left(1 - \frac{(\alpha t)^2}{2!} + \frac{(\alpha t)^4}{4!} - \frac{(\alpha t)^6}{6!} + \cdots\right)$ oder, da die Cosinusreihe als bekannt vorausgesetzt wird,

$$s = 4\pi r \cos \alpha t.$$

Ein Apparat zur Untersuchung der Klangfarbe.

Von **P. Hanck** in Pasewalk.

Zur Untersuchung der Klangfarbe der Vokale bedient man sich fast überall der in den meisten physikalischen Lehrbüchern beschriebenen Königschen Flammenkapsel in Verbindung mit einem rotierenden Spiegel. Die Handhabung dieses Apparates ist bequem und er zeigt an den Flammenbildern deutlich die Beeinflussung der Flamme durch die Klangfarbe der einzelnen Vokale. Will man sich aber genaueren Aufschluß über die Art der Schwingungen verschaffen und exakte Schallkurven erhalten, so versagt er, da die Flamme feinere Einzelheiten der Schwingungen nicht wiederzugeben vermag. Nun sind schon von verschiedenen Seiten Versuche gemacht, die Schallkurven auf anderem Wege zu erzeugen. So ist es Hochheim gelungen (*diese Zeitschrift 30, 57*), nach Beschaffung von mancherlei Hilfsteilen die charakteristischen Schwingungsformen an einer Braunschen Röhre zu beobachten, deren Lichtpunkt durch einen Strom abgelenkt wird, dessen Stärke durch die gegen ein Mikrophon gesprochenen Laute geändert wird. Die Versuche sind jedoch wegen der zahlreichen Nebenapparate, wie Hochheim selbst sagt, nicht ganz leicht, und es bedarf einiger Mühe des Ausprobierens, ehe sie zum ersten Male wirklich gut gelingen. Außerdem ist die Erscheinung naturgemäß recht lichtschwach, so daß die Schüler ebenso wie bei dem Versuch mit der Königschen Flammenkapsel in Gruppen herantreten müssen, um sie zu beobachten. Diesen Übelstand scheint auch Hochheim empfunden zu haben. Für Schulversuche wird seine Versuchsanordnung daher im allgemeinen nicht in Frage kommen, wenn auch zugegeben werden muß, daß die Untersuchung der Klangfarbe auf diesem Wege für den Lehrer nicht ohne Reiz ist.

Besser kommt Donle zum Ziel (*diese Zeitschrift 29, 299*), indem er die Schwingungen einer Telephonschallplatte durch sogenannte magnetische Reibung auf einen Spiegel überträgt, der einen auf ihn fallenden Lichtstrahl mehr oder weniger ablenkt. Dieser Lichtstrahl fällt über einen Würfelspiegel auf einen Schirm und zeichnet die Schallkurven auf. Bei hinreichend starker Lichtquelle sind die Kurven auch aus größerer Entfernung zu beobachten und selbst photographisch festzuhalten.

Noch bequemer ist jedoch das Verfahren, das F. F. Martens (*Verhandlungen der deutschen physikalischen Gesellschaft 1909, Heft 3, S. 63*) angibt, bequemer schon insofern, als man außer den üblichen Nebenapparaten, Lichtquelle, Drehspiegel usw. nichts weiter benötigt als eine Schallkapsel, bei der eine Grammophonmembran als Druckanzeiger verwandt wird. Eine solche Schallkapsel wird von verschiedenen Firmen in den Handel gebracht zu einem Preise allerdings, der den meisten höheren

Lehranstalten die Anschaffung z. Z. nicht ermöglichen wird. Dabei ist dieser sinnreiche Apparat im Prinzip so einfach gebaut, daß er in vereinfachter Ausführung in der Schulwerkstatt auch von Lehrern, die weniger Handfertigkeit besitzen, leicht hergerichtet werden kann. Die folgenden Zeilen sollen zu einer Selbstanfertigung anregen.

Zunächst hat man ein etwa 3 cm weites Blechrohr zu beschaffen. Geeignete Stücke bekommt man gelegentlich in Eisenhandlungen als Abfall von Messing-Gardinenstangen. Ein solches Rohr von 20 cm Länge durchsägt man unter einem Winkel von 45^0 gegen die Achse, so daß sich die Längen der entstehenden Stücke etwa wie 1 : 2 verhalten. Beide Teile paßt man zu einem rechtwinkligen Kniestück (Fig. 1) zusammen und verlötet sie. Wenn das Rohr kreisrund war und der Schnitt richtig geführt ist, wird das Zusammenfügen leicht sein. Anderenfalls muß man durch Biegen und Abfeilen etwas nachhelfen. Wer sich nicht an die Arbeit heranwagt, wird vom Klempner ein Rohr nach diesen Angaben anfertigen lassen können, und er ist damit in den Besitz des am schwierigsten herzustellenden Teiles des Apparates gelangt.

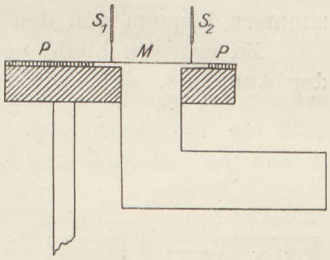


Fig. 1.

Sodann sägt man aus einem Brett von 2 cm Stärke, 12 cm Länge und 8 cm Breite ein kreisrundes Loch vom Durchmesser des Rohres aus und führt den kurzen Teil des Kniestücks so hinein, daß er auf der andern Seite des Brettes nicht vorsteht. Wenn das Rohr streng in die Öffnung des Brettes paßt, wird eine besondere Befestigung oft garnicht mehr nötig sein. Zur Sicherheit kann man jedoch 3—4 Löcher in das Rohr bohren und kleine Nägel einschlagen.

Nun schneidet man ein Stück P 1 mm starker Pappe von der Größe der Holzplatte zurecht, versieht es mit einem kreisförmigen Ausschnitt von 6 cm Durchmesser und leimt es so auf das Brett, daß der Ausschnitt der Platte und der Pappe konzentrisch liegen. Auf die Pappe klebt man ein mit einem Schwamm angefeuchtetes Stück Schreibpapier M, das nach dem Trocknen straff gespannt sein wird. Streut man jetzt Sand auf das Papier und spricht in das Rohr, so kann man erkennen, ob die Papiermembran genügend schwingungsfähig ist. Der Sand wird in diesem Falle 1—2 cm hoch aufwirbeln. Auf die Membran kittet man nach Angabe der Figur zwei je 1 cm lange Drähte in senkrechter Stellung und hierauf wieder zwei kleine leichte Spiegel $S_1 S_2$, wie man sie am besten durch Versilbern mikroskopischer Deckgläser erhält. Als geeigneten Kitt kann man sogenannten Deckglaskitt, ein Gemisch von Wachs und Kolophonium, wie er zum Verschluß mikroskopischer Präparate dient, verwenden. Ein unmittelbares Aufkitten der Spiegel auf die Membran empfiehlt sich nicht, da hierdurch das freie Schwingen der Membran beeinträchtigt würde. Bei sehr lautem Hineinsprechen platzen gelegentlich die Drähte ab, sie können dann jedoch leicht wieder in der angegebenen Weise befestigt werden.

Damit ist der Apparat im wesentlichen fertig gestellt. Wer über geeignete Hilfsmittel verfügt, wird aber gut tun, ein besonderes Stativ herzustellen, an dem der Apparat in der Höhe verstellt werden kann. Seine Benutzung ist dann wesentlich bequemer. Zum Schutze der Spiegel bei Nichtgebrauch verfertigt man endlich noch einen kleinen Pappkasten, der über die Holzplatte gesetzt wird. Im Innern des Kastens angebrachte vorspringende Pappleisten verhindern, daß er zu tief heruntersinkt.

Die Vorführung der Schallkurven mit diesem Membranapparat gestaltet sich verhältnismäßig einfach und gelingt durchaus sicher. Zunächst bringt man in den Brennpunkt der Kondensorlinse des Projektionsapparates eine mit einer Öffnung von etwa 0,5 mm Durchmesser versehene Blende. Das aus der Blende austretende Strahlen-

Biblioteka Uniwersytetu Gdańskiego

bündel leitet man durch das Objektiv O (Fig. 2) auf den Spiegel S_1. Von hier wird es nach S_2 und dann über den Drehspiegel D nach dem Auffangschirm geworfen. Das Objektiv hat man dabei so zu verschieben, daß von der Blendenöffnung auf dem Schirm ein scharfes Bild entsteht. Die zu wählenden Entfernungen hängen natürlich von der Brennweite der Linse ab und werden in jedem Falle durch Ausprobieren gefunden. Bei meinen Versuchen betrug OS_1 125 cm, S_2D 25 cm und die Entfernung des Drehspiegels vom Schirm 40 cm. Damit das aus dem Kondensor austretende, auf die Blende fallende Lichtbündel den Unterrichtsraum nicht zu sehr erhellt, ist es zweckmäßig, zwischen Kondensor und Blende eine geeignete Vorrichtung anzubringen, die dieses störende Licht abhält.

Singt oder spricht man jetzt in das Schallrohr des Membranapparates, so sieht man, wie sich der Lichtfleck auf dem Schirm auf und ab bewegt. Dreht man dabei den Würfelspiegel, so erhält man die den einzelnen Lauten entsprechenden Schallkurven, die bei richtiger Einstellung so deutlich sind, daß sie auch in größeren Lehrzimmern bequem von den letzten Plätzen aus gesehen werden können.

Zu erörtern bleibt noch die zweckmäßigste Stellung für den Auffangschirm unter der Annahme, daß, wie in der Regel üblich, in Richtung des Experimentiertisches projiziert wird. Zunächst ist klar, daß die Entfernung des Schirmes vom Schallapparat nicht zu groß gewählt werden darf, da das aus dem Objektiv austretende Lichtbündel in diesem Falle von dem Spiegel S_1 bei seiner Kleinheit nicht mehr voll aufgenommen werden kann. Der Lichtfleck auf dem Schirm würde also recht schwach sein. Hinzu kommt, daß bei größerer Entfernung auch der Lichtfleck stark vergrößert wird und auch aus diesem Grunde noch an Helligkeit verliert. Einen an der Wand oder an der Decke befestigten Projektionsschirm kann man demnach für diese Versuche im allgemeinen nicht benutzen.

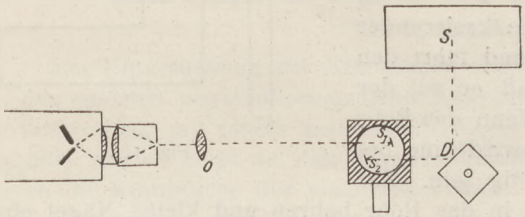


Fig. 2.

Stellt man aber in der Nähe des Spiegels einen Schirm so auf, daß er von den Schülern aus gesehen hinter dem Spiegel steht, so würden die Schallkurven durch die davor stehenden Apparate und den in das Schallrohr sprechenden Lehrer zum Teil verdeckt werden, so daß sie nicht von allen Plätzen aus zu beobachten sind. Es empfiehlt sich daher die Benutzung eines durchscheinenden aus Pauspapier hergestellten Schirmes von etwa 1 m Länge und 50 cm Breite, der vor dem Spiegel aufgestellt wird, nachdem man den Aufbau der Apparate gezeigt hat. So sind sowohl die Schüler als auch der hinter dem Experimentiertisch stehende Lehrer in der Lage, die Kurven deutlich zu beobachten. Ein solcher Schirm kann auch für andere mit dem Drehspiegel auszuführende Versuche benutzt werden, unter anderm zur Vorführung der Wechselstromkurven mit Hilfe eines Oszillographen.

Es ist nun möglich mit diesem Apparat sowohl die Klangkurven für die Vokale und überhaupt für gesprochene Laute als auch auf anderem Wege erzeugte Klänge von genügender Stärke aufzunehmen. Sehr gut kann man z. B. die Kurven durch Lippen- und Zungenpfeifen erzeugen. Diese Versuche gelingen so gut und sicher, daß ich es für wünschenswert halte, daß die Physiklehrer Versuche mit dem neuen Membranapparat machen. Der Erfolg würde wohl überall der sein, daß sie sich von der Flammenkapsel gänzlich abwenden, und diese fortan nur als historisches Überbleibsel in den Schränken der physikalischen Sammlungen ihr Dasein fristet.

Die vorgeführten Schallkurven werden natürlich wegen des schnell wechselnden Lichteindrucks namentlich bei verwickelterer Form schwer richtig erfaßt werden. Eine photographische Aufnahme erweist sich also als zweckmäßig. Ich habe hierzu das von Donle empfohlene photographische Registrierpapier der Firma Schäuffelen in

Heilbronn (*diese Zeitschrift 29, 299*) benutzt, welches in verschiedenen Längen und Breiten geliefert wird. Für vorliegenden Zweck sind besonders Streifen von 50 cm Länge und 6 cm Breite zu empfehlen, die in Packungen von je 25 Stück geliefert werden. Einen Streifen kann man in Stücke von 10—20 cm Länge zerteilen. Zur Aufnahme stellte ich eine besondere Vorrichtung her, die der von Donle benutzten ähnlich, jedoch so vereinfacht ist, daß die Herstellung sehr erleichtert ist.

Man gebraucht hierzu zunächst ein Stück ebener Pappe von 70 cm Länge und 20 cm Breite oder auch ein dünnes Brett. Hierauf klebt man an den Längsseiten 1—2 mm starke, 2 cm breite Pappstreifen und nagelt darauf, wie Figur 3a im Querschnitt zeigt, 3 cm breite Holzleisten. In der Mitte ist die Pappe (Fig. 3b) mit einem schmalen Spalt zu versehen. Bei ihrer Dicke gelingt es nicht leicht, einen sauberen und scharfen Spalt herzustellen. Man wird deshalb am besten einen breiten, etwa 5 cm langen Spalt ausschneiden und dann zwei Papierstreifen so auf die Pappe kleben, daß ein etwa 0,5 mm breiter scharfer Spalt entsteht. Diese Pappe dient nun als Träger für einen das photographische Papier aufnehmenden Schieber, den man aus einem Kartonstück von 25 cm Länge so zurecht schneidet, daß er zwischen den Holzleisten des Trägers leicht und sicher verschoben werden kann.

Den Schieber versieht man mit einem 5 cm breiten und 10—20 cm langen Ausschnitt (Fig. 3c). Auf seine Rückseite klebt man über dem Ausschnitt ein Stück Schreibpapier, das an den Längsseiten in 0,5 cm Breite umgelegt ist, so, daß die Streifen des photographischen Papiers genau in die entstandene Tasche hineinpassen. Wenn man an photographischem Papier sparen will, so genügt es für die meisten Zwecke auch, den Ausschnitt halb so breit zu machen und das Papier der Länge nach zu durchschneiden. Um den Karton bequem hineinschieben und mit der nötigen Geschwindigkeit herausziehen zu können, nagelt man einen kleinen Klotz darauf, nachdem man zwischen Karton und Klotz eine Schleife gelegt hat.

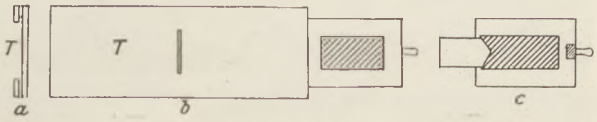


Fig. 3.

Für die photographische Aufnahme der Schallkurven benutzt man nun nicht wie bei objektiver Vorführung eine Blende mit einer kleinen runden Öffnung, sondern viel zweckmäßiger eine solche mit einem 0,3 mm breiten und 1 cm langen wagerechten Spalt. Den an einem schweren Stativ befestigten Träger stellt man so auf, daß der wagerechte Spalt der Blende vor der Mitte des senkrechten Spaltes des Trägers liegt. Durch Verschieben des Objektivs bildet man die Blende scharf auf dem Träger ab. Spricht man dann in den Schallapparat, so sieht man, wie sich der Lichtstreifen vor dem Spalt bewegt. Wenn man glaubt, eine gute Kurve zu erhalten, was man nach kurzer Übung sehr bald an der Bewegung des Lichtstreifens erkennt, gibt man ein Zeichen, worauf ein Gehilfe den Schieber schnell und möglichst gleichmäßig aus dem Träger herauszieht. Zur Entwicklung des Papiers nimmt man zweckmäßig nicht das von der Firma Schäuffelen empfohlene Rodinal, denn bei der kurzen Belichtungsdauer wirkt dieser Entwickler zu wenig. Ich erhielt bedeutend bessere Ergebnisse mit Metol-Hydrochinon, das bei den stark unterexponierten Bildern viel mehr herausarbeitet.

Bei den anfangs aufgenommenen Kurven wird man leicht die Beobachtung machen, daß sie nicht überall gleich breit im Strich sind, daß sich die Strichbreite besonders in den Scheiteln, wo die vertikale Bewegung der Komponente gering ist, stark ändert. Es liegt dies naturgemäß daran, daß das Bild der Blende und der Spalt des Trägers nicht in der Breite übereinstimmen. Durch Aufkleben eines neuen Papierstreifens kann man sofort Abhilfe schaffen. Wenn man besonders exakt verfahren will, kann man an dem Träger auch einen verstellbaren Spalt anbringen, was sich ohne große Mühe erreichen läßt. Die richtige Einstellung kann man am

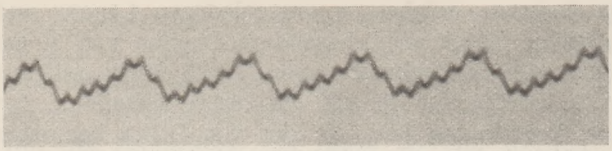


Fig. 4.

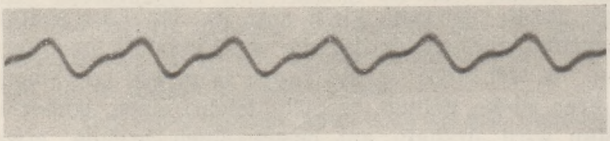


Fig. 5.

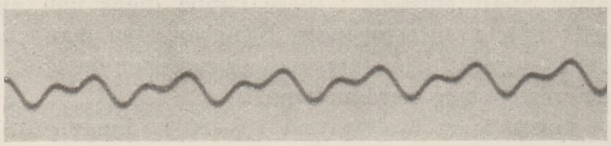


Fig. 6.

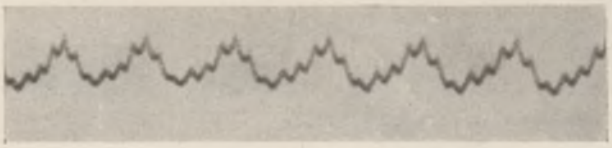


Fig. 7.

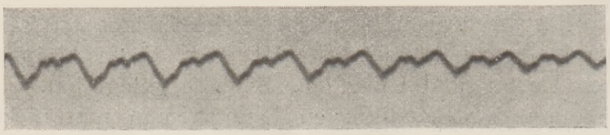


Fig. 8.

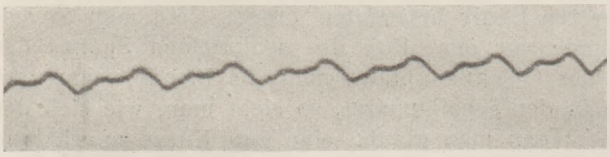


Fig. 9.

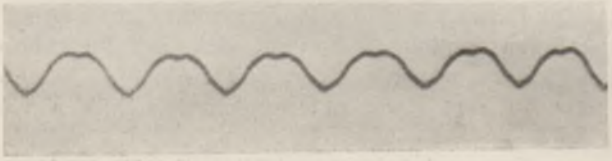


Fig. 10.

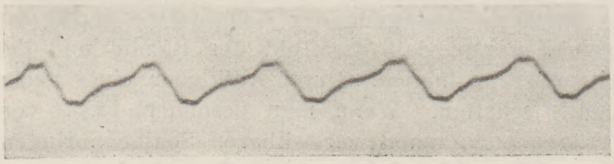


Fig. 11.

besten von der Rückseite an dem durch den Spalt gegangenen Lichtfleck beurteilen. Dieser muß auf dem durchscheinenden Schreibpapier hinter dem Ausschnitt des Schiebers quadratisch erscheinen.

Wie ich mich überzeugt habe, ist die einfache Vorrichtung für Schulversuche völlig ausreichend. Die damit erzielten Aufnahmen dürften jeden befriedigen. In den folgenden Figuren sind eine Reihe von Schallkurven wiedergegeben, die bei Belichtung durch eine Halbwattlampe von 3000 Kerzen aufgenommen sind. Kräftigere Bilder würde man allerdings, wie mir erst nach Fertigstellung der Aufnahmen einfiel, durch eine Bogenlampe, selbst durch eine solche von geringerer Helligkeit, wegen ihres Reichtums an den photographisch besonders wirksamen ultravioletten Strahlen erhalten.

Die Figuren 4—8 zeigen zunächst die Kurven für die Vokale a, e, i, o, u. Sie weisen außer dem Grundton die verschiedensten Obertöne auf, die bei a, o und u sehr zahlreich sind. Daß aber die Klangfarbe, d. h. die Zahl, die Höhe und die Stärke der zu dem Grundton hinzutretenden Obertöne für jeden einzelnen Vokal, auch wenn er von derselben Person gesprochen wird, sehr verschieden sein kann, zeigen die Figuren 9 bis 11, in denen die Vokale a, e, o noch einmal wiedergegeben sind, die Kurvenbilder weichen infolge veränderter Mundstellung alle stark von den vorhergehenden ab. Besonders auffällig wird die verschiedene Klangfarbe bei einem Vokal mit vielen Obertönen wie dem a.

Hinzufügen will ich noch, daß nicht ohne weiteres verschiedenen Schallkurven verschiedene Klangfarbe zu entsprechen braucht, daß vielmehr nach experimentellen Untersuchungen von Helmholtz zwei Kurven, die sich äußerlich

recht auffällig unterscheiden, dieselbe Klangfarbe darstellen können, während zuweilen zwei einander sehr ähnliche Kurven verschiedene Klangfarbe bezeichnen. In den Figuren 12 und 13 sind z. B. zwei Kurven gezeichnet, die durch Interferenz des Grundtones mit der ersten Oktave entstanden sind. Die eine Oktave hat gegenüber der andern eine Verzögerung von $^1/_4$ Schwingungsdauer, da sich aber beide nicht durch die Stärke unterscheiden und die Phasendifferenz nach Helmholtz ohne Einfluß ist, so kommt den beiden äußerlich verschiedenen Resultierenden dieselbe Klangfarbe zu. Vergleicht man dagegen die Figuren 13 und 14, so sieht man, daß aus Grundton und Oktave zwei einander sehr ähnliche Figuren zusammengesetzt sind, die aber verschiedener Klangfarbe entsprechen, da sich die beiden Oktaven bei gleicher Phase durch die Amplitude unterscheiden. Diesen beiden Figuren entsprechen etwa die Aufnahmen 5 und 6.

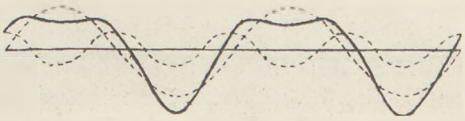


Fig. 12.

Fig. 13.

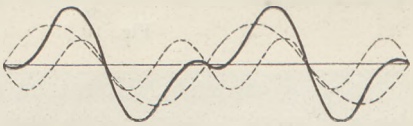


Fig. 14.

Während man also im allgemeinen sagen kann, daß die Klangfarbe durch die Form der Schallkurve bedingt ist, so entspricht doch verschiedenen Schallkurven dann keine verschiedene Klangfarbe, wenn durch Zerlegung der Kurven gezeigt werden kann, daß die zu dem Grundton hinzutretenden Obertöne sich nur durch die Schwingungsphase und nicht durch Höhe, Stärke oder Zahl unterscheiden. Von andern Forschern sind die Helmholtzschen Untersuchungen allerdings nicht bestätigt worden, nach König soll vielmehr die Phasendifferenz eine Rolle spielen, d. h. also, verschiedene Schallkurven lassen immer auf verschiedene Klangfarbe schließen. Wie dem aber auch sei, im Unterricht wird man auf diese Unterschiede nicht weiter eingehen und sich stillschweigend der Königschen Annahme anschließen.

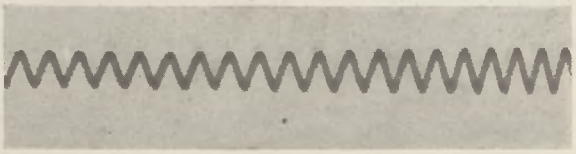


Fig. 15.

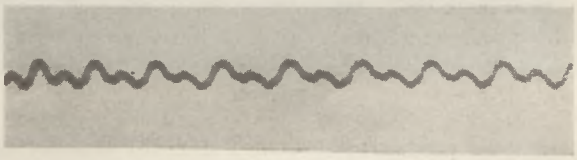


Fig. 16.

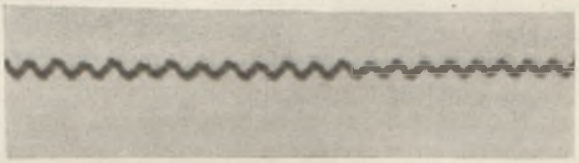


Fig. 17.

In den nächsten Figuren sind die Kurven für Pfeifen dargestellt. Zuerst wurde eine offene Lippenpfeife angeblasen, die einen sehr weichen Ton gab. Die Figur 15 zeigt, daß Obertöne hier gänzlich fehlen, daß es sich in diesem Falle nicht um einen Klang, sondern um einen einfachen Ton handelt. Die Figuren 16 und 17 bringen die Kurven einer gedeckten Lippenpfeife bei verschiedener Stärke des Anblasens. Man ersieht aus der Wellenlänge, daß bei stärkerem Anblasen der Grundton nicht mehr entsteht, sondern der erste Oberton, der rein sein, oder auch noch wieder von Obertönen begleitet sein kann.

Sehr leicht erhält man Obertöne bei Zungenpfeifen. Für eine solche gibt Figur 18 eine Schallkurve wieder, an der man sehr deutlich das Auftreten des ersten Obertones erkennt. Die Amplitude ist hier sehr klein gewählt, weil die Schwingungszahl der Pfeife verhältnismäßig groß war, und es infolgedessen nicht möglich war, das photo-

graphische Papier so schnell zu bewegen, daß eine größere Wellenlänge und damit größere Kurvenbilder erzielt wurden, bei kleiner Wellenlänge aber war eine große Amplitude wertlos. Zum Schluß wurde eine alte Zungenpfeife angeblasen, die einen tiefen schnarrenden Ton gab, der mehr einem Geräusch glich, da regelmäßige Schwingungen nicht aufkommen konnten. Die Schallkurve hierfür zeigt Figur 19. Sie läßt jede Regelmäßigkeit vermissen und bestätigt die Tatsache auch jedem unmusikalischen Ohr.

Fig. 18

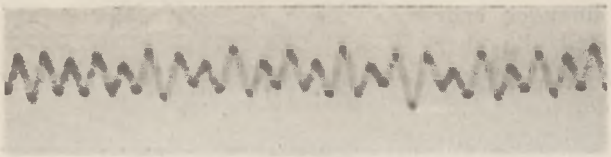


Fig. 19.

Die Aufnahme der Nullzeitlinie bei allen diesen Schallkurven hielt ich nicht für nötig. Wer sie aber wünscht, kann sie einfach dadurch erhalten, daß er den das photographische Papier tragenden Karton noch einmal vor dem beleuchteten Spalt bei ruhender Membran vorbeizieht. Hierzu ist allerdings notwendig, daß der Karton sicher herausgezogen werden kann, ohne sich in der Höhe zu verschieben. In letzterem Falle würde die aufgenommene Nullzeitlinie nicht mit der wirklichen übereinstimmen und die Kurve zu der Nullinie unsymmetrisch liegen.

Es ist auch möglich, die Schwingungszahlen für die einzelnen Laute objektiv zu bestimmen, wenn man gleichzeitig die Schwingungen einer Stimmgabel aufnimmt. Zu diesem Zweck versieht man die Blende mit zwei parallelen Spalten im Abstand von 1 cm, bringt über dem Spiegel S_1 des Membranapparates eine mit einem leichten Spiegel versehene Stimmgabel von bekannter Schwingungszahl und über dem Spiegel S_2 einen weiteren, drehbaren Spiegel an. Das durch den zweiten Spalt gehende Licht wird dann auf den Stimmgabelspiegel und von hier auf den drehbaren Spiegel fallen. Dieser wird so eingestellt, daß auf dem Bildträger die Bilder der beiden Spalte übereinander in etwa 1 cm Abstand erscheinen. Indem man nun in den Apparat hineinspricht, läßt man gleichzeitig die Stimmgabel anschlagen und erhält dann auf dem photographischen Papier zwei Schwingungskurven. Figur 20 zeigt eine auf diese Weise erzielte Aufnahme des Vokals e. Auf 9 Schwingungen entfallen hier 9,7 Stimmgabelschwingungen. Die Schwingungszahl der Stimmgabel ist gleich 120, so daß wir für die Schwingungszahl des Vokals den Wert 111 erhalten.

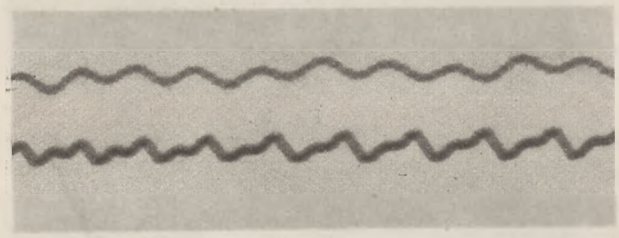


Fig. 20.

Hierbei sei bemerkt, daß mir die Darstellung von Stimmgabelschwingungen durch Übertragung auf den Membranapparat, die bei der Konstruktion nach Martens an sich möglich ist, nicht gelungen ist. Auch bei Verwendung einer dünneren Membran und eines größeren Schalltrichters konnte ich nichts erreichen. Ich habe dies aber nicht als einen besonderen Mangel empfunden, da man die Stimmgabelschwingungen ja direkt nach dem eben angegebenen Verfahren zeigen kann. Im Unterricht wird man sogar meistens noch einfacher verfahren, indem man eine Schreibstimmgabel Schwingungen auf einer berußten Glasplatte ausführen läßt.

Die Aufnahme der Schwingungen einer Saite wollte ebenfalls nicht gelingen, aber auch diese lassen sich direkt viel einfacher und schöner zeigen, indem man vor die Kondensorlinse des Projektionsapparates einen etwa 1 mm breiten vertikalen Spalt

stellt und unmittelbar vor diesen eine horizontal ausgespannte Saite bringt. Am besten verfertigt man zu diesem Zweck eine kleine Vorrichtung, die Spalt und Saite trägt und in ein Stativ des Projektionsapparates gespannt werden kann. Den Spalt mit dem davor liegenden Stück der Saite bildet man nun durch das Objektiv über den Drehspiegel auf dem Schirm ab. Die durch Anstreichen der Saite entstehenden Schwingungskurven erscheinen hierbei natürlich dunkel auf hellem Grunde. Sie sind am deutlichsten sichtbar, wenn man eine möglichst dicke Saite benutzt. Am zweckmäßigsten ist also eine Darmsaite. Für photographische Aufnahmen sind dagegen, wenn feinere Einzelheiten wiedergegeben werden sollen, dünnere Saiten zu empfehlen. Die Figuren 21—23 zeigen verschiedene Schwingungsformen. In Figur 21 erscheint nur der Grundton, er entsteht, wenn man die Saite in der Mitte anreißt. In Figur 22 tritt durch Anreißen an einem Ende der zweite Oberton hinzu. Streicht man aber die Saite mit einem Bogen, so tritt, wie Figur 23 zeigt, auch noch der vierte Oberton hinzu und der Klang wird scharf, wie die Schallkurve gewissermaßen schon äußerlich erkennen läßt.

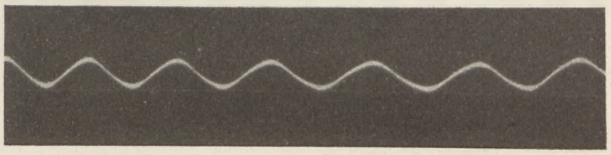


Fig. 21.

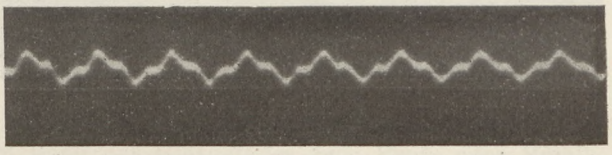


Fig. 22.

Fig. 23.

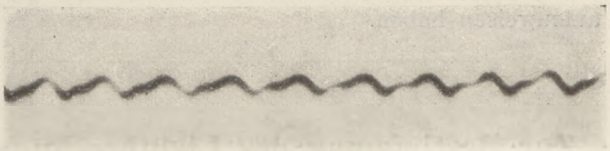


Fig. 24.

Nach dem angegebenen Verfahren kann man übrigens auch die Schwingungen einer Stimmgabel zeigen, indem man an einer Stimmgabelzinke einen Draht befestigt und diesen anstatt der Saite vor den Spalt bringt. Man erhält dann viel lichtstärkere Kurven, als wenn man, wie oben beschrieben, den Lichtfleck erst von einem Spiegel reflektieren läßt.

Für die photographische Aufnahme der Schallkurven ist natürlich Wechselstrombogenlicht im allgemeinen nicht zu verwenden, weil man in diesem Falle einen durch die Lichtwechsel unterbrochenen Kurvenzug erhält, der einen unschönen, unruhigen Eindruck macht und vielfach manche Kurventeile garnicht erkennen läßt. Trotzdem wird es sich empfehlen, auch mit dieser Lichtquelle einige Aufnahmen zu machen, weil man dadurch in den Stand gesetzt ist, ohne Benutzung einer Vergleichsstimmgabel die Schwingungszahl des betreffenden Tones zu ermitteln. Figur 24 zeigt den mit Wechselstrombogenlicht aufgenommenen Vokal e. Wir sehen, daß auf 10 Schwingungen 9 Lichtwechsel kommen. Da der Wechselstrom die Frequenz 50 hat, in einer Sekunde also 100 Wechsel erfolgen, so ergeben sich für den Vokal e 111 Schwingungen. Der Ton war also von derselben Höhe wie der mit der Stimmgabel verglichene Ton in Figur 20.

Figur 25 gibt den Ton einer offenen Lippenpfeife von 60 cm Länge und 4 cm Weite wieder. Aus der Zahl der Lichtwechsel entnehmen wir für die Schwingungszahl den Wert $n = 270$, während wir aus der Gleichung $n = \frac{c}{\lambda}$ für eine Temperatur von 20^0 also für $c = 344$ m den Wert $n = 287$ finden. Der Unterschied erklärt sich

bekanntlich dadurch, daß wir für die Schallgeschwindigkeit in Röhren einen etwas kleineren Wert einzusetzen haben, daß λ nicht genau gleich $2l$ ist, weil die Luft an dem freien Ende der Röhre anders schwingt und daß endlich die Schwingungszahl von der Form der Pfeife, der Breite des Spaltes, der Stärke des Anblasens und andern schwer zu kontrollierenden Einflüssen abhängt.

Die Figur 26 zeigt uns die Schwingungen einer Stimmgabel im Wechselstrombogenlicht. Auf 12 Schwingungen der Gabel entfallen 10 Lichtwechsel. Die Schwingungszahl der Gabel ist danach gleich 120. Unter der Voraussetzung, daß die Periodenzahl des Wechselstroms bekannt ist, kann man also auf diesem Wege die Schwingungszahl einer Stimmgabel außerordentlich genau ermitteln. Umgekehrt kann man bei bekannter Schwingungszahl die Periode des Wechselstroms, deren Kenntnis für manche Versuche notwendig ist, bestimmen. Wir erhalten hier, da die Zahl 120 auf anderm Wege bestätigt ist, den Wert 50.

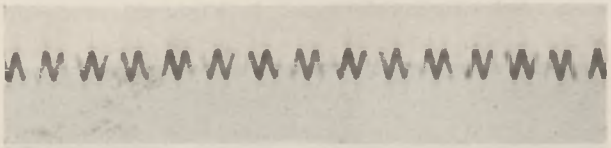


Fig. 25.

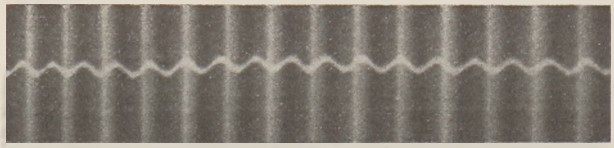


Fig. 26.

An die photographische Aufnahme aller dieser Kurven im Unterricht wird man natürlich nicht denken können, man wird sich damit begnügen müssen, die fertigen Bilder herumzugeben. Einzelne Aufnahmen sollte man aber wirklich vorführen, was bei guter Vorbereitung nicht allzu lange Zeit in Anspruch nimmt. Die Schüler müssen den Werdegang miterleben, für sie wird es stets von besonderem Reiz sein, den gesprochenen Laut eines Kameraden alsbald im Lichtbild sehen zu können.

Wenn der vorliegende Unterrichtsstoff auf diese Weise behandelt wird, nehmen sonst leere Begriffe Leben an. Die Schüler folgen mit Spannung den Ausführungen des Lehrers, sie gewinnen Interesse für ein Gebiet der Physik, dem sie sonst ferner stehen. Wer aber das Interesse der Schüler zu wecken versteht, wird stets Erfolg aufzuweisen haben.

Zur Bestimmung des Lichtbrechungsexponenten von Flüssigkeiten mit Hilfe zylindrischer oder kugelförmiger Gefäße.

Von Dr. Carl Schmidt in Hamburg.

1. In einem Aufsatz des Herrn Witting (*ds. Zeitschr. 23, 171; 1910*) wird ein einfaches Verfahren zur Bestimmung des Brechungsexponenten von Flüssigkeiten in Flaschen usw. beschrieben. Die Anwendung des Verfahrens auf Wasser ergab jedoch immer große Abweichungen vom richtigen Wert, die sich durch den mehr oder weniger großen Einfluß der Glaswandung allein nicht erklären lassen. Die Nachprüfung erwies vielmehr einen Irrtum in der theoretischen Auswertung der Erscheinung.

2. In Fig. 1 sei L der Querschnitt eines Lichtfadens parallel zur Seitenwandung eines dünnglasigen Zylinders mit Flüssigkeit, dessen Achse durch O geht; oder auch ein Lichtpunkt und der Kreis um O der Hauptkreis einer Kugel. Bedeckt man die dem Licht abgekehrte Seite mit feuchtem Seidenpapier, so erscheint dort ein scharf begrenzter Lichtstreifen, bzw. ein runder Kreis mit dem leicht zu messenden Öffnungs-

winkel χ. Herr Witting nimmt an, daß der Rand desselben den tangential auftreffenden Lichtstrahlen LA, bzw. LA_1 entspricht. Dann wäre einfach

$$(1) \qquad n = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{\sin R}{\sin\beta} = \frac{1}{\sin\frac{\omega+\chi}{2}}, \text{ wobei } \cos\omega = \frac{r}{e}.$$

Zur Auswertung wären also nur r, e und χ zu messen.

3. Daß diese Auswertung unrichtig ist, geht schon aus der Gestalt der Diakaustik (Fig. 2) hervor. Der Rand B des Lichtstreifens entspricht demjenigen gebrochenen

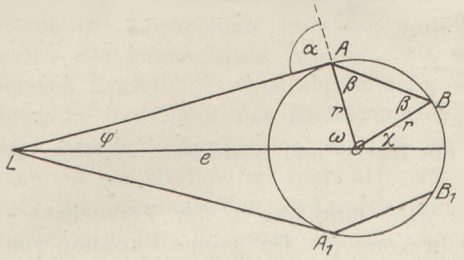


Fig. 1.

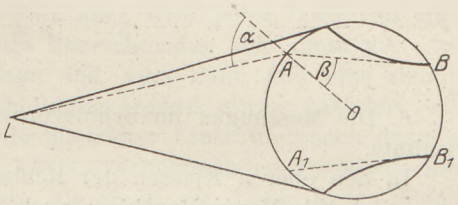


Fig. 2.

Strahl, der Tangente in B an die Diakaustik ist, also dem punktiert eingezeichneten Lichtstrahl LAB und LAB_1. Der zugehörige Einfallswinkel α ist also kleiner als 90^0.

4. Der Einfallswinkel, der zum Rande B gehört, läßt sich experimentell leicht ermitteln: Man hänge etwa über den Rand des Glasgefäßes zwei Papp- oder Metallblenden, die je etwa $^1/_4$ des gesamten Gefäßumfanges abblenden können. Sie mögen zuerst übereinander hängen und den mittleren Teil des von L (Fig. 3) kommenden Strahlenbündels abblenden. Dann schiebe man sie solange auseinander, den einen rechts herum, den andern links herum, bis der Lichtstreifen auf der entgegengesetzten Seite gerade anfängt, schmäler zu werden, und merke sich die Stellen A und A_1, an denen sich dann die Außenränder der Blenden befinden. Zur Kontrolle schiebt

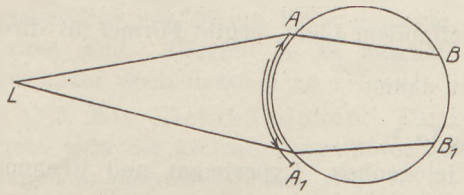


Fig. 3.

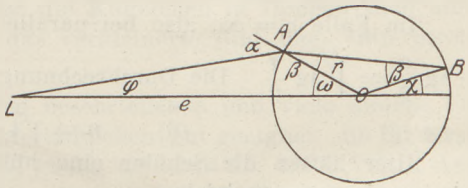


Fig. 4.

man dann die Blenden so weit, daß auch das tangentiale Licht abgeblendet wird, und schiebt sie nun solange zusammen, bis der Lichtstreifen seine größte Breite erreicht hat, die er bei weiterem Zusammenschieben beibehält. Die Ränder müssen jetzt wieder in der Grenzstellung A bzw. A_1 stehen.

Man kann auch mit Hilfe zweier Blenden einen Spalt zwischen ihnen allmählich verbreitern, wobei auch der Lichtstreifen breiter wird. Bei der Grenzstellung AA_1 erreicht der Lichtstreifen BB_1 seine größte Breite.

Endlich läßt sich die Stellung AA_1 auch durch einen engen Spalt in einem breiten Schirm auf der Lichtseite ermitteln. Das Spaltbild des durchgelassenen Lichtes wandert bei Entfernung des Spaltes von der Symmetrieachse auch von ihr fort, macht schließlich halt und kehrt um. Der Winkel χ (Fig. 4) hat also ein Maximum, das zu einem bestimmten Winkel ω gehört.

5. Die Messungen lassen sich vielleicht dadurch am einfachsten gestalten, daß man eine Streifenmillimeterteilung rund um das Gefäß legt und auf dieser direkt

ohne Seidenpapier die Stellungen A, B, A_1, B_1 abliest. Danach bestimmt man e, r (durch Umfangsmessung), ω und χ.

Man hat dann zur Auswertung zu ermitteln:

$$(2) \qquad \beta = \frac{\omega + \chi}{2}, \qquad (3) \qquad \alpha = \varphi + \omega,$$

wobei sich φ bestimmt aus:

$$(4) \qquad \operatorname{tg} \varphi = \frac{r \cdot \sin \omega}{e - r \cos \omega} \quad \text{und} \quad n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}.$$

Je weiter die Lichtquelle entfernt wird, desto kleiner wird φ. Bei $e = \infty$ hat man direkt:

$$(5) \qquad n = \frac{\sin \omega}{\sin \frac{\omega + \chi}{2}}.$$

6. Die Messungen im Schülerpraktikum mit Kerze und Glasschale ergaben gute Resultate.

In den oberen Klassen der Realanstalten wird man das in der Versuchsanordnung steckende Maximalproblem auch behandeln können. Da χ eine Funktion von ω ist, muß sich der zum Maximalwert χ gehörende Wert ω errechnen lassen. Man wird also die etwas umständliche Messung von ω ersetzen können durch Berechnung von ω aus dem Maximalwert von χ. Das genau formulierte Maximalproblem lautet: $\chi = f(\beta, \omega) = 2\beta - \omega$ soll ein Maximum werden, während

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n, \quad r \sin \alpha - e \sin \varphi = 0, \quad \alpha - \omega - \varphi = 0.$$

Die Rechnung habe ich an anderer Stelle durchgeführt[1]). Das einfache Ergebnis ist:

$$(5) \qquad \operatorname{tg} \frac{\omega}{2} = \sqrt[3]{\operatorname{tg} \frac{\chi}{2}}.$$

Ist diese Beziehung bekannt, so ist das Verfahren mit den Blenden nicht nötig. Man hat lediglich r, e und die Breite des Lichtstreifens zu messen. n wird dann aus (5), (2), (3) und (4) errechnet.

Im Falle $e = \infty$, also bei parallel auftreffendem Licht, ergibt Formel (5) direkt α: $\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \sqrt[3]{\operatorname{tg} \frac{\chi}{2}}$. Die Durchrechnung liefert dann

$$(6) \qquad n = \sqrt{4 - 3 \sin^2 \alpha}\ ^{2)}.$$

Hier hätten die Schüler eine hübsche Gelegenheit, Experiment und Rechnung miteinander zu vergleichen.

Es ergeben sich folgende zu den Streifenbreiten gehörende Grenzeinfallswinkel: bei Wasser rund 60°, bei Glas rund 48°, bei Schwefelkohlenstoff rund 45°, also Winkel, die wesentlich von 90° verschieden sind.

Beiträge zu optischen Schulversuchen.

Von **Wilhelm Volkmann** in Berlin-Steglitz.

1. Lichtquelle für Linsenversuche. Für die Linsenversuche braucht man eine Lichtquelle von solcher Form, dass sich das aufrechte vom umgekehrten Bild deutlich unterscheidet. Althergebracht ist eine Löcheranordnung in Form eines Pfeiles, die vor eine Lampe gestellt wird. Dieser Löcherpfeil hat den Mangel, daß links und rechts nicht unterschieden werden kann. Erfahrene Experimentatoren haben den

[1]) cf. Phys. Zeitschr. 23, S. 310 f., 1922.
[2]) a. a. O. Formel (9).

Mangel längst empfunden und vorgeschlagen die Löcher in Form eines *P* oder *F* anzuordnen, noch besser erscheint mir die Form einer arabischen Eins.

Solange eine solche Blende vor einer großen Flamme, einem Argandbrenner oder einem Glühstrumpf steht, ist sie für ihren Zweck geeignet. Oftmals aber wird sie vor einen Kondensor gestellt, der das Licht einer fast punktförmigen Lampe, etwa eines Bogenlichtes, sammelt und richtet. Der Unterschied, der manchem belanglos erscheint, ist in Wirklichkeit von entscheidender Bedeutung. Während im ersten Fall aus jedem Loch ein weit geöffneter Lichtkegel austritt, gibt die zweite Anordnung voneinander getrennte Lichtfäden. Stellt man nun z. B. eine Linse auf, welche die Löcherfigur abbilden soll, so ist im ersten Fall an der Abbildung jedes Loches die ganze Linse beteiligt, im zweiten Fall aber wird jedes Loch von einem anderen Linsenstückchen abgebildet. Unterwegs überschneiden sich dann die Lichtfäden in der Nähe des Brennpunktes der Linse und man kann hier eine ziemlich enge Blende aufstellen, ohne daß an der Abbildung irgend etwas geändert wird. Ohne es zu wollen hat man also mit stark abgeblendeter Linse und noch dazu mit einer im gewöhnlichen Gebrauch der Linse kaum vorkommenden Blendenstellung gearbeitet. Das Ergebnis ist ein ganz anderes, als wenn die Linse unabgeblendet wirkt (erster Fall) und man kann sich leicht davon überzeugen, was die willkürliche Einschnürung des Lichtes ausmacht, indem man durch Zurückziehen der Lampe vom Kondensor den Ort der Überkreuzung der Strahlen in die Linse und dann noch vor die Linse verlegt. Die Bilder, die man in diesen Fällen erhält, sind von einander sehr verschieden.

Um diesen Übelstand zu vermeiden, habe ich in jedes Loch der arabischen Eins ein Glaskügelchen gesteckt, wie man sie in Geschäften für chemischen Bedarf verhältnismäßig billig bekommt. Jedes Kügelchen wirkt als starke Linse und verwandelt den Lichtfaden in einen weit geöffneten Lichtkegel. Ein weiterer Vorteil ist, daß man keinen Kondensor mehr nötig hat. Steht die Lampe nur nicht allzu dicht hinter der Löcherplatte, so decken alle Lichtkegel das Versuchsgebiet in genügender Weise. Da der Kondensor wegfällt, ist man auch nicht mehr an seine Größe gebunden, so habe ich mir für Vorträge in einem sehr großen Saal eine arabische Eins von 30 cm Höhe gemacht, bei der die Kügelchen in Doppelreihen angeordnet sind. Hiermit ist es möglich auch das verkleinerte Bild dem entferntesten Zuschauer noch deutlich zu zeigen[1]).

2. Ein Lichthäuschen. Für den eben beschriebenen und viele andere Versuche sind die kleinen gasgefüllten Scheinwerferlämpchen gut geeignet, die für Kraftwagen angefertigt werden. Bei 4 Volt 2 Amp. geben sie etwa 15, bei 4 Volt 4 Amp. etwa 30, bei 8 Volt 6 Amp. etwa 100 Kerzen. Zum Gebrauch dieser Lampen habe ich mir Blechgehäuse in zwei Größen machen lassen, die sich zwischen Schutzring und Körper auf normale Glühlampenfassungen aufstecken lassen, das größere Gehäuse paßt auf normale, das kleinere auf Mignon-Edisonfassungen. Am besten kauft man zu den Lichthäuschen auch gleich die Fassungen auf Stiel, dann ist man sicher, daß sie genau passen.

3. Die Umkehrbarkeit des Lichtweges. Dieser Begriff ist für viele Überlegungen in der Lehre vom Licht nützlich, befremdet aber den Anfänger sehr. Der folgende Versuch soll lediglich dazu dienen ihm diese Vorstellung näher zu bringen. Zwei Lichtquellen, wie unter 1) beschrieben, aber von verschiedener Größe und eine von ihnen auf dem Kopfe stehend, werden mit einer Linse aufeinander abgebildet, wie Fig. 1 das andeutet. Hinter jeder Glasperlenplatte steht eins der unter 2) genannten Lämpchen in Lichthäuschen. Die Platten stellt man ziemlich schräg zur Achse der Linse, so daß die Zuschauer beide Vorderflächen sehen. Nach diesen

[1]) Diese, wie auch die im weiteren genannten Hilfsmittel können von Leppin und Masche, Berlin SO., Engelufer 27 bezogen werden.

Vorbereitungen zieht man die Linse ein wenig aus der Achse der Versuchsanordnung, so daß die Bilder zwar noch auf die Platten, aber nicht mehr auf die Perlenfiguren fallen (vgl. Figur) und löscht beide Lampen. Zum Versuch wird erst nur die eine, dann nur die andere, dann beide Lampen hell gemacht. Darauf schiebt man ganz langsam die Linse in die Achse der Versuchsanordnung zurück und lenkt die Aufmerksamkeit darauf, daß die Bilder in den Lichtquellen verschwinden. Die Gleichwertigkeit von Bild und Gegenstand, die in diesem Versuch für den Beschauer herbeigeführt ist, besteht für die Linse gewissermaßen immer.

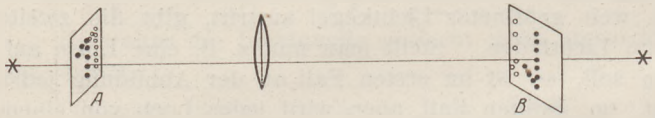


Fig. 1.

4. Das Wärmespektrum. Das billigste Gerät zum Nachweis der Wärmestrahlung ist die Crookessche Lichtmühle. Wenn sie nicht gebraucht wird, sollte man sie liegend oder, wenn sie zum Umstecken eingerichtet ist, auf dem Kopf stehend aufbewahren, damit sich nicht das Glashütchen wund läuft und dann die Reibung zu groß wird. Im Spektrum arbeitet man mit ihr nach Anleitung der Figur 2. Eine Bogenlampe wird mit der Plankonvexlinse *B* von 3 cm Durchmesser und 4,5 cm Brennweite auf den 15 cm entfernten Spalt *C* von 1 mm Weite und 8 mm Höhe abgebildet. Von diesem Spalt entwirft das Brillenglas *D* von 20 cm Brennweite ein Bild in einer Entfernung, die gleich *DJ* ist. Das Hohlprisma *E* ist mit Schwefelkohlenstoff oder besser noch mit Zimtäthyl gefüllt und breitet das Spaltbild zu einem Spektrum auf dem Papierschirm *J* aus. Nun setzt man bei *F* eine große Linse hin, deren Brennweite dem vierten bis fünften Teil der Entfernung *DJ* gleich ist. Ihr Durchmesser muß so groß sein, daß sie das ganze Spektrum bis

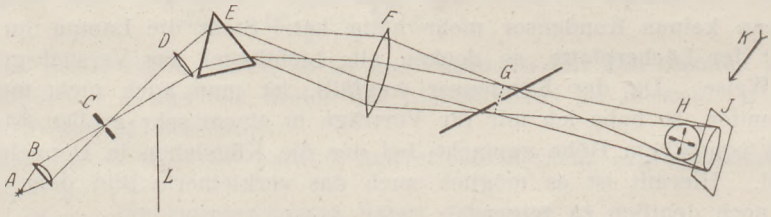


Fig. 2.

jenseits des Rot auffängt, wenn sie so aufgestellt ist, daß bei J das etwas vergrößerte Bild des Brillenglases *D* entsteht. Die nicht ganz vermeidlichen Farbränder dieses im übrigen farblosen Bildes sind um so schmaler, je näher das Prisma dem Brillenglase steht. Durch das Zwischenschalten der Linse *F* rückt das Spektrum nach *G* und hier fängt man es mit einer weißen Pappe auf, läßt aber eine Farbe durch ein Loch in der Pappe von etwa 12 mm Höhe und 6 mm Weite durchfallen. Das Linsenbild bei *J* erstrahlt nun in einfarbigem Licht und zwar ist die Farbe nur dann ganz gleichmäßig, wenn die Pappe bei *G* genau am Ort des Spektrums sich befindet. Gegen die Achse der Linse steht die Pappe schräg, damit die Zuschauer den abgefangenen Teil des Spektrums auf ihr gut sehen können. Bei *L* wird eine Pappe aufgestellt, um das Licht abzufangen, das von *B* unmittelbar nach *J* gelangt. In das einfarbige Licht kurz vor *J* stellt man die Lichtmühle *H*, sie bleibt beim ganzen Versuch ruhig stehen, denn durch Verschieben der Pappe *G* senkrecht zur Linsenachse wählt man die Farbe aus, deren Wärmewirkung bei *H* beobachtet werden soll.

Die stärkste Wirkung ist nun im Ultrarot und da diese unsichtbaren Strahlen die Lichtmühle nicht sichtbar machen, ist es nötig sie besonders zu beleuchten. Dies geschieht in der Richtung des Pfeiles *K* durch eine ziemlich weit entfernte Glühlampe. Es ist erwünscht, daß diese Lampe für sich bereits die Lichtmühle in äußerst

langsame Umdrehung versetzt. Hierdurch fällt nämlich die Störung weg, die darin ihren Grund hat, daß die Ruhereibung größer und ungleichmäßiger ist als die Reibung in der Bewegung. Nach dem Schlag des Metronoms zählt man die Viertel-Umdrehungen aus und stellt so mit großer Sicherheit die Unterschiede der Wirkung der verschiedenen Farben fest. Die Wirkung der Beleuchtungslampe kann man durch vorgestellte Scheiben Fensterglas leicht abstimmen, grünliches Glas ist dabei wirksamer als farbloses.

Wie empfindlich die Versuchsanordnung ist, ergibt sich daraus, daß in den Übungen der Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht auf diese Weise die Strahlung einer Scheinwerferlampe von 4 Volt 2 Amp. bis weit ins Ultrarot hinein verfolgt wird. Das Lämpchen wird dabei nicht auf den Spalt abgebildet, sondern an die Stelle des Spaltes gesetzt.

Dieselbe Aufstellung ist auch für die Thermosäule geeignet und einer linearen Thermosäule vorzuziehen. Auch das Ultraviolett kann vorteilhaft in dieser Weise behandelt werden, indem man bei *J* Fluoreszenz- und Phosphoreszenz-Präparate aufstellt. Da nur mäßig dicke Schichten farblosen Glases im Gang der Strahlen sich befinden, kommt man beiderseits des Spektrums für Schulzwecke weit genug ins unsichtbare Gebiet und spart die teure Quarz- und Steinsalz-Ausrüstung, die oft für nötig gehalten wird.

5. Die anomale Dispersion. Dieser wichtige Versuch wird nur selten gezeigt, wohl, weil es an einer einfachen und zuverlässigen Vorschrift dafür fehlt. Hat man eine ruhig brennende Bogenlampe, so führt die in Fig. 3 dargestellte Versuchsanordnung mit vollkommener Sicherheit zum Ziel. 5 bis 10 cm vor der Bogenlampe *A* stellt man ein Blech *B* auf, in das ein Spalt von 1/4 mm Weite und 2 mm Länge geschnitten ist; am bequemsten deckt man ein 2 mm großes rundes Loch mit zwei Streifchen Uhrfeder. Der Spalt steht wagerecht. Das Licht fällt auf ein Brillenglas von 15 bis 20 cm Brennweite, das bis auf eine Öffnung von 5 mm im Quadrat mit Papier abgedeckt ist (*C*). 10 cm weiter findet ein Bunsenbrenner *E* Platz, wieder 10 cm weiter wird ein Geradsichtprisma *G* hingelegt, wie es in den kleinen Taschenspektroskopen Verwendung findet. Es liegt mit der brechenden Kante wagerecht, das Spektrum hat also sein Violett oben, sein Rot unten. Es ist nun vor allem darauf zu achten, daß das gelbe Gebiet auf dem Schirm, dessen Abstand 2 bis 3 m sei, scharf abgebildet wird. Die scharfe Abbildung des Spaltes vor Einschiebung des Prismas gibt dafür keine ausreichende Gewähr, es könnten ja die Prismenflächen ein wenig gekrümmt sein und dann ist sogleich das Spektrum unscharf eingestellt. Das bequemste Mittel, die Einstellung zu prüfen ist, daß man vor den Spalt ein Stückchen Didymglas oder ein Gefäß mit Didymlösung hält; sind die Absorptionsstreifen im Gelb durch Hin- und Zurückschieben des Schirmes möglichst eng gemacht, so sind die Vorbereitungen beendet. Man rückt nun den Brenner so, daß das Lichtbündel durch den Rand der Flamme geht und bringt etwa 2 cm unterhalb dieser Stelle auf einem kleinen aus Eisenblech oder Drahtnetz gebogenen Löffelchen metallisches Natrium, etwa wie eine halbe Erbse groß, in die Flamme. Ein Phosphorlöffel ist zu groß, er verändert die Gestalt der Flamme so sehr, daß man Schwierigkeiten hat, die richtige Stelle der Flamme, die eine gute Prismenwirkung hat, in den Lichtstrahl zu bringen. Wenige Sekunden nach dem Einführen des Natriums wird die Umkehrung der Natriumlinie sichtbar, unmittelbar darauf zerreißt das Spektrum an dieser Stelle in zwei nach links und rechts abgebogene Spitzen. Das helle gelbe Licht der Flamme wird durch Pappen, von denen zwei bei *D* und *F* angedeutet sind, möglichst abgefangen, auch über *G* ist ein gut abschließendes Papierblatt geschoben.

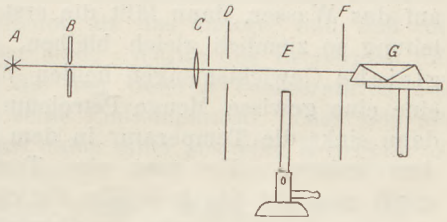


Fig. 3.

Versuchsanordnung zur direkten Bestimmung der Verdampfungswärme des Wassers.

Von Professor Dr. Paul Werner in Iglau.

Die Verdampfungswärme des Wassers wird meist nicht direkt bestimmt, sondern auf dem Umwege über die Kondensationswärme. Die folgende Versuchsanordnung ermöglicht es, die Verdampfungswärme direkt zu bestimmen und gibt den gebräuchlichen Messungen der Kondensationswärme weder an Genauigkeit noch an Einfachheit nach. Abgesehen davon, daß der Versuch hauptsächlich für die Schülerübungen gedacht ist, ist es wohl auch von didaktischem Wert, die Gleichheit von Kondensations- und Verdampfungswärme im Unterrichte zu zeigen. Ein Nachteil der Versuchsanordnung liegt darin, daß die Verdampfungswärme nicht bei 100°, sondern bei etwa 70° gemessen wird. Nun wächst aber einerseits die Verdampfungswärme des Wassers mit sinkender Temperatur nur verhältnismäßig wenig, andererseits wird dieser Nachteil dadurch wett gemacht, daß man die Verdampfungswärme bei verschiedenen Temperaturen unter 100° bestimmen kann [1]).

Die Versuchsanordnung beruht auf folgender Überlegung. Setzt man ein mit heißem Wasser gefülltes Becherglas einem kräftigen Luftzuge aus, so sind hauptsächlich drei Ursachen für die Abkühlung vorhanden: Verdampfungswärme des Wassers, Strahlung und Wärmeleitung. Gießt man aber eine dünne Schicht Petroleum auf das Wasser, dann fällt die erste Ursache fort, während Strahlung und Wärmeleitung so ziemlich gleich bleiben. Bringt man also in zwei gleiche Bechergläser gleiche Gewichtsmengen heißen Wassers von gleicher Temperatur, tropft in das eine eine gewisse Menge Petroleum und setzt beide zusammen dem Luftzuge aus, dann sinkt die Temperatur in dem von Petroleum freien Glase viel schneller als in dem anderen. Hat man eine Temperaturdifferenz von ungefähr 10° erreicht, so tropft man auf das freie Glas die gleiche Menge Petroleum und liest die Temperaturen ab. Nun bestimmt man die Gewichtsdifferenz der Wassermengen und letztere selbst. Multipliziert man die Wassermenge mit der Temperaturdifferenz, so erhält man die Anzahl Kalorien, die auf Rechnung der Verdampfungswärme zu setzen sind. Division durch die Gewichtsdifferenz liefert die Verdampfungswärme.

An Geräten sind erforderlich: 2 Bechergläser von ca. 140—240 ccm Inhalt, zwei einfache Thermometer bis 100°, ein Tropffläschchen mit Petroleum, eine Wage (Meßbereich 500 g, Empfindlichkeit 5 cg). ein Brenner mit Kochgeschirr, in dem beide Bechergläser nebeneinander Platz finden und eine Vorrichtung zum Blasen. Am besten wirkt wohl ein kräftiger Ventilator. In Ermangelung eines solchen ist ein Gebläse, ein Papierfächer oder Blasen mit dem Munde zu empfehlen; mit einem Blasebalg bläst man leicht Wasser aus den Bechergläsern heraus. Selbstverständlich muß man den Luftstrom des Gebläses, falls er nicht genügend breit ist, abwechselnd auf beide Bechergläser richten oder mit Hilfe eines T-Stückes auf beide Bechergläser verteilen.

Bei der Ausführung der Versuche erwies sich folgender Gang als praktisch. Das eine Glas (*I*) wird, um Verwechslungen vorzubeugen, mit einem roten Siegellackpunkte versehen und stets auf die rechte Wagschale gestellt (rot-rechts). Die Gläser werden beide auf die Wage gebracht und tariert. Dann werden sie mit ungefähr gleichen Gewichtsmengen Wasser gefüllt. Allzu große Genauigkeit ist dabei nicht erforderlich. Nun werden beide Bechergläser mit Thermometer versehen und gemeinsam im Wasserbade auf ca. 90° erwärmt. Die Thermometer verbleiben in den Gläsern. Zeigen beide Thermometer ungefähr die gleiche Temperatur, so werden die Bechergläser herausgenommen, gut abgetrocknet und genau tariert. Will man von ver-

[1]) Es sei mir an dieser Stelle gestattet, Herrn Fachlehrer Josef Jelinek für seine Mitarbeit insbesondere bei den Versuchen bestens zu danken.

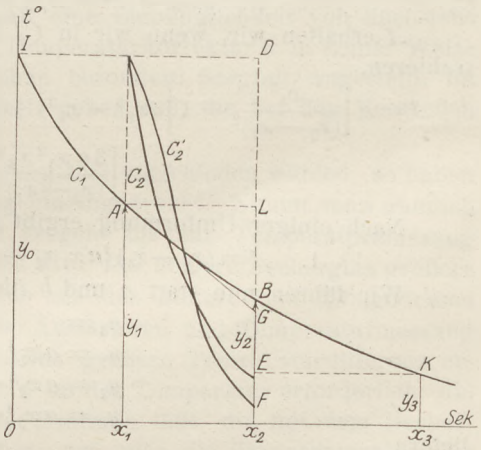
schiedenen Temperaturen ausgehen, so läßt man das eine Becherglas einfach etwas länger im Wasserbade.

Nun stellt man die Gläser auf einen geeigneten Unterlagsklotz, rührt mit den Thermometern kräftig um und notiert die gleichzeitigen genauen Temperaturablesungen. Auf das Wasser in dem Glase *I* (bei verschiedenen Temperaturen auf das kältere Glas) bringt man eine gezählte Tropfenzahl Petroleum (etwa 20 genügen) und setzt das Gebläse in Tätigkeit. Nach Einstellung einer Temperaturdifferenz von 6 bis 10° tropft man auf das andere Glas (*II*) die gleiche Tropfenzahl und notiert die genauen Temperaturen. Bei dieser Reihenfolge wird die Abkühlung durch das kalte Petroleum ziemlich eliminiert. Nun stellt man die Gewichtsdifferenz g möglichst genau fest. Schließlich bestimmt man die Wassermenge im Glase ohne roten Punkt (*II*), indem man nach Entfernung des Thermometers das Glas mit und ohne Inhalt wiegt. An Korrekturen sind zu berücksichtigen: eine etwaige Differenz der Anfangstemperaturen bei der Temperaturdifferenz t, ferner der Wasserwert von Becherglas und Thermometer w_2, und die halbe Gewichtsdifferenz g bei der Wassermenge w_1. Die Verdampfungswärme W ergibt sich dann aus der Formel

$$W = \frac{w_1 + w_2 + {}^1/_2\, g}{g} \cdot t.$$

Die nach dieser Arbeitsweise gefundenen Werte waren sämtlich zu klein und gruppierten sich etwa um das Mittel 490. Die Ursache dieser Abweichung muß eine konstante Fehlerquelle sein. Diese besteht darin, daß das Becherglas mit Petroleum bei höheren Temperaturen Strahlungsverluste erleidet als das andere, und daß die Strahlungsverluste bei höherer Temperatur größer sind. Würde das Becherglas mit Petroleum nur die Strahlungsverluste erleiden, die den tieferen Temperaturen des anderen Bechergläses entsprechen, dann müßte seine Endtemperatur höher sein als die abgelesene; unsere Temperaturdifferenz t bedarf daher einer positiven Korrektur Δ sie kann 1 bis 3° betragen.

Um diese Fehlerquelle zu eliminieren gibt es mehrere Wege. Man kann zunächst daran denken, die Strahlungsverluste überhaupt möglichst klein zu machen. Umgeben des Bechergläses mit einem Mantel erwies sich als unpraktisch. Auch die Verwendung eines kräftigen Gebläses verkleinert die Strahlungsverluste, da sie die Versuchsdauer abkürzt, und ist anzuraten. Noch besser ist der folgende Weg, dem ein von RUMFORD angegebener Kunstgriff zugrunde liegt. Man wählt nämlich die Anfangstemperatur des von Petroleum freien Bechergläses etwas höher, die Endtemperatur ungefähr ebensoviel tiefer als die des anderen Glases. Dadurch erleidet ersteres Becherglas zunächst zu große Strahlungsverluste bei höheren Temperaturen, dann aber zu kleine bei tieferen Temperaturen und die Korrektur Δ wird sehr klein.



Um auf theoretischem Wege, der wohl für Schüler zu schwierig ist, ein Urteil über die Größe von Δ zu gewinnen, stellen wir uns zunächst eine Abklingungskurve der Temperaturen her. Wir füllen ein Becherglas mit heißem Wasser von ca. 90°, bringen eine Schicht Petroleum darauf und messen die Temperaturen von 30 zu 30 Sekunden. Die Zeiten tragen wir als Abszissen, die Temperaturen als Ordinaten in ein Diagramm ein. Wir erhalten eine Kurve, die nach oben konkav ist und zeigt, daß die Strahlungsverluste bei höheren Temperaturen größer sind als bei tieferen. (In der Figur ist die Abklingungskurve C_1 übertrieben gekrümmt gezeichnet.) Wir

machen nun die näherungsweise zulässige Annahme, daß die Abklingungskurve sich durch eine kubische Form $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$ darstellen lasse. In dem kleinen Temperaturbereiche unseres Versuches ist das wohl erlaubt. Ferner möge der Temperaturabfall infolge der Verdampfung einer linearen Form $y = \alpha x$ folgen. In der Figur entspricht der zwischen A und B gelegene Teil der Kurve C_1 dem Becherglas mit Petroleum. C_2 ist die Abklingungskurve des Becherglases ohne Petroleum, C_2' eine fingierte Abklingungskurve desselben Glases, welche gälte, wenn seine Strahlung bei denselben Temperaturen stattfände wie beim ersteren. $DE - LB$ ist also die gemessene Temperaturdifferenz t, $DF - LB$ die korrigierte und EF die Korrektur Δ.

Wir erhalten nun die Kurve C_2 aus C_1 mit genügender Annäherung, wenn wir den Abszissenbereich von C_1 proportional zu dem von C_2 zusammenschieben, jeder Abszisse von C_1 den Differentialquotienten zuordnen, der ihr im Bereiche von C entspricht und zu ihm noch α addieren. Die Integration des Ausdruckes liefert C_2. Die Koordinaten der Punkte I, A, B, K seien

$$I(o, y_0),\ A(x_1, y_1),\ B(x_2, y_2),\ K(x_3, y_3).$$

Für das Zusammenschieben des Abszissenbereiches gilt die Transformationsgleichung

$$x = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}\, x_3,$$

welche für $x = x_1$ den Wert O, für $x = x_2$ den Wert x_3 annimmt. Der Differentialquotient von C_2 genügt also der Gleichung

$$y' = 3a\left(\frac{x - x_1}{x_2 - x_1}\right)^2 x_3^2 + 2b\frac{x - x_1}{x_2 - x_1}\, x_3 + c + \alpha.$$

Daraus folgt für die Anfangsbedingungen $x = x_1$, $y = y_0$

$$C_2 \quad \ldots\ldots \quad y = y_0 + \frac{a x_3^2}{(x_2 - x_1)^2}(x^3 - x_1^3) + \left[\frac{b x_3}{x_2 - x_1} - \frac{3 a x_1 x_3^2}{(x_2 - x_1)^2}\right](x^2 - x_1^2 + \\ + \left[\frac{3 a x_1^2 x_3^2}{(x_2 - x_1)^2} - \frac{2 b x_1 x_3}{x_2 - x_1} + c + \alpha\right](x - x_1).$$

Ferner finden wir für C_2' analog

$$C_2' \quad \ldots\ldots \quad y = y_0 + a(x^3 - x_1^3) + b(x^2 - x_1^2) + (c + \alpha)(x - x_1).$$

Δ erhalten wir, wenn wir in C_2 und C_2' $x = x_2$ setzen und die Ordinaten subtrahieren.

$$\Delta = a\left[\frac{x_3^2}{(x_2 - x_1)^2} - 1\right](x_2^3 - x_1^3) + \left[b\left(\frac{x_3}{x_2 - x_1} - 1\right) - \frac{3 a x_1 x_3^2}{(x_2 - x_1)^2}\right](x_2^2 - x_1^2) + \\ + \left[\frac{3 a x_1^2 x_3^2}{(x_2 - x_1)^2} - \frac{2 b x_1 x_3}{x_2 - x_1}\right](x_2 - x_1).$$

Nach einiger Umformung ergibt sich

$$1. \quad \Delta = (x_2 - x_1)\{a x_1 x_2 + (x_3 - x_2 - x_1)[a(x_1 + x_2 + x_3) + b]\}$$

Wir führen nun statt a und b die Ordinaten y_0, y_1, y_2, y_3 ein. Die Gleichungen

$$\begin{aligned} y_0 &= d \\ y_1 &= a x_1^3 + b x_1^2 + c x_1 + d \\ y_2 &= a x_2^3 + b x_2^2 + c x_2 + d \\ y_3 &= a x_3^3 + b x_3^2 + c x_3 + d \end{aligned}$$

liefern

$$a = \frac{(y_1 - y_0) x_2 x_3 (x_2 - x_3) - (y_2 - y_0) x_1 x_3 (x_1 - x_3) + (y_3 - y_0) x_1 x_2 (x_1 - x_2)}{x_1 x_2 x_3 (x_1 - x_2)(x_2 - x_3)(x_1 - x_3)}$$

$$b = \frac{-(y_1 - y_0) x_2 x_3 (x_2^2 - x_3^2) + (y_2 - y_0) x_1 x_3 (x_1^2 - x_3^2) - (y_3 - y_0) x_1 x_2 (x_1^2 - x_2^2)}{x_1 x_2 x_3 (x_1 - x_2)(x_2 - x_3)(x_1 - x_3)}$$

Diese Ausdrücke liefern in 1. eingesetzt nach einfacher Umformung die Formel

$$2. \quad \Delta = y_1 - y_2 - \frac{y_0 - y_3}{x_3}(x_2 - x_1).$$

Diesem Ausdrucke entnehmen wir eine einfache graphische Methode zum Auffinden von Δ. y_0 und y_3 sind Anfangs- und Endtemperatur des Becherglases I, x_3 sein Abszissenbereich, y_1 und y_2 Anfangs- und Endtemperatur des Becherglases II, $x_2 - x_1$ sein Abszissenbereich. Wir legen also durch A eine Parallele AG zu IK, dann ist GB die Korrektur Δ.

Es genüge hier darauf hinzuweisen, daß die genauen Werte von Δ etwas kleiner sind, man erhält sie recht genau aus den nach obiger Art berechneten Werten durch Multiplikation mit dem Faktor 0,8. Die Abweichung ist dadurch begründet, daß die Temperaturverluste infolge Verdampfung durch die Form $y = \alpha x$ nicht genau darstellbar sind.

Man sieht aus der Tabelle, daß die Werte von Δ, wie auch schon der flache Verlauf von C erwarten läßt, sehr klein sind und jedenfalls innerhalb der Ablesefehler der Thermometer liegen. Für unsere Zwecke spielt also Δ keine Rolle.

	w_1	g	y_0	y_1	y_2	y_3	t	Δ	Verdampfungswärme		
									Rohwert	mit korr. Δ	Genauer Wert
I	117,9	2,78	77,4	71,5	63,3	57,2	12,0	0,09	538	543	560
II	121,4	2,80	80,3	73,8	66,3	61,0	11,8	—0,09	540	536	557
III	123 0	2,52	78,3	73,0	65,8	60,1	11,0	0,15	566	575	559
IV	115,0	2,02	79,8	74,6	68,4	64,2	9,4	—0,08	565	560	557
V	118,6	2,82	79,8	73,2	66,4	60,0	13,0	0,04	578	578	558
	$w_2 = 5{,}4$.						Mittelwerte:		557	558	558

Die verhältnismäßig große Streuung der Einzelwerte ist in der Ungenauigkeit der verwendeten Meßinstrumente begründet. Die Thermometer hatten Gradteilung, die $^1/_{10}$-Grade sind geschätzt. Die Wage besaß eine Empfindlichkeit von höchstens 0,03 g, auch ist die im folgenden besprochene Temperaturkorrektur δ in keiner Weise berücksichtigt. Die Versuche sind übrigens ohne besondere Sorgfalt angestellt, da die Tabelle nur ein Beispiel von der Genauigkeit geben soll, die bei den Versuchen erreicht wird.

Wenn wir die Anfangstemperatur der Bechergläser verschieden wählen, so haben wir damit einen anderen Fehler in die Messung hineingebracht. Nimmt man nämlich die tarierten Bechergläser von der Wage, so vergeht bis zur Temperaturablesung immerhin einige Zeit. Während dieser Zeit aber wird das heißere Becherglas größere Temperaturverluste durch Verdampfung erleiden als das kältere und infolgedessen auch größere Gewichtsverluste. Könnte man also Austarieren und Temperaturmessung gleichzeitig vornehmen, so würde man eine etwas größere Temperaturdifferenz erhalten. Es ist demnach eine positive Korrektur δ an der Temperatur erforderlich, die sich übrigens auch aus einer Abklingungskurve ermitteln läßt, die mit dem Becherglas ohne Petroleum aufgenommen wurde. Man wird also die Temperaturablesung möglichst rasch dem Austarieren folgen lassen. Mit dem Auftropfen von Petroleum kann man sich dann schon etwas Zeit lassen. Wenn man einigermaßen flink ist, verstreichen bis zur Temperaturablesung nicht mehr als 10—20 Sek. Die Korrektur δ wird vermindert, wenn man die Anfangstemperaturen y_0 und y_1 nicht allzu hoch wählt. Man gehe praktisch mit y_0 nicht viel über 80° hinaus. Die Korrektur beträgt dann ca. 0,1—0,2°, kommt also bei Schülerübungen auch nicht in Betracht. Von dem Vorhandensein der Korrektur δ kann man sich so überzeugen, daß man die

austarierten Bechergläser auf der Wage beläßt. Bereits nach 1 Minute stellt sich eine merkliche Gewichtsdifferenz ein. Man kann Δ übrigens auch auf die Weise aus der Messung eliminieren, daß man das heißere Becherglas beim Austarieren zunächst etwas schwerer läßt und nun das Vorrücken des Zeigers der Wage gegen den Nullpunkt beobachtet. Etwas bevor derselbe erreicht ist, entfernt man die Bechergläser, rührt kräftig um und liest ab.

Ich möchte schließlich noch auf einige Umstände hinweisen, die ebenfalls Korrekturen am Endwerte verursachen. Zunächst ist die spezifische Wärme des Wassers bei der mittleren Meßtemperatur von 70° nicht 1 sondern ungefähr 1,02, was einen Zuschlag von ungefähr 11 Kalorien verursacht. Die spezifische Wärme des heißen Wassers ist übrigens auch bei der Bestimmung der Kondensationswärme zu berücksichtigen, denn der zu Wasser kondensierte Dampf durchläuft bei der Abkühlung von 100° auf die Endtemperatur des Kalorimeters Temperaturen, denen eine höhere spezifische Wärme entspricht als 1. Dieser Umstand würde eine Verminderung der wissenschaftlichen Werte der Verdampfungswärme von 100° um zirka 1,4 Kalorien bedingen.

Die spezifische Wärme ist hingegen etwas kleiner anzusetzen, wenn man nicht Aqua destillata, sondern Wasserleitungswasser verwendet. Das Endresultat ist um ca. 1,5 Kalorien zu vermindern. Die Methode gestattet übrigens auch die Verdampfungswärme von Salzlösungen zu bestimmen, was nach der Kondensationsmethode nicht möglich ist. Vier Versuche mit 23,1 %iger Kochsalzlösung ergaben als Mittelwert 692,3 Kalorien, wenn die spezifische Wärme gleich 1 gesetzt wird. Multipliziert man aber mit der spezifischen Wärme der Kochsalzlösung 0,7897, so erhält man 546,7 Kalorien mit einem mittleren Fehler von 10 Kalorien und berücksichtigt man die höhere spezifische Wärme bei der Temperatur von 70°, 557,6 Kalorien der genaue Tabellenwert ist 558,4 Kalorien. Das Resultat, daß die Verdampfungswärme von Lösungen gleich ist, der des reinen Wassers war zu erwarten, denn sonst könnte man ja ein Perpetuum mobile konstruieren, indem man das verdampfte Wasser wieder kondensiert.

Als weiterer Umstand wäre zu berücksichtigen, daß die genauen Bestimmungen der Verdampfungswärme bei Temperaturen unter 100° z. B. die von Regnault bei vermindertem Druck vorgenommen wurden. Nun ändert sich aber die äußere Verdampfungswärme mit der Temperatur. Berücksichtigt man diesen Umstand, so sind unsere Werte um ca. 2,5 Kalorien zu vermindern, um sie mit den Tabellenwerten vergleichen zu können.

Ich habe alle diese Korrekturen besprochen, nicht weil ich der Ansicht bin, daß man sie bei Schulversuchen oder bei den Schülerübungen in Betracht ziehen wird, sondern um ihren Einfluß auf das Endresultat zu erörtern. Sie sind klein und übrigens teils positiv, teils negativ. In der Praxis erhält man stets gute Resultate, wenn man den Rumfordschen Kunstgriff anwendet und gar keine Korrektur berücksichtigt.

Gefährlich kann nur die Korrektur δ werden, wenn man mit der Temperaturablesung nach dem Tarieren allzulange (1 bis 2 Minuten) zögert. Das Endresultat fällt dann zu klein aus und liegt ungefähr in dem Wertgebiet der Verdampfungswärme von 100°. Auch unter geänderten Versuchsbedingungen, größerer Wassermenge, weitgehender Änderung des Temperaturunterschiedes bis 20° erhält man gleich gute Resultate.

Der Bau eines Rückkoppelungsempfängers (Schwingaudion) für drahtlose Telegraphie.

Von Seminarlehrer K. Freudenberger in Frankenberg (Eder).

Der Rückkoppelungsempfang zeigt die Kathodenröhre in ihrer vielseitigsten Verwendung: sie nimmt auf, verstärkt und erzeugt noch eine Hilfsfrequenz. Sie eignet sich in dieser Schaltung zur Aufnahme gedämpfter und ungedämpfter Wellen und auch für drahtlose Telephonie. Im Folgenden soll auf Grund eigener Erfahrungen angegeben werden, wie man sich ein brauchbares Modell herstellt.

Fig. 1 veranschaulicht, in welcher besonderen Form die in jedem Lehrbuch der drahtlosen Telegraphie angegebene Schaltung zweckmäßig auszuführen ist. Das Gitter ist mit Hilfe galvanischer Koppelung angelegt. Wenn diese auch weniger vollkommen als die induktive ist, so wird doch der Apparat dadurch um vieles einfacher. Der Antennenkondensator ist parallel geschaltet. Dies wirkt dann bekanntlich wie Hinzunahme von Windungen. Die Parallelschaltung ist für unsere Zwecke am geeignetsten, weil man in diesem Fall mit einem ganz kleinen Kondensator auskommt und außerdem die Erweiterung des Wellenbereichs unmittelbar im Anschluß an die vorhandene Windungszahl erfolgt.

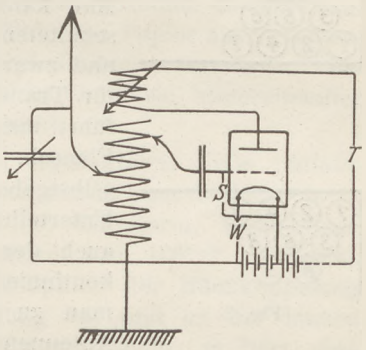


Fig. 1.

Fig. 2 zeigt, wie man die Teile der Fig. 1 anordnen kann. Es ergeben sich vier Bestandteile: die Batterien, das Spulensystem, der Antennenkondensator und eine Grundplatte, welche alles übrige trägt. Diese vier Bestandteile sollen nun der Reihe nach besprochen werden:

Die Heizbatterie besteht aus drei Akkumulatorenzellen. Die entnommene Stromstärke beträgt etwa 0,5 Amp. Größere Sorge verursacht die Beschaffung der Anodenspannung. Frühere Nummern dieser Zeitschrift brachten wiederholt Vorschläge wie

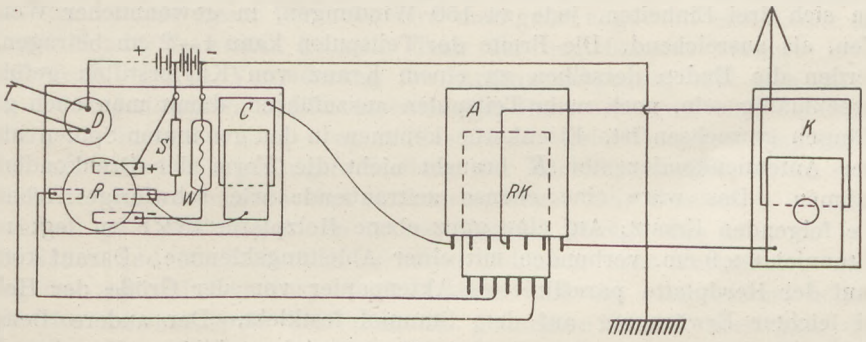


Fig. 2.

die 70—90 Volt (bei neueren Röhren 32—50 Volt) Gleichspannung erzeugt werden können. Sehr empfehlenswert ist es, am Gestell der Anodenbatterie eine (behelfsmäßige) Sicherung für 0,1—0,2 Amp. anzubringen. Sie soll weniger die Stromquelle als die Röhre schützen. Sollte durch ein Versehen der Glühfaden der Lampe einmal an die Anodenspannung gelegt werden, so wäre die Röhre ohne diese Sicherung verloren. Überhaupt sei empfohlen, bei allen Versuchen mit der Röhre nur durchgehend isolierten Draht zu verwenden. Wie leicht entsteht eine ungewollte Verbindung, und der Faden der Röhre brennt durch!

Die Antennenspule A und die in ihr verschiebbare Rückkoppelungsspule RK stellt man aus Papprohren mit Holzflanschen her. Der Durchmesser der Antennenspule kann 8 cm betragen. Die Länge hängt vom Wellenbereich ab. Bei etwa 14 cm Länge und der unten empfohlenen Wicklungsart darf man auf einen Wellenbereich bis ungefähr 5000 m rechnen. Durch Zusatzspulen läßt er sich erweitern. Die herkömmliche Wicklungsart, wie bei einem Elektromagneten, ist bei Hochfrequenz nicht ohne weiteres anwendbar, da die einzelnen Lagen wie ein Kondensator wirken, der einen unerwünschten Nebenschluß für die Schwingungen entstehen läßt. Die Sache wird schon besser, wenn die Isolation ziemlich dick ist. Am besten wendet man die sogen. kapazitätsfreie Wicklung an. Hier liegen die einzelnen Windungen abwechselnd neben- und übereinander, Fig. 3 (vergl. Mosler, drahtl. Telegr., S. 47). Damit die Wicklung schön ausfällt, empfiehlt sich eine Vorübung. Das Steigen der Windungen macht zunächst Schwierigkeiten. Man kann die Gesamtspule als Summe von hintereinander geschalteten Teilspulen zu je 50 Windungen in 4—5 Lagen wickeln und zwar aus Kupferdraht von 0,6—0,8 mm Stärke, wie er etwa für Transformatoren verwandt wird. Die Enden der Teilspulen führt man zu einem Kranz von Kupferstiften auf dem einen Flansch. Hier legt man die Zuleitungsdrähte mit Hilfe von selbstgebogenen federnden Messingklammern an. Eine allzu grobe Unterteilung der Antennenspule ist nicht empfehlenswert. Wenn auch der Antennenkondensator dazu dient, den Wellenbereich kontinuierlich zu machen, so sinkt doch die Lautstärke, wenn man zu große Sprünge durch ihn ausgleicht. Man darf die Antennenspule nach dem genannten Verfahren sogar durchgehend in mehreren Lagen wickeln, da ja der Draht alle paar Windungen wieder nach oben kommt. Die Zuleitung geschieht dann durch einen Schleifkontakt. Beim Wickeln verwendet man zur Isolation Schellacklösung, die außerdem die Windungen zusammenhält. Die vollkommenste Wirkung würde durch Verwendung von Hochfrequenzlitze erreicht. Diese Litze dürfte jedoch der hohen Kosten wegen nicht in Betracht kommen. Weniger Arbeit macht die Rückkoppelungsspule, Φ etwa 5,5 cm. Der Draht kann dünner sein. Sie wird ebenfalls in Teilspulen gewickelt. Bis 5000 m Wellenlänge erwiesen sich drei Einheiten, jede zu 150 Windungen, in gewöhnlicher Weise aufgewunden, als ausreichend. Die Breite der Teilspulen kann 1—2 cm betragen. Auch hier werden die Enden derselben zu einem Kranz von Kupferstiften geführt. Es wird zweckmäßig sein, noch mehr Teilspulen auszuführen, damit man auch größeren Wellenlängen gewachsen ist. Eisenkerne kommen in den genannten Spulen nicht vor.

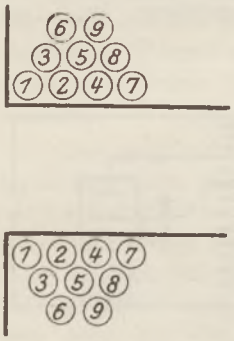


Fig. 3.

Der Antennenkondensator K braucht nicht die Form der Drehkondensatoren nachzuahmen. Das wäre eine ebenso zeitraubende wie schwierige Arbeit. Ich empfehle folgenden Ersatz: Auf eine ganz ebene Holzplatte 18×8 cm legt man ein Stück Stanniol 6×9 cm, verbunden mit einer Ableitungsklemme. Darauf kommt ein Stück auf der Herdplatte paraffiniertes Aktenpapier von der Größe der Holzplatte, das bei leichter Erwärmung auf dem Stanniol festklebt. Der andere Beleg wird durch eine Blechplatte von der Größe des Stanniols gebildet, die eine Klemme trägt und außerdem vielleicht einen Sicherungsstöpsel zur Beschwerung und als Griff. Durch Verschieben dieser Platte muß sich eine Rolle der Antennenspule „überlappen“ lassen.

Alle übrigen Teile lassen sich auf einer gemeinsamen Grundplatte vereinigen. Sie kann aus Marmor, Schiefer oder auch Holz bestehen. Sie trägt vor allem die Röhre R. Über den Unterschied zwischen Audion- und Verstärkerröhren bringt die Spezialliteratur das Nötige. Doch sei hier bemerkt, daß auch Verstärkerröhren in dem beschriebenen Apparat befriedigende Wirkung ergeben. Selbst die alte Telefunkenröhre EVN 171 ist verwendbar. Recht gut wirkt die Verstärkerröhre EVE 173,

noch besser *RE* 16. Am Fuß der Röhren befinden sich zur Stromzuführung und Befestigung drei Kontaktstifte und ein Röhrchen. Als Sockelersatz verwendet man drei dicke Metallstreifen mit aufgelötetem Messingröhrchen oder Spiralen aus hartem Kupferdraht und einen Streifen mit Kontaktstift. Telefunken (Berlin SW 11) liefert zu seinen Röhren gleichzeitig Eisenwiderstände *(W)*, die auf konstante Stromstärke regulieren. Zur Not genügen Stücke aus Nickelindraht, falls man mit Amperemeter arbeitet. Der Ausgleichwiderstand *S* aus Silit soll 100000—1000000 Ohm Widerstand haben, (Bezugsquelle: Gebr. Siemens, Berlin-Lichtenberg[1]). Ganz rechts liegt der Gitterkondensator *C*. Obwohl er in der Fachliteratur als Blockkondensator bezeichnet wird, empfiehlt es sich doch, ihn nach Art des Antennenkondensators anzufertigen. Er läßt sich dann sicherer auf größte Lautstärke einstellen. Größe der Belege: 5 × 8 cm. Den Telephonhörer, der 2000 Ohm Widerstand haben soll, kann man unmittelbar an eine Steckdose *D* anlegen. Ein Parallelkondensator, der sich mit einem Stück zweiadriger Schnur anschließen läßt, verbessert freilich die Wirkung. Man kann ihn aus Stanniol oder Zinkblechen mit paraffiniertem Papier als Zwischenlage herstellen. Seine Maße lassen sich sehr leicht durch Probieren ermitteln. Bei Verwendung von zwei Hörern sinkt die Lautstärke nicht, falls sie hintereinander geschaltet werden. Hörer unter 1000 Ohm wirken schlecht.

Da der beschriebene Apparat eine ganze Anzahl regulierbarer Teile umfaßt, soll noch von der Handhabung die Rede sein. Am besten nimmt man die Einstellung an einem gedämpften Sender vor. Dazu eignet sich der Eiffelturm, Wellenlänge 2500 m, der mit großer Energie sendet. Man probiere von 10^{25-30} Zeitsignal, 11^{35-50} (ab 11^{45} Zeitsignal)[2]), indem man zunächst 2—3 Spulen der Rückkoppelung und etwa vier der Antennenspule benutzt; Gitterkoppelung vor erst an der letzten Spule. Steckt die Rückkoppelungsspule tief in der Antennenspule, so hört man den Sender rauschend. Zieht man die Spule allmählich heraus, wird der rauschende Ton lauter, und schließlich findet man eine Stellung mit besonders gutem tönenden Empfang. Nun sucht man den vorteilhaftesten Kontaktstift für den Antennenanschluß und für die Gitterkoppelung. Schließlich ist noch zu versuchen, ob Einschaltung von Kapazität beim Antennenkondensator eine weitere Verbesserung bringt. Die Rückkoppelungsspule ist dabei jedesmal solange zu verschieben, bis wieder größte Lautstärke erreicht ist. Erhält man kein Ergebnis, so pole man die Rückkoppelungsspule um. Im Verlauf dieser Versuche wird man ganz ungewollt einen oder mehrere ungedämpfte Sender feststellen können; denn der ungedämpfte Verkehr ist außerordentlich groß. Durch Veränderung der Antennenkapazität läßt sich der Schwebungston der ungedämpften Sender in beliebiger Höhe erzeugen, eine hervorragende Gelegenheit, die Formel $n = n_1 - n_2$ zu illustrieren. Beim Telephonieempfang kommt es darauf an, genau die günstigste Stellung der Rückkoppelungsspule zu ermitteln. Hinsichtlich der Antennengröße sind Röhrenempfänger sehr bescheiden. Litzendraht gibt besonders gute Wirkungen. In unserer Gegend genügt eine Litze im Lehrsaal, um z. B. Nauen und den Eiffelturm zu hören und zwar ohne Verstärker. Ja, unter Benutzung des menschlichen Körpers als Antenne und bei entsprechend hoher Windungszahl der Antennenspule hört man die genannten Sender noch ganz deutlich. Mit einem Draht im Hofe unter Hinzunahme eines Einröhrenverstärkers (Transformatorwicklung prim. 15000 U 0,08 mm, sek. 60000 U 0,06 mm), spricht der Hörer

[1]) Die Silitstäbe sind in letzter Zeit so teuer geworden, daß sich ihr Ersatz durch Graphitstriche, Selenüberzüge, chinesische Tusche auf Ton u. dgl. lohnt. Auch müssen diese selbstgefertigten Widerstände luftdicht eingeschlossen werden, da sie hygroskopisch stark beeinflußbar sind.

[2]) Während der Drucklegung ist die Sendezeit 12^{30} weggefallen, und die Funksprüche 9^{20}, 3^{20}, 8^{20} sind auf eine andere Welle gelegt worden. (Vgl. Funkwetter, Deutsche Seewarte, Abt. III, Verlag von Hammerich und Lesser, Altona.) Eiffelturmkonzerte finden meist abends 6^{10} oder 7^{20} mit $\lambda = 2600$ m statt. Ankündigung erfolgt im Anschluß an die Telephonie-Wettermeldung 12^{15} mittags.

so laut an, daß man das Nauener Zeitsignal der ganzen Klasse gleichzeitig vorführen kann.

Nach den zur Zeit geltenden Bestimmungen sind in Deutschland Versuche mit drahtloser Telegraphie ohne besondere Genehmigung verboten. Doch zieht das Reichspostministerium in Erwägung, „den Kreis der Anstalten, denen funkentelegraphische Versuche gestattet werden sollen, zu erweitern.“ Eine Kontrolle, ob das Verbot beachtet wird, ist jedenfalls undurchführbar.

Zeitgemäße messende Versuche mit Leuchtgas.

Von **Otto Ohmann** in Berlin-Pankow.

In der jetzigen Zeit deutscher Not spielt in allen Haushaltungen das Leuchtgas eine solche Rolle, daß wir ihm auch im Unterricht, im chemischen wie im physikalischen, erhöhte Aufmerksamkeit schenken müssen. Zumal in anbetracht der unaufhörlichen Preissteigerungen gilt es, soviel wie möglich zu sparen und in den Zimmern die Leuchtkraft, im Gaskocher der Küche die Heizkraft dieses kostbaren Stoffes wirklich rationell auszunützen[1]). Hier ist noch mancherlei möglich, aber mit bloßen Ratschlägen oder Zahlenangaben kommen wir nicht vorwärts, hierzu sind vielmehr einige Grundanschauungen erst zu erwecken und vor allem anschauliche Versuche vorzuführen. Wieviel Liter Leuchtgas werden eigentlich verbraucht, wenn ein Bunsenbrenner oder die Flammenkrone eines Gaskochers 5 Minuten oder 1 Stunde lang brennt? Oder von der andern Seite aus betrachtet: Wie lange Zeit kann man mit einer gegebenen Gasmenge von etwa 5 oder 10 l einen Bunsenbrenner gewöhnlicher Größe speisen? Und welche Kalorienmenge wird in dieser Zeit von den genannten Heizquellen erzeugt? Hierüber fehlt es fast allenthalben an genügender Anschauung, zumal über das Verhältnis vom Raum zur verbrauchten Zeit, von der Gasmenge zur Brenndauer; auch in den Lehrbüchern ist so gut wie nichts darüber zu finden. Kenntnisse darüber haben aber jetzt erheblichen ökonomischen Wert, und die nachfolgenden Versuche haben den Zweck, die nötige Anschauung zu vermitteln, die dann wieder eine gute Vorbereitung bietet zur richtigen Verwertung des häuslichen Gasmesssers, von dem nachher noch die Rede sein soll.

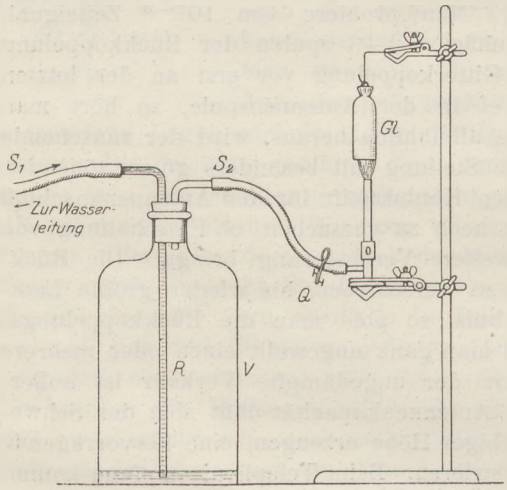


Fig. 1.

1. Die Brenndauer einer gegebenen Gasmenge. Die Abmessung der Gasmenge richtet sich nach der Größe der zur Verfügung stehenden Flasche. Irgendeine größere Vorratsflasche wird vorübergehend leer sein oder leicht leer gemacht werden können. Zu dem nachstehenden Versuche wurde eine solche von nahezu 8 l Inhalt verwendet. Sehr wertvoll wäre es, eine Flasche vom halben Gasmolraum (11,2 l) zu besitzen, womöglich auch eine solche von 22,4 l (über die Veranschaulichung des Gasmolraumes vgl. *d. Ztschr. 29, 64*); seit langem fahnde ich vergeblich nach solchen, einigermaßen passenden Flaschen. Die Vorteile sind mannigfaltig, doch können wir hier nicht näher darauf eingehen. — Man nimmt zunächst die aus Fig. 1

[1]) Man vergleiche hierzu die Mitteilung unter Korrespondenz in diesem Heft S. 70.

ersichtliche Stopfenmontierung von S_1R bis Q heraus, richtet R aufwärts, schließt S_1 an die Wasserleitung an und füllt so R mit Wasser an. Hierauf füllt man die Vorratsflasche V mit Leuchtgas. Das Füllen eines größeren Gefäßes mit Leuchtgas will, wegen des geringen Gasdruckes ($\sim$ 3,5 cm Wassersäule), etwas geübt sein. Das übliche, wenn auch anfänglich stark geneigte, Gaseinleitungsrohr versagt beim Ansteigen des Wannenwassers bald, und das Ausschöpfen ist lästig. Am besten kombiniert man zwei Wasserwannen (bei 2 gleichen Blechwannen stellt man die eine ein wenig höher, so daß ihr Auslauf über den oberen Rand der zweiten ragt, bei 2 Glaswannen hänge man einen „gefüllt bleibenden Heber" über), stellt das Gefäß schwach geneigt auf den Boden der ersten Wanne und führt einen längeren (weichen), am Ende nur ein kurzes Glasrohr tragenden Schlauch gleich soweit ein, daß die Mündung des Rohres den oberen Rand der Wanne überragt — dann ist das Gefäß in wenigen Sekunden gefüllt. Die mit Gas gefüllte Flasche verschließt man unter Wasser mit einem Kork und wendet sie erst, nachdem man von unten her das wassergefüllte Rohr R eingeführt und den Stopfen recht fest gedrückt hat. Dann schließt man an den (tangential, nicht radial) eingespannten Brenner an, öffnet vorsichtig den Wasserhahn und gleich darauf den Quetschhahn Q, entzündet das austretende Gas und notiert die Zeit. Der Wasserstrom läßt sich leicht so einrichten, daß die Flamme der Größe nach der eines direkt an die Gasleitung angeschlossenen Brenners entspricht.

Man kann nun die Ermittelung der Brenndauer vollständig als einen Versuch für sich gelten lassen. Im vorliegenden Falle war das Resultat: rund 4 Minuten Brenndauer auf 8 l Gas, d. h. in 1 Minute verbraucht ein Bunsenbrenner etwa 2 l Gas. Man kann aber auch — gegebenenfalls erst in einem zweiten Versuch — die Flamme gleich mit gewissen Beobachtungen am Auerschen Gasglühlicht verknüpfen. Ein unverletzter Glühstrumpf sollte zum ständigen Inventar des chemischen Unterrichts gehören; hängt man ihn mit seinem Bügel in einen Drahthaken (s. Fig. 1) und befestigt den Draht vorsichtig in einem Rundhaken, den man an der Unterseite eines Schrankzwischenbodens eingeschraubt hat, so kann man den Glühstrumpf jahrelang unversehrt erhalten, da er durch die paar Versuche mit ihm kaum nennenswert abgebraucht wird. Man drehe und schiebe die Klemme mit dem Brenner so, daß die Flammenachse gerade den unteren Rand des unverändert hängenden Glühstrumpfes Gl trifft. Jetzt liegt relativ am meisten Glühstrumpffläche innerhalb der Flamme, wir haben aber keineswegs das Maximum der Helligkeit, die mit dieser für einen üblichen Glühstrumpf zu kleinen Bunsenflamme zu erreichen ist; vielmehr bleibt der ganze innere, vom kalten Leuchtgase getroffene Teil von Gl dunkel. Das Maximum erreichen wir erst, wenn wir mit der Flamme uns der Glühstrumpfachse nähern, aber nur so weit, daß möglichst viel von der Glühstrumpffläche innerhalb des Flammenmantels liegt. Schon hier wird ersichtlich, daß es weniger auf die Gasmengen als auf die richtige Verteilung des Flammenmantels auf die Glühstrumpffläche ankommt.

Wie bereits angedeutet, reicht ein einzelner Bunsenbrenner nicht aus, um die Leuchtkraft eines Glühstrumpfes auszunutzen; wendet man jedoch (in Ermangelung eines Argandbrenners mit Luftzuführung) einen Dreirohrbrenner an, so ist das im rechten Teil von Fig. 1 dargestellte System eine tragbare, an jedem Gasauslaß anschließbare Gasglühlichtlampe, die im Fall des Versagens der elektrischen Beleuchtung ausgezeichnete Dienste leistet (vgl. *ds. Ztschr. 35, 72*).

1a. Zur Unterstützung der Anschauung kann man hier noch einen vergleichenden Versuch mit Alkohol anfügen: eine Spirituslampe, an der man die übliche mittlere Flammengröße vorbereitet hat, wird auf die Wage gestellt, abtariert und mit einem Zusatzgewicht von 1 g versehen, so daß die Lampe sinkt. Entzündet man nun, so hebt sich die Lampe erst wieder nach einer Brenndauer von $\sim$ 3 Minuten.

2. Die von einer gegebenen Gasmenge erzeugte Kalorienmenge. Wir benutzen dieselbe Zurüstung der Flasche V, füllen diese von neuem mit Leuchtgas und speisen damit unter gleichen Bedingungen wie bei Vers. 1 — nur an etwas längerem

Schlauch S_2, Fig. 2 — denselben Brenner; mit der gleich groß zu haltenden Flamme erhitzen wir freihändig, unter sehr schwachem Hin- und Herbewegen des Brenners, also ohne Ring und Drahtnetz, einen genügend hoch in ein Stativ gespannten Erlenmeyer-Literkolben K mit 1 kg Wasser, mit dem Thermometer T und Siedeerleichterern $S \cdot E$ (in Gestalt von Tariergranaten), entweder von Zimmertemperatur an oder besser nach Vorwärmen mit einem anderen Brenner und Stationärhalten der Temperatur, von $\sim 25^0$ an. Im vorliegenden Falle stieg die Temperatur in knapp 4 Minuten von 15^0 auf 29^0. Ein Wiederholungsversuch mit dem unmittelbar an die Gasleitung angeschlossenen Brenner — wobei die mitgeführte, aber nur wenig störende Feuchtigkeit in Fortfall kommt — ergibt nur einen wenig höheren Wert, so daß wir das anschauliche Resultat erhalten: eine Bunsenflamme erzeugt in 1 Minute $\sim$ 3 Kalorien.

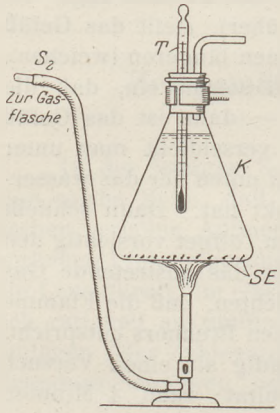


Fig. 2.

2a. Auch hier empfiehlt sich ein Versuch mit der, vorher abtarierten, Spirituslampe, die man unter demselben Kolben 10—15 Minuten lang brennen läßt, um danach aus Gewichtsverlust und Temperaturerhöhung die Kalorienzahl für je 1 Min. oder besser je 5 Min. (> 8 Kal.) festzustellen.

Das sind natürlich keine messenden Versuche im üblichen Sinne; wir wollen nur praktisch wichtige Werte gewinnen mit all den Unvollkommenheiten und Verlusten, wie sie unter gewöhnlichen Umständen eben vorhanden sind, dabei aber ein paar nutzbringende Anschauungen entwickeln, die die Grundlage für weitere praktische Feststellungen und Abschätzungen bilden. Damit kommen wir zur

3. Verwertung der Gasuhr. Der meist in einer dunklen Ecke stehende Gasmesser mit seiner bei einfachem Aufklappen sichtbaren Gasuhr wurde bisher kaum beachtet, denn man überließ bei den früheren billigen Gaspreisen alles dem zeitweise inspizierenden und mit der Leuchtlampe den „Gasmesserstand“ notierenden Beamten. Wenn wir jetzt anraten, die Schüler geradezu auf diese Gasuhr loszulassen, so geschieht es nicht, um den Beamten zu kontrollieren, sondern um gewisse Beobachtungen zu veranlassen, die nach kurzer Zeit den Schüler wie die Schülerin gleichmäßig interessieren werden. Meist wird sich in dem dunklen Gange eine Tür finden, bei deren Öffnen man die Gasuhr auch ohne künstliches Licht ablesen kann; sonst leistet der richtig geleitete Reflex von einem in größte Nähe gebrachten weißen Oktavblatte vorzügliche Dienste, oder es muß die Lupe aushelfen. Wir sehen hier von der Wiedergabe der Gasuhr, besonders der vier Zifferblätter, die die Einer, Z, H und T der verbrauchten cbm Gas angeben, ab; doch sollte man sie im Unterricht einmal an die Wandtafel zeichnen (oder besser zeichnen lassen) und dabei auf die umgekehrte Ziffernfolge bei den Zehnern und Tausendern aufmerksam machen.

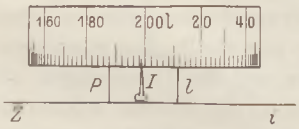


Fig. 3.

Vor allem aber ist auf einen Teil hinzuweisen, der meist nur den Gastechnikern bekannt ist und von ihnen „Index“ genannt wird: ein senkrechter, feststehender Zeiger (I, Fig. 3), an dem sich ein mit seiner Achse lotrecht gestelltes Rad mit Kreisteilung dreht. Es liegt oberhalb vom Zehnerkreise des Ziffernblattes (Zi) und wird deshalb leicht übersehen, weil es fast ganz von dem oberen vorspringenden Rand der Öffnung verdeckt wird, so daß man sich gehörig bücken muß, um es überhaupt zu erblicken; der Index J liegt noch auf einer besonderen Metallplatte Pl. Weder in den technologischen Handbüchern (z. B. von B. Neumann, *ds. Ztschr. 26, 64* oder M. Vogtherr, *19, 253*) noch in Monographien (z. B. C. Forch *28, 231*) fand ich etwas darüber. Für alle genaueren Beobachtungen ist aber das Rad zweifellos der wichtigste Teil des ganzen Gasmessers, denn es gibt für die meisten Fragen die beste Auskunft. Die Teilung

weist 100 Teilstriche auf; nach einer Umdrehung sind aber „200 l“ verbraucht (richtige Eichung vorausgesetzt), so daß beim Fortrücken um 1 Teilstrich 2 l Gas verbraucht sind. Wie man an der Taschenuhr mit einer Lupe das Fortrücken des Minutenzeigers in jeder Sekunde erkennen kann — zumal wenn er sich bei einem Teilstrich vorbeibewegt —, so kann man hier, sobald nur Gas für 1 Flamme entnommen wird, mit wenigen Sekunden Geduld die Drehung des Rades verfolgen. Am Ziffernblatt der Einer ist dagegen das einzelne cbm in 10 Teile, mit recht eng gelegenen Teilstrichen geteilt, so daß immer nur 100 Liter abgelesen werden können.

Wieviel Liter Gas verbraucht eine einzelne Gasglühlichtflamme in 1 Stunde? Es genügen 2 Ablesungen am Index der Gasuhr, eine anfängliche, wenn alle Gasauslässe geschlossen sind — der Index weise ~ auf 56,5 (die Bruchteile lassen sich schätzen); dann entzündet man mit voller Minute, die man notiert, schließt den Hahn nach 10 Minuten und macht die zweite Ablesung — der Index weist auf 70,5. Es sind also in 10 Minuten 14 l Gas verbraucht, in 1 Minute also etwas weniger als 3 l (2,8), in 1 Stunde also 168 l. Der Gasverbrauch einer Gaslampe, und damit die Erzeugung von Kohlensäuregas und Wasserdampf, ist also etwa um die Hälfte größer als bei einer Bunsenflamme.

Wie kann man bei der einzelnen Gaslampe sparen? Eine Gaslampe wird fast allgemein so benutzt, daß man den Hahn ganz öffnet, entzündet und den Hahn voll geöffnet läßt. Man nimmt eben an, daß bei größter Gaszufuhr auch größte Helligkeit erzielt wird. Das trifft durchaus nicht immer zu. Vielmehr läßt sich sehr oft beobachten, daß beim langsamen Zurückdrehen des zuerst voll geöffneten Hahnes der Helligkeitsgrad ansteigt, bei manchen Lampen geradezu überraschend. Es kann also, was zuerst paradox klingt, die geringere Gasmenge den größeren Helligkeitsgrad ergeben. Es ist eben das richtige Mischungsverhältnis von Leuchtgas und Luft bzw. Sauerstoff maßgebend. Ist z. B. der Zug zu groß, so wird durch die Abkühlung das Temperatur- und damit das Helligkeitsoptimum überschritten. Oft genügt das Einengen oder Verschließen eines oder zweier Zuglöcher mittels Papier oder dergl. Daraus ergibt sich die Regel: Man öffne beim Entzünden den Hahn ganz, drehe aber gleich danach langsam zurück, bis größte Helligkeitssteigerung vorliegt; findet diese nicht statt, so kann man in vielen Fällen wenigstens einen stationären Helligkeitszustand beobachten, bis dauernde Abnahme eintritt. Also kurz: Entzünden, dann langsam bis zur beginnenden Verdunkelung zurückdrehen, dann wieder ein wenig, bis zur genügenden Helligkeit aufdrehen. Meist läßt sich ein ansehnlicher Sparwinkel, mitunter von ~ 45°, erzielen. Man kann die Ersparung am Index messend verfolgen; sie ergab nach dem geeigneten Zurückdrehen einen Verbrauch von 141,6 l, gegenüber den obigen 168 l, also eine Ersparnis von > 26 l je Stunde.

In ähnlicher Weise kann man am Gaskocher der Küche, nach Einfüllen von 1 l Wasser in den Wasserkessel, am Index und Einer-Zifferblatt praktisch-messend verfolgen, in welcher Zeit und mit welcher Gasmenge die bis zum Sieden nötige Kalorienmenge erzeugt wird — sei es bei voll oder nur teilweise, bis zu einer bestimmten Marke geöffnetem Gashahn. Beispiel: Ein 15strahliger Flammenkranz des Gaskochers brachte 1 l Wasser von 8,8° C (und zwar im Wasserkessel — auf das Gefäß kommt ziemlich viel an) in 13 Minuten zum Sieden. Der Index rückte in dieser Zeit von 118 bis 190 vor, also Gasverbrauch 72 l, je Minute etwa $6^2/_3$ l. Der Flammenkranz lieferte in dieser Zeit an das Wasser rund 91 Kalorien ab, d. h. er liefert je Minute 7 Kalorien. Das sollte analog in jedem Haushalt ermittelt und eine Art Küchenkonstante werden (die sparsame Hausfrau wird auch die Gasmenge von $6^2/_3$ l als solche ansehen), wenn sie auch entgegen dem Begriff gewissen Schwankungen unterworfen ist. — Daß derartige Versuche und Beobachtungen im Unterricht der Lyzeen von ganz besonderem Werte sind, bedarf wohl nicht näherer Ausführung. Besonders wird man eine ansehnliche Ersparnis bestätigen können,

wenn man nach anfänglichem vollen Aufdrehen und Entzünden etwas zurückgeht, so daß aber die Flammenmenge nur wenig verringert erscheint, während die Zeit bis zum Sieden nur wenig verlängert ist. Man wird auch sonst noch durch Beobachtungsaufgaben mancherlei nützliche Winke für die beste Ausnützung des Gases erteilen und auch nach der hygienischen Seite hin wirken können (Berechnung der erzeugten Kohlensäuregasmenge!).

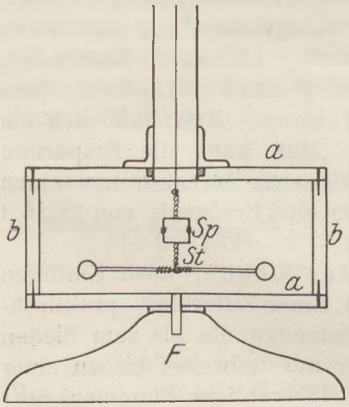
Es sei aber nochmals betont, daß es sich bei all diesen Versuchen nicht um die Ermittelung dauernd feststehender Größen handeln kann, sondern, sowohl infolge des zu den verschiedenen Zeiten des Tages stark schwankenden Gasdruckes wie auch wegen der sehr veränderlichen Zusammensetzung des Gases, nur um die Gewinnung durchschnittlicher Werte. Oft ist das aber gerade die Wirklichkeit. Die Überlegungen hierbei sind daher ebenso wichtig, wie die bei der exakten Ermittelung irgend einer Konstanten. Jedenfalls können wir hier durch die Schule dem Elternhause nennenswert zu Hilfe kommen, und die Versuche haben noch den Nebenvorteil, daß dabei die teuren, jetzt kaum erschwinglichen Reagentien nicht verbraucht werden.

Kleine Mitteilungen.

Herstellung einer Gravitationswage.

Von **P. Nickel** in Berlin.

In dieser Zeitschrift 33, 1920, S. 81 hat Herr L. Nagele einen Apparat zur Demonstration der Massenanziehung und zur Bestimmung der Gravitationskonstante beschrieben. Er verwendet zur Aufhängung seiner Drehwage einen 3 m langen 0,08 mm starken Kupferdraht, der die Handhabung des Apparates sicher umständlich macht. Seit langem war ich bestrebt, mir eine Gravitationswage mit möglichst einfachen Mitteln herzustellen. Kokonfäden, mit denen ich es versuchte, befriedigten nicht. Nun erhielt ich von der Drahtfabrik vorm. C. J. Vogel in Adlershof bei Berlin auf meine Bitte einige Meter blanken Kupfer- und Konstantandraht von 0,03 mm Stärke. Besonders der Konstantandraht erwies sich als sehr geeignet.



Der Apparat ist folgendermaßen zusammengesetzt: 4 Holzleisten (a 22 cm lang, 5 cm breit; b 12 cm lang, 3,5 cm breit) von 1,5 cm Stärke sind zu einem Rahmen zusammengefügt, der vorn und hinten durch einschiebbare Glasscheiben geschlossen werden kann. Der Rahmen ist auf den Fuß *F* einer alten Stehlampe geschraubt. Auf der Deckleiste kann mit 3 Schräubchen ein Glasrohr mit gutem Torsionskopf befestigt werden, das von einem Quadrantelektrometer entliehen ist, und sich leicht wieder dem alten Verwendungszweck zuführen läßt. In diesem Rohr hängt der Draht von 0,03 mm Stärke und 48 cm Länge. Er trägt die Drehwage, die aus einem 12 cm langen Holzstäbchen (Wurstspeil) mit 2 Messingkügelchen von ca. 9 g Gewicht (in größeren Eisenhandlungen erhältlich) besteht. Der Stiel *St* ist aus Kupferdraht von 0,3 mm Stärke geflochten, an ihm sitzt, mit angelöteten Drahtstücken festgebunden, ein Stück Spiegelglas *Sp*.

Der ganze Apparat kann auf das für Spiegelgalvanometer bestimmte Konsol im Experimentierzimmer gestellt werden, wo Beleuchtungseinrichtung und Skala (in 2,25 m Entfernung) vorhanden sind. Von der Decke des Zimmers hängt ein 5 kg schweres Bleigewicht herab, das freihändig dem Apparat nach Bedarf genähert wird.

Die Schwingungen der Drehwage wachsen bei Annäherung des Bleigewichts an eine Messingkugel um 2—3 Teilstriche (cm). Die Ausschläge können durch rhythmische Annäherung des Gewichts vergrößert werden[1]).

Eine einfache Einrichtung zur Vorführung des Wege-Parallelogramms.

Von **K. Hauschulz** in Potsdam.

Dem Verfasser stehen zwei hintereinander verschiebbare Wandtafeln zur Verfügung, die unabhängig voneinander beweglich sind. An der vorderen Tafel wird der aus drei Leisten von 4 cm × 1 cm zusammengestellte Rahmen *G H I K* (Fig. 1) mit 2 eisernen Schraubzwingen angeschraubt. Auf der mittleren, 1,25 m langen Leiste *H I* läuft ein Schlitten, der durch 4 aus elastischen Metallbändern hergestellte Federn *F* leicht gegen die Leiste gepreßt wird, so daß er einerseits in jeder Lage stehen bleibt, andererseits mit geringer Reibung verschiebbar ist. Der Schlitten (Fig. 2) trägt eine senkrecht zur Tafel stehende Metallhülse *S*, in der eine zweite, die Schreibkreide tragende Hülse beweglich ist, die durch eine Spiralfeder gegen die hintere Tafel gedrückt wird. Von einem Haken *L* am Schlitten führt eine Schnur über einen Messinghaken *I* am Gestell und 2 Haken *M* und *N* an der festen Seitenwange der Tafeln zu einem Haken *O* an der Unterseite der vorderen Tafel.

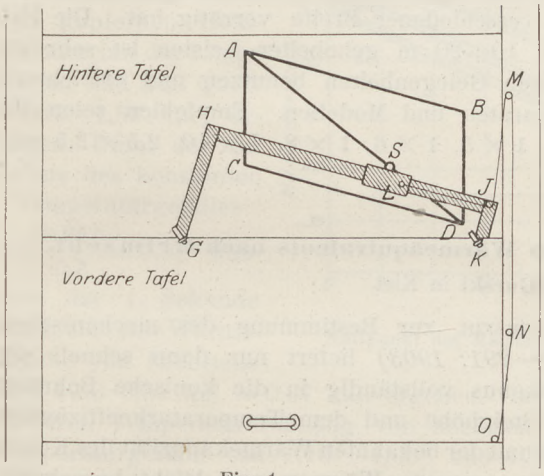


Fig. 1.

Die hintere Tafel wird während des Versuches nicht verschoben. Die vordere Tafel wird zunächst hoch ge-

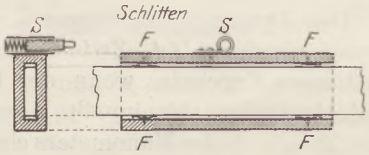


Fig. 2.

schoben, der Schlitten ganz nach links, so daß bei überall straffer Schnur der Schreibstift *S* auf *A* steht. Man läßt zunächst die Einzelwege durchlaufen, indem man bei unbewegter vorderer Tafel den Schlitten bis zum Anschlag nach rechts schiebt, so daß *S* die Strecke *A B* aufzeichnet. Hierbei wird die Schnur natürlich lose. Dann schiebt man bei feststehendem Schlitten die vordere Tafel nach unten, bis die Schnur wieder straff wird. *S* beschreibt hierbei die Strecke *B D*.

Beim Herabschieben der Tafel um den Weg *a* muß sich sowohl das Schnurstück *M I* als auch *N O* annähernd um *a* verlängern, d. h. *S* wird um 2 *a* weitergezogen, bewegt sich also doppelt so schnell wie die Tafel. Daher ist auch AB = 2 BD. Dieses durch Führung der Schnur über *M* bedingte Wegeverhältnis hat nur den Zweck, verschieden lange Wege in den beiden Richtungen und damit ein Parallelogramm von allgemeiner Form zu erzielen.

Nun bewegt man bei zurückgedrücktem Schreibstift die vordere Tafel wieder aufwärts und den Schlitten nach links, bis *S* auf *A* steht. Zieht man jetzt die vordere Tafel um dasselbe Stück abwärts wie vorher, so wird durch die Schnur gleichzeitig der Schlitten mit doppelter Geschwindigkeit nach rechts gezogen, und *S* beschreibt dann die Diagonale AD. Zum Schluß kann man durch Zurückschieben

[1]) Zusatz der Schriftleitung. Man vergleiche hierzu auch den Aufsatz von Th. Wulf in *ds. Zeitschr. 35, 153* (1922).

von S nach links die Seite DC und durch Aufwärtsschieben der Tafel die Seite CA des Parallelogramms erzeugen, so daß das ganze Parallelogramm vor den Augen der Schüler durch den Apparat aufgezeichnet worden ist.

Man kann dann noch zeigen, daß es gleichgültig ist, ob die Tafel und damit der Schlitten gleichförmig oder ungleichförmig bewegt werden. S durchläuft stets die Diagonale, wenn nur beide Bewegungen gleichartig erfolgen, was durch die Kopplung von Tafel und Schlitten durch die Schnur gewährleistet ist. Zum Schluß kann man noch 2 verschiedenartige Bewegungen zusammensetzen, indem man z. B. einen Schüler mittels der Schnur den Schlitten gleichförmig bewegen läßt, während man selbst die Tafel beschleunigt nach unten zieht. Nach einigen Vorübungen erhält man eine leidlich parabelähnliche Kurve.

Hat man 2 miteinander gekoppelte Tafeln, so kann man die Schnur von I unmittelbar nach N führen, wo sie befestigt wird. Bewegt man die vordere Tafel dann um a abwärts, so geht die hintere um a aufwärts, und es wird $AC = 2a$. Der Schlitten bewegt sich dabei nur um a. Da das Parallelogramm jetzt aufrecht steht, kann die mittlere Leiste kürzer genommen werden.

Die ganze Vorrichtung kann man sich ohne besondere Schwierigkeiten selber herstellen, besonders wenn man Leisten verschiedener Breite vorrätig hat. Die Beschaffung eines solchen Vorrats von je 10—20 m gehobelter Leisten ist sehr zu empfehlen. Sie lassen sich bei unzähligen Gelegenheiten benutzen und erleichtern außerordentlich die Herstellung von Apparaten und Modellen. Empfohlen seien die Querschnitte 1×1, 1×2, 1×3, 1×4, 1×5, 1×6, 1×8, 1×10, $2{,}5 \times 2{,}5$ cm.

Zur Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents nach Grimsehl.

Von Dr. V. Gurski in Kiel.

Der Demonstrationsapparat von Grimsehl zur Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents *(d. Zeitschr. 16, 290—291; 1903)* liefert nur dann schnell ein brauchbares Ergebnis, wenn der Kupferkonus vollständig in die konische Bohrung des Hohlzylinders hineinpaßt. Aus der Steighöhe und dem Temperaturkoeffizienten des Manometers einerseits und der bekannten Wärmekapazität des Konus andererseits läßt sich die erzeugte Wärmemenge leicht berechnen.

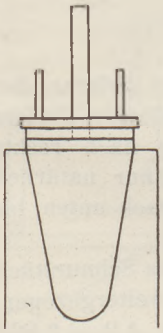


Fig. 1.

Wenn dagegen der Kupferkonus über die Bohrung hinausragt, kann die maximale Steighöhe des Manometers nicht in die Rechnung eingesetzt werden; denn es vergeht eine gewisse Zeit, bis sich der Konus im Temperaturgleichgewicht befindet. Wie alsdann der Versuch auszuführen ist, soll im folgenden gezeigt werden.

Der uns zur Verfügung stehende Apparat besitzt einen Kupferkonus von 82 g Gewicht und 1 mm Wandstärke, der auf eine 203 g schwere, 1 cm dicke zylindrische Doppelplatte aus Messing hinaufgetrieben ist. Der 1 cm lange zylindrische Teil des Konus ragt über den Holzzylinder hinaus (s. Fig. 1). Der Wasserwert des Körpers beträgt 25,74 kal.

Damit der ganze Metallkörper die gleiche Temperatur annimmt, muß sich die entstandene Reibungswärme auf seine beiden Teile, den Konus und den Deckel, nach dem Verhältnis der Wasserwerte derselben, also wie 3 : 7 verteilen. Beispielsweise gehen, von Verlusten abgesehen, von 13,2 kal. Wärmemenge (Versuche 3 und 4) rund 4 kal. in den kupfernen und 9,2 kal. in den messingnen Bestandteil. Der Transport geschieht hauptsächlich durch metallische Leitung, die Wärmeströmung im Innern des Konus kann wegen der geringen Luftmasse vernachlässigt werden. Da die geriebene Konusfläche 100 cm² groß ist und das absolute Wärmeleitungsvermögen des Kupfers 0,85 kal. beträgt, kann mit Sicherheit angenommen werden, daß die

erzeugte Wärmemenge in einem sehr kleinen Bruchteil einer Sekunde in den vom Holzzylinder umschlossenen Teil des Konus eindringt. Am Manometer beobachtet man ein schnelles Ansteigen der Flüssigkeitssäule. Dennoch ist der maximale Manometerstand für die Berechnung nicht zu gebrauchen. Die Ausführung eines Versuches erfordert nämlich durchschnittlich 4 Sekunden Zeit, so daß beim Erreichen des höchsten Manometerstandes bereits ein Teil der Wärmemenge in den nicht geriebenen Teil des Metallkörpers fortgeleitet worden ist.

Die rechnerische Verfolgung dieser Wärmeleitung ist äußerst schwierig. Es genügt aber die Kenntnis der ungefähren Größe der fortgeleiteten Wärmemenge. Man gewinnt sie durch Schätzung. Zu diesem Zwecke nimmt man an, daß von jenen 13,2 kal., erzeugt durch gleichförmiges Hinabsinken des Fallgewichts, in jeder der 4 Sekunden gerade ein Viertel entstehen möge. Der Konus erfährt dann während der 1. Sekunde eine mittlere Temperaturerhöhung von höchstens 0,26° C (sie wäre genau 0,26° C, wenn in der 1. Sekunde keine Wärmemenge fortgeleitet werden würde). Die Wärmeleitung zum Messingdeckel hin muß durch den kupfernen Hohlzylinder mit der Länge 0,5 cm und dem Querschnitt 1,53 cm² erfolgen. Unter der Annahme des konstanten Temperaturgefälles von $\frac{0{,}26^0}{0{,}5} = 0{,}52^0$ während der 1. Sekunde würde sich eine Wärmeabgabe von höchstens $0{,}85 \cdot 1{,}53 \cdot 0{,}52$ kal. = 0,67 kal. ergeben. In der 2., 3. und 4. Sekunde ist mit einer mittleren Temperaturerhöhung von höchstens 0,60°; 0,91° und 1,17° C und einem Temperaturgefälle von 1,10°; 1,60° und 1,92° C zu rechnen, so daß die Wärmeabgabe höchstens 1,43; 2,08 und 2,49 kal. beträgt. Hiernach werden während der ersten 4 Sekunden höchstens 6,7 kal. fortgeleitet; im Konus sind mindestens 6,5 kal. verblieben. Dementsprechend besitzen Konus und Deckel die durchschnittlichen Temperaturerhöhungen von 0,9 und 0,4° C. Auch die Versuche lehren, daß sich der Wärmeaustausch zu diesem Zeitpunkte noch nicht ganz vollzogen hat. Denn bei Benutzung des nach 4 Sekunden erreichten Manometerstandes, dem eine zwischen 0,9° und 0,4°, näher an 0,9° C liegenden Temperaturerhöhung der in starker Strömung befindlichen Luftmasse entspricht, bekommt man stets einen um 25% zu kleinen Wert für das mechanische Wärmeäquivalent.

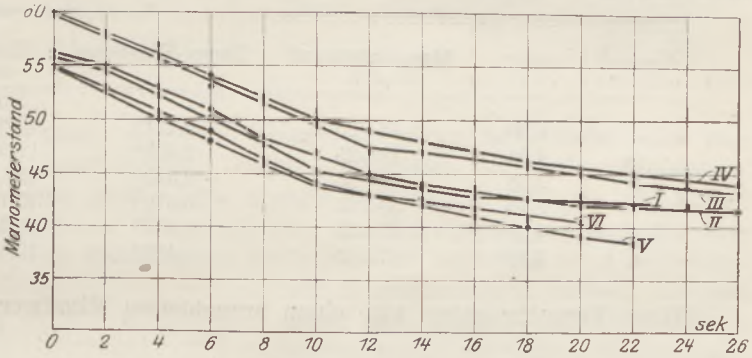


Fig. 2.
Nullpunkt des Manometers bei 25, Temperaturkoeffizient 0,0183° C.

Eine der vorstehenden ähnliche Schätzung führt weiterhin zu dem Ergebnis, daß der Temperaturunterschied des Konus und des Deckels nach weiteren 10 Sekunden für die Messung unmerkbar wird.

Darauf deutet auch die graphische Darstellung (s. Fig. 2), die uns den Abfall der Manometersäule von Sekunde zu Sekunde nach Erreichen ihres höchsten Standes veranschaulicht.

Man erkennt daraus deutlich, daß zwei verschiedene Vorgänge an dem Wärmeausgleich beteiligt sind. Der schnelle Temperaturabfall innerhalb der ersten 10 Sekunden wird durch den Wärmeaustausch zwischen Konus, Deckel und Luftmasse erklärt, das langsamere Sinken der Manometersäule späterhin durch Ausstrahlung von Wärme an die Umgebung. Von größter Bedeutung ist, daß man aus den Abklingungskurven denjenigen Manometerstand findet, für den Temperaturgleichgewicht

vorhanden ist. Benutzt man die Ordinaten der Knickstellen, so ergeben sich die Werte folgender Tabelle:

Versuch	mkg	Manometerstand	Temp.-Erhöhung	Erzeugt	Äquivalent
1	4,90	45—25	0,366°	9,42 kal.	519 kal.
2	4,95	46—25	0,384°	9,89 „	500 „
3	5,68	50—25	0,457°	11,77 „	482 „
4	5,70	50—25	0,457°	11,77 „	484 „
5	4,38	44—25	0,348°	8,95 „	489 „
6	4,40	44—25	0,348°	8,95 „	491 „

Berücksichtigt man außerdem, daß das Manometer infolge Strahlungsverlustes in 10 Sekunden um 3 Striche sinkt, so erhält man unter Annahme desselben Verlustes auch innerhalb der ersten 10 Sekunden die Tabelle:

Versuch	mkg	Manometerstand	Temp.-Erhöhung	Erzeugt	Äquivalent
1	4,90	48—25	0,421°	10,84 kal.	453 kal.
2	4,95	49—25	0,439°	11,30 „	438 „
3	5,68	53—25	0,512°	13,18 „	431 „
4	5,70	53—25	0,512°	13,18 „	432 „
5	4,38	47—25	0,402°	10,36 „	423 „
6	4,40	47—25	0,402°	10,36 „	424 „

Diese Versuche geben also einen brauchbaren Mittelwert, 433 kal.

Die Verwendung der Glimmlichtlampe als Detektor.

Von F. Luchsinger in Zürich.

Auf die Verwendbarkeit der Glimmlichtlampe zu Versuchen über die Resonanz elektrischer Schwingungen ist bereits von L. Bergmann in dieser Zeitschr. 35, 165 hingewiesen worden. Im folgenden soll noch eine Ergänzung dazu geliefert werden.

Zu den Versuchen diente eine Glimmlampe der J. Pintsch A. G. in der Ausführungsform, die für den Betrieb mit Gleichstrom geliefert wird (Fig. 2 bei L. Bergmann a. a. O.). Der im Fuße der Lampe befindliche hohe Widerstand, der bei einer allfälligen Bogenentladung in der Lampe ein zu starkes Anwachsen der Stromstärke und mithin ein Verdampfen der Elektroden verhindern soll, wird für den vorliegenden Zweck am besten entfernt. Um die Lampe als Spannungsindikator bei einem Resonanzwellenmesser zu verwenden, schaltet man sie, wie ebenfalls a. a. O. bereits angegeben, parallel zu dem Drehkondensator, sie zeigt dann nach Erreichung von Spannungsresonanz diese durch helles Aufleuchten an. Auch ist es mittels des Gleichrichtungseffekts der Glimmlampe möglich, die Hochfrequenzenergie des Schwingungskreises in Gleichstrom zu verwandeln und mit Hilfe eines Gleichstrominstrumentes zu messen. Im Falle des Wellenmessers ist man dann in der Lage auf diese Weise für die einzelnen Kondensatoreinstellungen die Stromstärke zu bestimmen, was zur punktweisen Ermittlung der Resonanzkurven dienen kann.

Wir wollen nun die Resonanz zweier aufeinander abgestimmter Schwingungskreise *I* und *II* (Fig. 1) untersuchen, die miteinander durch induktive Kopplung verbunden sind. Es sei *T* ein Hochspannungstransformator (Induktorium), der unter Zwischenschaltung einer variablen Drosselspule *D* von dem Wechselstromgenerator *G* gespeist wird. Die Sekundärspule von *T* ist mit der Erregerfunkenstrecke *F* des

Schwingungskreises I verbunden, der aus der Kapazität C_1 und der Selbstinduktion L_1 besteht. Der Schwingungskreis II ist durch L_1 und L_2 mit I induktiv gekoppelt. L_1 und L_2 sind zwei Drahtspulen, die ineinander verschoben werden können, was einer Veränderung der aufeinander einwirkenden Windungszahlen entspricht. Die Kapazität vom Schwingungskreis II sei C_2. In loser Kopplung, damit eine Beeinflussung nicht stattfinden kann, befindet sich der Meßkreis *M.K.* mit der Meßspule *Sp.* und dem Drehkondensator *D.K.* Parallel zu diesem ist die Glimmlampe *Gl.* und das Milliampèremeter J geschaltet.

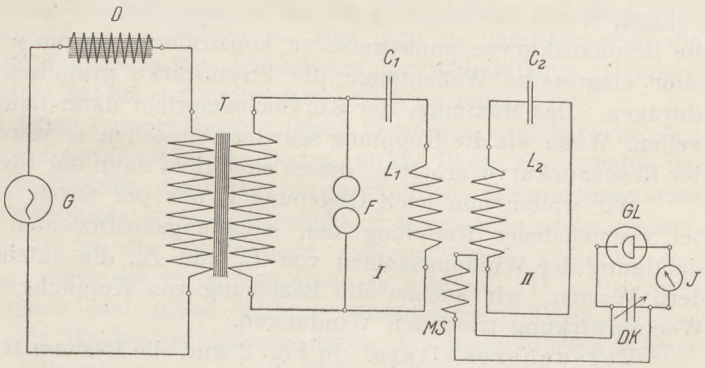


Fig. 1.

Die im Kreise I hervorgerufenen Schwingungen wirken nun auf den Kreis II ein, jedoch besteht diese Wirkung nicht nur in einer Richtung, sondern wie sich theoretisch zeigen läßt, findet auch eine Rückwirkung von Kreis II auf I statt. Dadurch entstehen die beiden Kopplungswellen, von denen die eine größer, die andere aber kleiner ist, als die Eigenschwingung des ganzen Systems. Wenn wir also den Schwingungszustand mit dem Meßkreis untersuchen, dessen Meßspule von Kreis I und II beeinflußt wird, so müssen wir Resonanzkurven finden, die sich durch zwei Maxima, entsprechend den beiden Kopplungswellen, auszeichnen. Die Lage dieser Maxima ist abhängig von dem Grade der Kopplung, d. h. mit

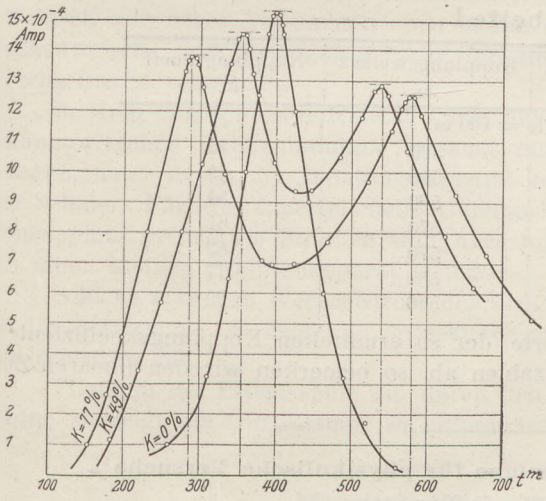


Fig. 2.

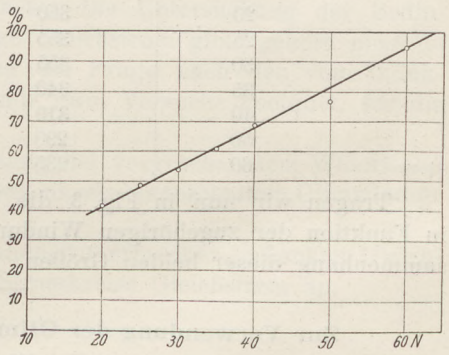


Fig. 3.

wachsender Kopplung, wenn also immer mehr Windungen von L_1 auf L_2 einwirken, rücken die beiden Kopplungswellen immer weiter auseinander. Wenn nun λ_1 und λ_2 die beiden durch den Meßkreis feststellbaren Kopplungswellen bedeuten, und λ_0 die Eigenschwingung des Systems, so ist der Kopplungskoeffizient K gegeben durch:

$$K = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_0} \cdot 100 \quad \%$$ 1)

Die Bestimmung der beiden Kopplungswellen λ_1 und λ_2 geschieht in der Weise, daß man sich zuerst eine Eichkurve des Drehkondensators in Wellenlängen herstellt. Man berechnet aus verschiedenen Kapazitätseinstellungen und der Selbstinduktion

der Meßspule (aus den Dimensionen derselben ermittelt) die zugehörigen Wellenlängen nach der Formel von Thomson:

$$\lambda^{m} = \frac{2\pi}{100} \cdot \sqrt{C^{cm} \cdot L^{cm}}.$$

Wenn wir nun für unsern Fall, für beliebige Kondensatoreinstellungen die jeweiligen Werte der Stromstärke am Milliampèremeter ablesen, sind wir in der Lage die Resonanzkurven punktweise zu konstruieren, indem wir für jede am Drehkondensator eingestellte Wellenlänge die Stromstärke graphisch in Funktion der ersteren abtragen. Das Maximum der Kurven entspricht dann immer je einer der Kopplungswellen. Wenn wir die Kopplung sehr lose einstellen, so werden wir nur ein Maximum in der Resonanzkurve erhalten, dieses entspricht dann der Eigenschwingung des Systems.

Wir wollen nun nach Gleichung 1) aus der Größe der beiden Kopplungswellen bei verschiedener Kopplung den Kopplungskoeffizienten berechnen, unter Berücksichtigung der Windungszahlen von L_1 und L_2, die aufeinander einwirken. Mit andern Worten, wir suchen die Beziehung von Kopplungskoeffizient und Zahl der in Wechselwirkung tretenden Windungen.

Versuchsresultate. In Fig. 2 sind die Resonanzkurven für die verschiedenen Kopplungskoeffizienten gezeichnet, wir finden tatsächlich, daß mit wachsender Kopplung die beiden Kopplungswellen immer weiter auseinander rücken.

Wir sehen auch, daß wir bei extrem loser Kopplung ($K = 0\,^0/_0$) eine Resonanzkurve mit nur einem Maximum, entsprechend der Eigenwellenlänge von $\lambda_0 = 400$ m erhalten. Um in Fig. 2 die Übersicht nicht zu stören, sind die Kopplungskoeffizienten nebst den beiden Kopplungswellen in Funktion der aufeinander wirkenden Windungszahlen von L_1 und L_2 in Tabelle I dargestellt.

Tabelle I.

Windungszahl N.	Kopplungswelle 1 λ_1	Kopplungswelle 2 λ_2	Kopplungskoeff. $K\,^0/_0$
—	Eigenwelle = 400 m.		0
20	360	520	42
25	355	540	49
30	355	560	54
35	340	570	61
40	310	570	69
50	290	580	77
60	235	590	95

Tragen wir nun in Fig. 3 die Werte der so ermittelten Kopplungskoeffizienten in Funktion der zugehörigen Windungszahlen ab, so bemerken wir den linearen Zusammenhang dieser beiden Größen.

Zur Verwendung der Glimmlampe für physikalische Versuche[1]).

Von W. Möller in Neustettin.

1. Ähnlich wie beim Gleichstrom als Polsucherlampe leistet die Glimmlampe auch vorzügliche Dienste als Prüflampe beim Wechselstrom zur Erkennung des Phasenleiters und des Nulleiters. Jede beliebige Form der Glimmlampe ist hierzu verwendbar.

Legt man den Boden des Lampenkörpers an die Phase (220 Volt) und berührt das Gewinde mit den Fingern, so genügt der schwache über die Lampe durch den menschlichen Körper, Fußboden usw. zur Erde abfließende Strom, um ein schwaches Glimmlicht zu erzeugen. Bei so außerordentlich schwachen Strömen beginnt das Leuchten an denjenigen Stellen, an denen sich die Glimmflächenträger am nächsten liegen. Die physiologische Wirkung des Wechselstromes ist dabei gar nicht zu spüren. Berührt man, um eine bessere Erdung zu haben, die Wasserleitung oder die

[1]) Vergl. den Aufsatz von L. Bergmann-Gießen in dieser Zeitschrift. 1922. Heft 4.

Gasleitung, dann leuchtet die Glimmlampe vollständig auf. Dabei ist natürlich auch die physiologische Wirkung merkbar aber in durchaus erträglichen Grenzen. Ist dagegen die Lampe an den Nulleiter gelegt, so bleiben die beschriebenen Erscheinungen aus.

Der Versuch ist auch an jeder Steckdose leicht ausführbar. Man braucht nur ein Taschenmesser in die Steckdose hineinzustecken, die Glimmlampe auf die Klinge zu setzen und das Lampengewinde zu berühren. Hat man in der Steckdose die Phase gefaßt, so ist wieder das schwache Aufleuchten der Glimmlampe sichtbar. Hat man dagegen den Nulleiter gefaßt, so bleibt dies Leuchten aus.

Ähnlich kann man bei jeder Lampenfassung leicht feststellen, welcher von den beiden Teilen der Fassung, das Gewinde oder der Boden, an die Phase angeschaltet ist.

2. Viele Schullaboratorien werden nicht über so empfindliche Strommeßapparate verfügen, um durch große Widerstände stark geschwächte Stromstärken nachzuweisen.

Gerade für solche Zwecke ist die Glimmlampe außerordentlich geeignet, vor einem großen Auditorium so schwache Ströme sichtbar zu machen. U. a. ist auch der unter 1. angegebene Versuch nach dieser Richtung auszuwerten. Denn auf den schwachen Strom, der von der Wechselstromphase durch den menschlichen Körper zur Erde geht, reagiert die Glimmlampe so empfindlich, daß ihr Leuchten bei verdunkelten Fenstern von den entferntesten Plätzen sofort gesehen wird.

Der von der Dr. Erich F. Huth-Gesellschaft für Funkentelegraphie an einige Schulen ausgegebene Versuchsapparat zur Demonstration der elektrischen Anziehung nach Johnsen-Rahbek[1]) besteht aus einer Metallplatte und einer Platte aus Lithographenschiefer. Die eine Seite der Steinplatte trägt eine Stanniolbelegung für die Stromzuführung. Bei einer Stromquelle von 220 Volt fließt von der Metallplatte durch den Stein ein Strom von der Größenordnung 10^{-6} Ampere. Selbst dieser Strom ist durch schwaches Aufleuchten einer in den Kreis eingeschalteten Glimmlampe leicht nachzuweisen; und gleichgültig bleibt für diesen Versuch, ob man Gleichstrom oder Wechselstrom verwendet.

3. Kein Schulphysikunterricht kann auf die komplizierten Verhältnisse in dem Ruhmkorffschen Funkeninduktor genauer eingehen. Die Untersuchung der Bedingungen, unter denen der Induktionsapparat reinen Gleichstrom gibt, gehört nicht in die Schule. Für die experimentelle Untersuchung der Frage nach den vom Induktionsapparat gelieferten Strömen sind aber folgende zwei Versuche geeignet, für die ich einen kleinen Schlittenapparat benutzte.

Schickt man den Wechselstrom der Lichtleitung bei vorgeschaltetem Widerstand in die Primärspule, so zeigt die im sekundären Stromkreis eingeschaltete Glimmlampe Wechselstrom an.

Fließt in der Primärspule ein durch den Hammerunterbrecher zerhackter Gleichstrom, so zeigt die Glimmlampe im sekundären Stromkreise Gleichstrom an.

Modell des Prismenfernrohres[2]).

Von **Hans Kellermann**, Bürgerschuldirektor in Wien.

Das Modell soll veranschaulichen, wie aus dem astronomischen Fernrohr durch einfache Faltung des Strahlenganges das Prismenfernrohr entsteht. Dem Schüler soll dabei: 1. Die Verkürzung des Fernrohres, 2. Die Aufrichtung des Bildes und 3. die Verschiebung der Okularlinse aus der optischen Achse der Objektivlinse greifbar klar werden. Natürlich ist diese Veranschaulichung für den elementaren Naturlehreunterricht gedacht.

Die Anfertigung geschieht in folgender Weise. Die Objektivlinse L, die Okularlinse L_1 und der Strahlengang im astronomischen Fernrohr werden, wie die

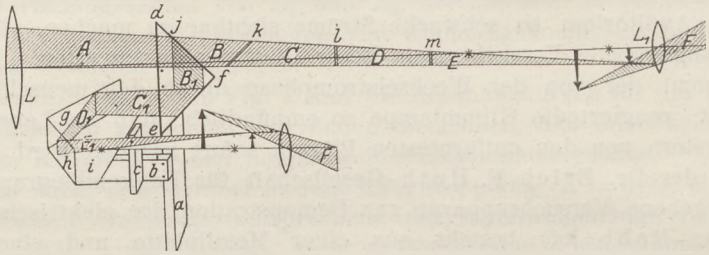
[1]) Vergl. diese Zeitschrift. 1922. Heft 1. S. 39 ff.

[2]) Nach einem Vortrage des Verfassers im Wiener „Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichtes“.

Figur es zeigt, auf starker Pappe in Farbe auch auf der Rückseite ausgeführt und die Zeichnung sodann nach ihren äußeren Begrenzungslinien ausgeschnitten. Das Dreieck *def*, das das eine Prisma veranschaulicht, kann dieser Zeichnung schon eingefügt werden.

Die Holzleiste *a*, auf die nun das Dreieck *def* und damit der ganze Kartonstreifen aufgenagelt wird, dient als Griff. An ihr werden noch die Leisten *b* und *c* befestigt. Auf *b* wird ein Stück Pappe *i* genagelt, an dessen Rändern die Glasstreifen *g* und *h* mit Papierstreifen festgeklebt werden. Die beiden Glasstücke schließen einen rechten Winkel ein und veranschaulichen das zweite Prisma des Fernrohres.

Nun beginnt das Falten des Strahlenganges. Bei *j* längs der Kante des ersten Prismas wird der Strahlengang durchschnitten, und die Schnittstelle mit einem Stück



Buchbinderleinwand unterklebt. Nun läßt sich Stück *B* des Strahlenganges nach B_1 umklappen. *k* ist die zweite Schnitt- und Faltstelle, sie ergibt sich längs der zweiten Kante des Prismas und man kann nun *C* nach C_1 biegen. An die Glasstücke *g* und *h* kommen die Faltstellen *l* und *m* zu liegen. Mit einem Drahtstift wird noch das Strahlenstück E_1 an der Leiste *c* festgesteckt und damit ist die Umwandlung des alten, durch seine Länge unhandlichen und überdies umgekehrte Bilder gebenden astronomischen Fernrohres in das verkürzte und aufrechte Bilder liefernde moderne Prismenfernrohr vollzogen. In Wirklichkeit wird bei den Strahlen, die die Prismenflächen nicht normal durchsetzen, noch eine geringfügige Brechung eintreten, diese ist vernachlässigt.

Fürs Merkheft zeichnen die Schüler den Strahlengang des astronomischen Fernrohres und das erste Prisma auf einen längeren Streifen Papier, führen die Strahlenbündel nach Ausschneiden der Zeichnung beiderseits farbig aus und kleben die Figur mit dem Strahlenteil *A* im Merkheft fest. Durch einfaches Falten bei *j*, *k*, *l* und *m* sind sie jederzeit in der Lage, sich den Vorgang zu vergegenwärtigen.

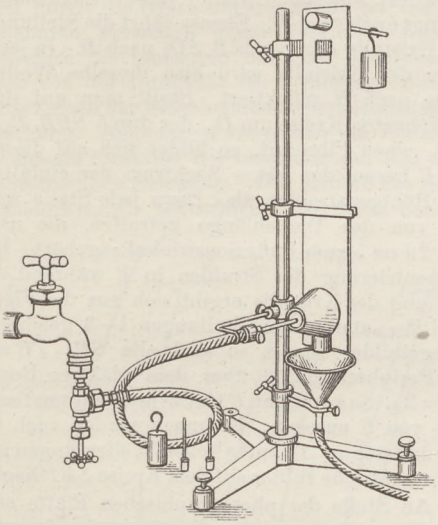
Für die Praxis.

Versuch zur Ionenwanderung. Von Dr. **O. Nothdurft** in Danzig. In eine nicht zu weiche Pellkartoffel wird an zwei einander gegenüberliegenden Stellen je eine kleine Platinelektrode eingestochen. Mit dem Korkbohrer wird ein Loch in der Richtung auf die Elektrodenverbindungslinie hin bis zur halben Dicke der Kartoffel gebohrt und mit Jodkaliumlösung gefüllt. Legt man nun eine Spannung von 4 bis 6 Volt 10 Minuten an die Elektroden, so findet man nach dem Durchschneiden der Kartoffel die Einstichstelle der Anode mit einem Rande von blauer Jodstärke umgeben. Der Versuch ist für Wiederholungszwecke besonders im chemischen Unterricht zu empfehlen. Als negative Elektrode kann man auch ein Stückchen blankes Weißblech, als Anode eine Bleistiftmine benützen. — Ich fand den Versuch im Prinzip beschrieben in der Elektrotherapie von J. Kowarschick als „Versuch von Schatzky". In der mir zugänglichen pädagogischen Fachliteratur habe ich ihn nicht finden können.

Berichte.

1. *Apparate und Versuche.*

Eine Impulswage. Unter diesem Namen beschreibt JOHN MEAD ADAMS in *School Science and Mathematics*, vol XXII, Nr. 8 (Nov. 1922) den folgenden Apparat. An eine Messingplatte von $^1/_{10}''$ Dicke, 15″ Länge und $2^1/_2''$ Breite ist nahe dem unteren Ende ein Trichter aus Messingblech von 2″ Durchmesser angelötet, der an der offenen engeren Seite ein kurzes Eintrittsrohr und an seiner Unterseite eine Austrittsöffnung hat. Nahe dem oberen Ende der Platte ist durch eine rechteckige Öffnung eine Tragleiste geführt, auf der



die Platte mit dem schneidenförmig gestalteten oberen Rande der Öffnung ruht; darüber ist ein festes Gegengewicht angebracht, sowie ein Arm mit einem zweiten verstellbaren Gegengewicht. Ist letzteres nicht benutzt, so hängt die Platte mit ihrer Schneide vertikal auf der Tragleiste; ihre Schwingungen werden durch die Zinken einer Hemmungsgabel in engen Grenzen gehalten. Ein dünner schnell fließender Wasserstrahl, durch ein „Nadelventil“ (spitz-konisches Ventil) reguliert, strömt aus einer genau zylindrischen Düse in den Trichter, stößt senkrecht gegen die Platte und fließt nach völligem Verlust seiner horizontalen Geschwindigkeit durch den Auslaß des Trichters ab. Aus dem Durchmesser der Düse und der Menge des abfließenden Wassers ergibt sich die Geschwindigkeit des Wassers, sowie das Bewegungsmoment m v. Wird das Ventil weiter geöffnet, so wächst nicht nur die Menge m, sondern auch die Geschwindigkeit v des ausströmenden Wassers. Will man den Einfluß beider Größen getrennt feststellen, so muß man so verfahren, daß nur eine dieser Größen sich ändert; man wendet nacheinander drei verschieden weite Düsen an, stellt die Versuche auf gleiche Ausflußmengen m ein und findet so die Proportionalität der ausgeübten Stoßkraft mit der Geschwindigkeit v; wählt man andererseits bei den Versuchen die Geschwindigkeit gleich groß, so ergibt sich die Proportionalität mit der Masse pro Zeiteinheit, $\frac{m}{t}$; aus beiden zusammen folgt die Stoßkraft $f = m\,v/t$.

Bei der Ausführung der Versuche ist auf Folgendes zu achten. Der Auffangtrichter muß unmittelbar unter der Vorrichtung mit nur etwa 1 Zoll Zwischenraum angebracht sein. Der Ableitungsschlauch muß nicht zu lang, nicht zu eng und nicht gewunden sein, damit keine Stauung und kein Spritzen eintritt. Das Düsenrohr muß mit größter Sorgfalt senkrecht zur Platte und gegen die Mitte der Grundfläche gerichtet sein. Der Wasserstrahl muß vollkommen zylindrisch sein, ohne zu verspritzen. Man läßt die Platte zunächst leicht an der vorderen Zinke der Gabel anliegen und bringt sie durch geringes Anziehen des Ventils zum Freischweben; auch während eines Versuchs muß der Beobachter gewisse Schwankungen des Wasserdruckes durch Regulieren am Ventil ausgleichen.

Der Apparat kann auch durch Vermittlung der oben angegebenen Gleichung zu einer Bestimmung der Fallbeschleunigung g dienen. Doch sind die Ergebnisse einer solchen Messung nicht mitgeteilt. Eine ähnliche Vorrichtung, bei der ein Wasserstrahl gegen eine senkrecht hängende Scheibe stößt, hat O. Reichel in dieser Zeitschrift IV 290 beschrieben. *P.*

2. *Forschungen und Ergebnisse.*

Neuere Forschungen über das kontinuierliche Röntgenspektrum. Von A. WENZEL, Brandenburg a. H. An jeder Stelle der Antikathode einer Röntgenröhre, die von einem Kathodenstrahlenelektron getroffen wird, entstehen 2 Arten von Röntgenstrahlen, die sog. „Bremsstrahlung“ und die „Fluoreszenz“ oder „charakteristische Strahlung“ des Antikathodenmaterials. Vergleicht man das Aufprallen des Elektrons auf die Antikathode mit dem Schlag des Hammers gegen eine Glocke, so wäre die Bremsstrahlung dem Knall des Anschlags analog, der vielerlei Töne enthält, die Fluoreszenzstrahlung aber entspräche dem Eigentone der Glocke.

Die Bremsstrahlung stellt ein kontinuierliches Spektrum dar. Sie ist sicherlich um so stärker, je größer die Geschwindigkeit der gebremsten Elektronen ist. Bekannt war auch schon bald nach der Entdeckung der Röntgenstrahlen, daß die Härte der Strahlung, d. h. ihre Fähigkeit, die Stoffe zu durchdringen, mit der Geschwindigkeit der Kathodenstrahlen zunimmt. Man vermutete auch, daß die Röntgenstrahlung elektromagnetischer Natur und ihre Härte mit der Frequenz der Wellenstrahlung identisch sei. Ihre transversale Wellennatur wurde dann 1911/12 durch die klassischen Beugungsversuche von Laue, Friedrich und Knipping bewiesen, nachdem

schon vorher an Keilspaltaufnahmen mit Röntgenstrahlen von Walter u. Pohl und P. P. Koch (1) die Beugung derselben nachgewiesen war. W. H. und W. L. Bragg (2) gelang dann die Trennung des allgemeinen kontinuierlichen Röntgenspektrums von der charakteristischen Linienemission durch Umwandlung der Laueschen Durchstrahlungs- in eine Reflexionsmethode. Das Linienspektrum der Röntgenstrahlen ist seitdem eifrig und erfolgreich erforscht worden (3), worüber hier auch früher berichtet wurde. Doch auch die Kenntnis des kontinuierlichen Röntgenspektrums ist neuerdings wesentlich gefördert worden.

Der sichere experimentelle Beweis für die Existenz des kontinuierlichen Röntgenstrahlenspektrums wurde von M. de Broglie (4), Moseley (5) und Darwin (5) erbracht. Sie verwen-

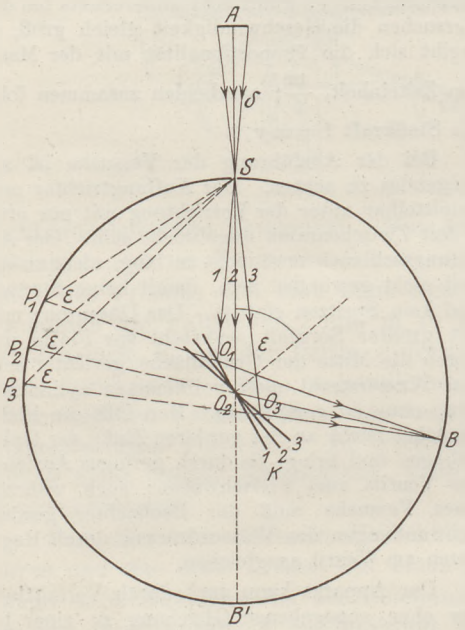


Fig. 1.

deten noch inhomogene Kathodenstrahlen, d. h. solche verschiedenster Geschwindigkeiten, während es erst E. Wagner (6) gelang, das kontinuierliche Spektrum auch bei Anwendung homogener Kathodenstrahlen nachzuweisen. Es galt nun die Energieverteilung in diesem Spektrum sowie ihre Beziehung zur Spannung, die an die Röhre gelegt ist, und zur Ionisation aufzudecken. Hierzu waren exakte Wellenlängen- und Spannungsmessungen unbedingt erforderlich.

Die Wellenlängenmessungen werden nach der Braggschen Reflexionsmethode ausgeführt. Ist d der halbe Abstand gleichartiger Ionen eines Kristallgitters, die sog. Gitterkonstante, α der zum Reflexionsmaximum gehörige „Glanzwinkel", λ die Wellenlänge, so ist (vgl. 3) $2d \sin \alpha = n\lambda$, worin n wie in der Optik des Beugungsgitters die Ordnungszahl des Spektrums bedeutet. Die Messung des Glanzwinkels setzt einen Kristall ohne jegliche Strukturfehler voraus. Um etwa vorhandene Strukturunregelmäßigkeiten auszuschalten, verwenden Bragg und M. de Broglie (4) die Methode des Drehkristalls, wie sie in Fig. 1 schematisch skizziert ist (7). Fällt ein Röntgenstrahlenbündel von kleiner Öffnung δ (Strahl 2) von der Antikathode A durch den Spalt S auf die Kristallplatte K unter dem Winkel ε, so wird es unter dem gleichen Winkel reflektiert nach B, sofern es die Wellenlänge $\lambda = 2d \sin \varepsilon$ hat. Der Punkt B ist also von der Wellenlänge abhängig. Wird der Kristall nun in die Lage 1 gedreht, so wird die gleiche Wellenlänge vom Punkte O_1 unter demselben Winkel ε reflektiert und der Strahl 1 dieser Wellenlänge gelangt auch nach B. Ebenso führt die Stellung 3 des Kristalls den Strahl 3 SO_3 nach B. In jeder Lage des Kristalls wird also dieselbe Wellenlänge nach B reflektiert. Stellt man auf dem gezeichneten Kreise um O_2, der durch SBB, $P_{1,2,3}$ geht, einen Film auf, so bildet sich auf diesem um B herum das ganze Spektrum der einfallenden Röntgenstrahlen ab. Denn jede Stelle wird nur von der Wellenlänge getroffen, die nach $\lambda = 2d \sin \varepsilon$ zum Reflexionswinkel ε gehört. Die Konzentrierung der Strahlen in B während der Drehung des Kristalls ergibt sich aus der Figur. Sind $P_{1,2,3}$ die zu den Stellungen 1—3 gehörigen Spiegelbilder von S, so sind alle $SP_{1,2,3}B = \varepsilon$ als Peripheriewinkel über dem gleichen Bogen $SB = 2\varepsilon$. So kann man B als das monochromatische Bild von S ansehen. Demnach werden auch für alle anderen in AS enthaltenen Wellenlängen monochromatische Bilder auf dem Kreise SBP liegen.

An Stelle der photographischen Platte oder des Films kann auch die Ionisationskammer treten. Denn den Photographien des Röntgenspektrums ist nur in beschränktem Umfange Bedeutung beizumessen, da die selektive Absorption des Ag und Br in der Bromsilberschicht das kontinuierliche Spektrum überlagert. In der Ionisationskammer läuft der Röntgenstrahl zwischen einer geladenen und einer mit einem empfindlichen Elektrometer verbundenen ungeladenen Platte hindurch und ionisiert die Luft, deren Leitfähigkeit gemessen wird. Für sehr exakte Messungen, wie sie Duane und Hunt (8), Hull und Rice (9), Webster (10), E. Wagner (11), H. Seemann (12) u. a. ausführten, wird das Spektrometer evakuiert, um die Absorption in der Luft zu vermeiden. Hierbei muß dann zwischen dem evakuierten Spektrometer und der luftgefüllten Ionisationskammer eine dünne Aluminiumfolie eingeschaltet werden, deren Absorptionsgrad genau bekannt ist.

Solange man mit den früher üblichen Hilfsmitteln der Röntgentechnik arbeitete, insbesondere die mit den Transformatoren erzeugten pulsierenden Spannungen, die von dem Gaszustand der Röhre stark abhängig sind, verwandte, konnten naturgemäß keine exakten Ergebnisse gewonnen werden. Erst als man die gasfreien fein regulierbaren Glühkathodenröhren z. B. die von Coolidge und an Stelle des Funkeninduktors eine Ak-

kumulatorenbatterie von 20000 und mehr Zellen (Hochspannungsbatterie mit hinreichend großer Kapazität) mit konstanter Spannung benutzte, wie es oben genannte Forscher taten, konnten einwandfreie Ergebnisse erzielt werden (13).

Soll die Intensitätsverteilung des kontinuierlichen Spektrums untersucht werden, so muß man nach H. Behnken (14), March (15) und H. Küster (16) auf drei Fehlerquellen Rücksicht nehmen; auf die Absorption der Strahlung durch die Wand der Röntgenröhre, auf die Abhängigkeit der zu messenden Ionisation von der Intensität der Strahlung und schließlich auf den Einfluß des Spektrometerkristalls auf die zu messende Intensität. Die Größe der Filterung der Strahlung durch die Glaswand der Röhre ist von den genannten Forschern genau bestimmt worden. Inwiefern die Ionisation der Luft oder anderer Gase von der Intensität der Strahlung abhängt, bedarf noch der eingehenden experimentellen Erforschung. Angenähert setzt man die Ionisation als lineare Funktion der Intensität an, was auch wahrscheinlich richtig ist. Der Einfluß des Spektrometerkristalls schließlich äußert sich bei Anwendung hinreichender Vorsicht, wie Küster (16) kürzlich festgestellt hat, nur in der Überlagerung der verschiedenen Ordnungen verschiedener Wellenlängen und in der Abhängigkeit des Reflexionsvermögens von der Wellenlänge λ und der Ordnungszahl n.

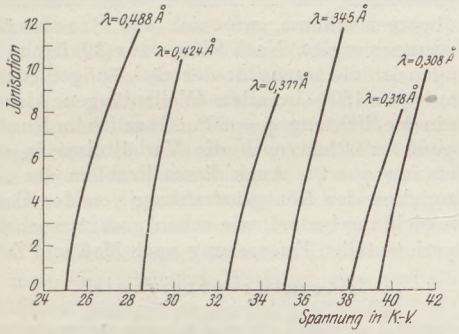


Fig. 2.

Duane u. Hunt (8) maßen nun unter allen Vorsichtsmaßregeln die Abhängigkeit der Ionisation von der Spannung bei konstanter Wellenlänge d. h. sie stellten die „Isochromaten" des Spektrums fest. Ihre Ergebnisse sind in Fig. 2 wiedergegeben, worin der Ionisationsgrad in beliebigen Einheiten als Funktion der Spannung in Kilovolt für Strahlung verschiedener Wellenlängen λ (in Angströmeinheiten Å angegeben) dargestellt ist. Diese Kurven zeigen, daß die Intensität erst nach Überschreitung eines bestimmten minimalen Spannungswertes V_0 merklich wird. Die Intensität der Strahlung wächst hiernach anfangs linear — und nicht asymptotisch, wie man vermuten möchte —, von Null an und dieser Umstand berechtigt zu der Annahme, daß hier ein wirklicher Schwellenwert vorliegt. Hiernach besteht im kontinuierlichen Röntgenspektrum nach der kurzwelligen Seite eine scharf definierte kürzeste Grenzwellenlänge λ_{min} (oder eine maximale Frequenz ν_{max}) bei gegebener Entladungsspannung V_0. Als Abhängigkeit zwischen λ_{min} und V_0 ergab sich das einfache Gesetz: $V_0 \cdot \lambda_{min} = \text{const}$ oder $V_0 = \text{const} \cdot \nu_{max} = k \cdot \nu_{max}$ (nach Duane u. Hunt).

In der ersten Form liegt das Wiensche Verschiebungsgesetz und in der zweiten das Einsteinsche Gesetz

$$e \cdot V = h \cdot \nu.$$

Die Konstante k stimmt gut überein mit $\frac{h}{e}$ in der Einsteinschen Formel, worin h die Plancksche Konstante und e das elektrische Elementarquantum ist. Aus den Präzisionsmessungen von E. Wagner (17) ergibt sich, unter Verwendung des Millikanschen Wertes für e, für h der bisher sicherste Wert $h = 6{,}53 \cdot 10^{-27}$ ergsec. Die Übereinstimmung dieses h-Wertes mit den aus andersartigen Messungen berechneten Werten stellt einen starken Beweis für die Richtigkeit der absoluten Wellenlängenmessung dar, wie sie aus den Braggschen Folgerungen über den Bau der Kristalle hervorgeht.

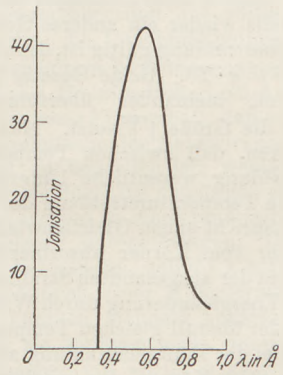


Fig. 3.

Die Messung der spektralen Energieverteilung bei konstantem Potential wurde ebenfalls von den obengenannten Forschern ausgeführt. Eines dieser Messungsergebnisse von Duane u. Hunt gibt Fig. 3 wieder, worin die Ionisation in beliebigen Einheiten als Funktion der in Angströmeinheiten Å angegebenen Wellenlänge λ dargestellt ist. Diese wie auch die übrigen für andere Potentiale erhaltenen Kurven zeigen stets einen steilen Absturz zu dem Schwellenwerte der kürzesten Wellenlänge. Man muß aber dabei bedenken, daß hierin nur die von der Wellenlänge abhängige Ionisation der bis zur Ionisationskammer gelangten und darin absorbierten Strahlung und nicht die wahre Energieverteilung im Spektrum zum Ausdruck kommt.

Das Umsetzungsverhältnis: Absorbierte Energie: Ionisation hat kürzlich (21) B. Boos durch Absorption der Strahlung zweier Wellenlängen ($\lambda = 0{,}325$ Å und 0,56 Å) in einem Kupferbolometer und gleichzeitige Ionisationsmessungen experimentell festgestellt. Hierbei ergab sich eine hohe Abhängigkeit von der Wellenlänge.

Für die beiden Strahlungsarten hatte das genannte Verhältnis den Wert 1:3, wobei sich ergab, daß harte Strahlen bei gleicher absorbierter Energie eine viel kleinere ionisierende Wirkung zeigen als weiche. Aus diesen Versuchen ergibt sich die Notwendigkeit systematischer Untersuchungen des Problems für alle Wellenlängen und Spannungen.

Einwandfrei bleibt einstweilen nur der Schwellenwert der Wellenlänge, doch scheint auch die Lage des Maximums im wesentlichen richtig zu sein (21). Für seine Wellenlänge λ_{max} gilt angenähert das Gesetz $\lambda_{max} \cdot \sqrt{V} = \text{const}$, worin V die zugehörige Spannung ist. Man kann hierin kaum ein Analogon zum Wienschen Verschiebungsgesetz $\lambda_{max} \cdot T^4 = \text{const}$, worin T die absolute Temperatur des Strahlers ist, erblicken.

Die Gesamtintensität des kontinuierlichen Spektrums wächst mit der Spannung, doch ist ihre genaue Beziehung zueinander experimentell noch nicht festgestellt. Annähernd scheint für die Gesamtstrahlung das Gesetz $S = c\,V^2$ zu herrschen, worin c eine Konstante ist. Dies ist also jedenfalls wieder ein anderes Gesetz, als es für die Wärmestrahlung gültig ist, denn für letztere gilt doch $S = \sigma \cdot T^4$. Beide Gesetze lassen sich aber formell ineinander überführen, wenn man für T die Größe $\sqrt{V}$ setzt. Man muß aber hier bedenken, daß zwischen Temperatur- und Röntgenstrahlung wesentliche Unterschiede bestehen. Die Temperaturstrahlung des schwarzen Körpers entspricht einem Gleichgewichtszustande zwischen der vom Körper absorbierten Energie einerseits und der ausgesandten Strahlung andrerseits. Eine Energieänderung durch Wärmeleitung ist infolge der überall gleichen Temperatur nicht möglich. Bei der Röntgenstrahlung aber handelt es sich um einen Körper, der in seinen einzelnen Punkten sehr verschieden temperiert ist. An Atome, die durch Elektronenstoß stark erhitzt sind, grenzen andere, die nicht erwärmt sind. Das Energiegefälle ist also in einem solchen Körper sehr groß, von den Stellen hoher Temperatur fließt dauernd Energie ab. Ein wesentlicher Unterschied zwischen beiden Strahlungen besteht weiterhin darin, daß dem Energieinhalt des strahlenden Atoms eine obere Grenze und damit dem Spektrum, der Bohrschen Frequenzbedingung zufolge, auch eine Grenzwellenlänge λ_0 gesetzt ist. Eine solche Grenze ist der Temperaturstrahlung fremd, denn bei ihr verteilt sich die Energie lediglich nach Wahrscheinlichkeitsgesetzen auf die einzelnen Atome.

Verwendet man verschiedene Antikathodenmaterialien, so verhalten sich die Gesamtintensitäten bei gleicher Anregungsenergie wie die Atomzahlen, die Energieverteilung im Spektrum ist aber für alle Antikathodenmaterialien gleich, besonders liegt das Maximum unabhängig vom Material bei gleicher Spannung stets bei derselben Wellenlänge, wie namentlich E. Wagner durch photographische und C. T. Ulrey (18) durch Ionisationsmessungen dargetan haben.

Die Energieverteilung theoretisch zu erfassen ist das Ziel einiger Arbeiten der neuesten Zeit. Sie alle berücksichtigen die experimentell gesicherte Tatsache, daß die Energieverteilung im kontinuierlichen Röntgenspektrum durch eine einzige Größe, die kürzeste Wellenlänge λ_{min} eindeutig definiert ist. Eine allgemein gültige Form des Röntgenstrahlungsgesetzes steht noch nicht fest. Einige Ansätze dazu sind u. a. von March (15) und Behnken (14) gemacht worden. Daß die Bremsstrahlung zudem noch von der Emissionsrichtung abhängt, hat A. March (15) theoretisch dargelegt. Doch erübrigt sich auch hier ein Eingehen auf diese Theorie, da sie noch nicht an genauem experimentellen Material geprüft werden konnte. Bisher liegen hierüber nur wenige qualitative Ergebnisse vor. Bezeichnet φ den Winkel zwischen Kathoden- und Röntgenstrahl, so entspricht der Richtung $\varphi = 0$ das kurzwelligste, der Richtung $\varphi = 180^0$ das langwelligste Maximum, wie sich aus Starks (20) Messungen ergibt. Nach Wagners (19) Beobachtungen ist die Intensität der rückläufigen Strahlung ($\varphi = 180^0$) in allen Wellenlängen kleiner als in der Richtung $\varphi = 90^0$. Gänzlich im Dunkel liegen vor allem noch die Verhältnisse in der Richtung $\varphi = 0$. Auch dieses Problem der Abhängigkeit der Röntgenstrahlung von der Emissionsrichtung bedarf, wie schon gesagt, noch der experimentellen Erforschung nach Maß und Zahl.

Literaturverzeichnis.

1. P. P. Koch: Ann. d. Phys. 38, 507. 1912.
2. W. H. u. W. L Bragg: Proc Roy. Soc. (A) 88, 428. 1913.
3. Vgl. ds. Zeitschr. 28, 274. 1915; 30, 97. 1917; 31, 27, 63, 97. 1918; 33, 151. 1920.
4. M. de Broglie: C. R. 157, 924. 1913; 158, 177. 1914; Journ d Phys. 4, 101, 265. 1914
5. J H Mosely u. Darwin: Phil. Mag. 26, 210. 1913.
6. E. Wagner: Ann. d. Phys. 46, 868. 1915.
7. Vgl. W. Gerlach: Die experimentellen Grundlagen der Quantentheorie. Braunschweig 1921 S. 58 ff.
8. W. Duane u. L. Hunt: Phys. Rev. 6. 166 1915.
9. F. L. Webster: Proc. Americ. Acad 2, 90. 1916.
10. A. W. Hull u M Rice: ebenda 2, 265 1916.
11. E Wagner: Jahrb d. Rad. u. Elek. 16, 216 1919. Phys. Zeitschr. 18, 446. 1918. Vgl. auch: Marx: Handbuch der Radiologie. V. 629 ff Leipzig 1919.
12. H. Seemann: Phys. Zeitschr. 18, 242. 1917.
13. Vgl. E. Wagner: Ann d. Phys 57, 401 1918.
14. H. Behnken: Zeitschr. f Phys. 3, 48. 1920 u. 4, 241. 1921 u Zeitschr. f. techn. Phys. 2, 153 1921.
15. A. March: Ann d. Phys. 65, 449 1921; Phys. Zeitschr. 22, 209 u 429. 1921; 23, 84. 1922
16. Küstner: Zeitschr. f. Phys 7, 97 1921.
17. E. Wagner: Ann. d. Phys. 57, 401. 1918
18. C. T. Ulrey: Phys. Rev 11, 401. 1918.
19. E. Wagner: Phys Zeitschr. 21, 621 1921.
20. J. Stark: Phys Zeitschr. 10, 902. 1909.
21. Vgl. B. Boos: Zeitschr. f. Phys. 10, 1. 1922.

3. *Geschichte und Erkenntnislehre.*

Max Planck über das Prinzip der kleinsten Wirkung. In einer Ansprache zur Feier des Leibniztages in der preußischen Akademie der Wissenschaften (Sitz.ber. LXXV 1921) hat MAX PLANCK ein Gebiet betreten, auf dem Probleme der physikalischen Forschung mit allgemeinsten Fragen der Erkenntnis zusammentreffen. Im Anschluß an Leibnizens Versuch einer Theo-

dizee geht er auf Erörterungen über das Prinzip der kleinsten Wirkung ein, denen wir die folgenden Sätze entnehmen.

„Die gegenwärtige Physik, soweit sie theoretisch durchgebildet ist, wird vollständig beherrscht von einem System von raumzeitlichen Differentialgleichungen, welche besagen, daß ein jeder Vorgang in der Natur vollständig bestimmt ist durch die Vorgänge in seiner unmittelbaren zeitlichen und räumlichen Nachbarschaft. Dieses ganze reiche System von Differentialgleichungen, die im einzelnen recht verschieden sind, da sie sich auf mechanische, elektrische, magnetische, thermische Vorgänge beziehen, ist aber vollständig enthalten in einem einzigen Satze, dem Prinzip der kleinsten Wirkung, welches kurz gefaßt besagt, daß unter gewissen als möglich gedachten Vorgängen stets gerade derjenige in Wirklichkeit stattfindet, welcher mit dem Mindestaufwand von Aktion oder Wirkungsgröße verbunden ist. Man sieht, es bedarf nur eines kleinen Gedankenschritts, um in der Bevorzugung der kleinsten Wirkungsgröße das Walten der göttlichen Vernunft und damit einen Ausschnitt der Leibnizschen teleologischen Weltordnung zu erkennen. Dabei liegt hier der Unterschied des Standpunktes, wie wir sehen, keineswegs in einem sachlichen Gegensatz — denn sachlich handelt es sich um ganz die nämlichen Gesetzmäßigkeiten —, sondern nur in einer veränderten Betrachtungsweise, da sich der Blick das eine Mal auf das unendlich kleine beschränkt, während er das andere Mal über die weitesten Entfernungen in Raum und Zeit hinzuschweifen veranlaßt ist . . . .

In der heutigen aktuellen Physik spielt das Prinzip der kleinsten Wirkung eine verhältnismäßig geringe Rolle. Es paßt nicht recht in den Rahmen der gegenwärtigen Theorie. Zwar wird es natürlich als zutreffend anerkannt, aber es dient gewöhnlich nicht zur Fundamentierung der Theorie, sondern figuriert mehr als ein zwar bemerkenswertes, aber im Grunde doch entbehrliches Anhängsel derselben. Der Grund hierfür ist, daß die gegenwärtige theoretische Physik ganz auf das Prinzip der infinitesimalen Nahewirkung zugeschnitten ist und die Ausdehnung der Betrachtung auf größere Räume und Zeiten als eine unnötige und unökonomische Komplizierung der Behandlungsmethode empfindet. Sie ist daher eher geneigt, in dem Prinzip der kleinsten Wirkung ein formales Kuriosum mehr zufälliger Art als einen Grundpfeiler der physikalischen Erkenntnis zu erblicken.

Um so mehr mußte es freilich auffallen, daß dieses Prinzip, das doch ursprünglich von Leibniz und Maupertuis zuerst nur als ein mechanischer Satz aufgefaßt wurde, von Hermann von Helmholtz in der gesamten damals bekannten Physik, und neuerdings von David Hilbert sogar in der modernen Einsteinschen allgemeinen Relativitätstheorie, nach der ihm von Hamilton gegebenen Fassung, als unbeschränkt gültig befunden und durchgeführt worden ist. Denn je verwickelter die Verhältnisse werden, um so weniger scheint das Walten einer so einfachen Gesetzmäßigkeit auf bloßen Zufall zurückgeführt werden zu können. Es ist immer ein Anzeichen dafür, daß eine Betrachtungsweise in einem Punkte noch unvollständig ist, wenn sie von einem anerkanntermaßen bestehenden einfachen allgemeinen Zusammenhang gar keine Rechenschaft abzulegen vermag; unser Erkenntnistrieb kann sich vielmehr erst dann zufrieden geben, wenn jede tatsächlich festgestellte Gesetzmäßigkeit in ihrer Bedeutung und Tragweite verstanden und in das Gesamtgebäude der Theorie eingegliedert worden ist.

Aber es kommt hier noch ein weiteres hinzu. Bis hierher konnte man bei alledem, formal genommen, die physikalische Bedeutung des Prinzips der kleinsten Wirkung vollständig ignorieren, ohne eines wesentlichen Bestandteils der Theorie verlustig zu gehen. Das scheint jetzt anders werden zu sollen. Denn es ist in der jüngsten Zeit ein ganz neuartiges Element in die physikalische Wissenschaft eingedrungen, welches unsere Auffassung von der Natur der physikalischen Gesetzmäßigkeiten auf völlig veränderte Bahnen weist: die Quantenhypothese . . . .

Das elementare Wirkungsquantum besitzt die eigentümliche, für alle bisherigen Anschauungen höchst unbequeme Eigenschaft, daß es vom Standpunkt der infinitesimalen Nahewirkung schlechterdings nicht zu begreifen ist; wenigstens hat es sich bisher als durchaus unmöglich erwiesen, das Wirkungsquantum in einer raumzeitlichen Differentialgleichung unterzubringen. Das bedeutet zwar noch keineswegs, daß die klassischen Differentialgleichungen einer Abänderung bedürfen; dieselben könnten vielmehr vollständig korrekt sein. Aber sie genügen nicht, um die physikalischen Tatsachen mit all ihren Eigenschaften erschöpfend darzustellen, oder mit anderen Worten: nicht alle Lösungen jener Differentialgleichungen scheinen wirklich realisierbaren Vorgängen zu entsprechen, sondern die Natur trifft unter den unendlich vielen Lösungen eine gewisse ganz spezielle Auslese, nach Gesichtspunkten, die nur durch Integralbedingungen formuliert werden können. Für den speziellen Fall periodischer Vorgänge findet diese Integralbedingung ihren Ausdruck in dem merkwürdigen Satze, daß die von Leibniz eingeführte Aktions- oder Wirkungsgröße eines jeden solchen Vorgangs oder, wie wir heute sagen, das über eine Periode erstreckte Zeitintegral der doppelten kinetischen Energie, stets genau eine ganze Anzahl von Elementarquanten umfaßt.

Sollte die auffallende Einfachheit dieser Beziehung nun wiederum auf einem Zufall beruhen? Es wird immer schwerer, daran zu glauben, vielmehr drängt sich mit elementarer Wucht der Eindruck auf, daß das Leibnizsche Prinzip der kleinsten Wirkung einen Schlüssel zum tieferen Verständnis des Wirkungsquantums liefern könnte. Welche Änderungen die vollständige Durchführung der Quantentheorie in unseren physikalischen Anschauungen, ja in unserem ganzen natur-

wissenschaftlich-kausalen Denken dereinst im Gefolge haben wird, läßt sich heute noch nicht übersehen. Nicht als ob das Kausalgesetz selber dadurch in Frage gestellt würde — denn die Voraussetzung fester gesetzlicher Zusammenhänge ist und bleibt die Grundlage und Vorbedingung für jede wissenschaftliche Betrachtungsweise —, aber die Form dieser Zusammenhänge wird vielleicht in Znkunft erheblich weiter gefaßt werden müssen, als man das bisher für ausreichend erachtet hat."

Der Vortragende wies dann noch darauf hin, daß durch das sich hier öffnende Labyrinth von neuen Bahnen uns ein sicherer Weg nur durch induktive Forschung werde gewiesen werden können, und wandte sich besonders gegen das Eindringen eines unfruchtbaren Dilettantismus und gegen die Überschwenglichkeiten der Theosophie und Anthroposophie. *P.*

Philosophische Propädeutik im Physikunterricht. Hierüber hat P. Kirchberger in der *Monatsschrift für höhere Schulen 21, 163 ff.* (*1922*) beachtenswerte Ausführungen gemacht. Er will dabei unter Philosophie nicht ein metaphysisches oder sonstwie orientiertes System, sondern die der Einzelwissenschaft nächstgelegene Seite der Philosophie, die Methodenlehre, verstanden wissen und einige zu dieser hinleitende Anregungen geben. Namentlich die Wiederholungen des Lehrstoffs bieten Gelegenheit, diesen nach philosophischen Gesichtspunkten zu betrachten und zu ordnen. Lehrreich ist z. B. die Frage nach der Definition des Experiments, der Hinweis auf das Fernhalten störender Umstände und auf die möglichst weitgehende Variierung der Voraussetzungen. Bei der beschreibenden Wiedergabe der Versuche ist darauf zu achten, daß nicht Unwesentliches in die Darstellung hineingezogen, andererseits aber auch nicht Hinzugedachtes als Beobachtetes ausgegeben wird (so wenn beim Interferenzversuch gesagt wird, daß Wellenberg und Wellenberg oder Wellenberg und Wellental zusammenfielen). In letzterem Falle zeigt sich aber auch, daß eine reine Erfahrung ohne ordnende und kritische Theorie unmöglich ist (wenigstens sobald man über die einfachsten Grundtatsachen hinausgeht).

Abzuweisen ist auch die häufig auftretende Meinung, als sei die Erklärung die nächste auf die Beobachtung folgende Aufgabe der Physik; vielmehr ist zu zeigen, daß es vor allem auf die quantitative Auswertung der Beobachtung oder des Versuchs ankommt. Dazu ist erforderlich, daß die physikalischen Größen, die der Messung unterworfen werden sollen, definiert sind. „Definieren bedeutet aber in der Physik stets einen Maßstab angeben, mit dem eine Größe gemessen werden kann." Dies ist z. B. bei der Definition des Temperaturbegriffs zu beachten. Sind die Begriffe festgelegt, so ist deren gegenseitige Abhängigkeit zu untersuchen. Dies kommt ganz allgemein auf die Feststellung einer Konstanten hinaus. Ein Beispiel liefern die Versuche etwa an Müllers Reifenapparat, die erst zur Aufstellung des Begriffs der Beschleunigung, dann zur Ermittelung des konstanten Wertes der Fallbeschleunigung und schließlich auf die allgemeine Gravitationskonstante als letzte mögliche Verallgemeinerung führen.

Die Erörterung über die Rolle der Hypothesen in der Physik leitet naturgemäß zu der Frage über, in welcher Weise die Prüfung einer Hypothese möglich und nötig ist. Hier ist ein (bis in die neueste Zeit) häufig gemachter Fehler der, daß man die Hypothese für erwiesen hält, wenn eine aus ihr gezogene Folgerung mit der Erfahrung übereinstimmt oder durch den Versuch bestätigt wird. Demgegenüber ist es gut, darauf hinzuweisen, wie viele Hypothesen aufs glänzendste von der Erfahrung bestätigt worden sind und dann doch verlassen werden mußten, so die aristotelische Dynamik, die Newtonsche Emissionstheorie, die elektrischen und magnetischen Fluida, die Wärmestoffhypothese u. a. m. Die logische Ausnutzung dieses Umstandes muß dazu führen, daß nicht alle Bestätigungen als gleichwertig anzusehen sind, und daß eine Theorie als um so sicherer begründet gelten muß, je mannigfaltiger die aus ihr gezogenen Folgerungen sind und je genauer sie mit der Erfahrung übereinstimmen. Einen starken Anhalt für die Richtigkeit einer Theorie liefert besonders die genaue Übereinstimmung einer theoretisch berechneten und einer empirisch gefundenen Zahl oder ganzer Zahlenreihen, oder auch die Übereinstimmung zweier unabhängig von einander gefundener und auf verschiedene Theorien gegründeter Zahlenreihen. Diese Gedankengänge fordern dazu heraus, den gesamten Lehrstoff daraufhin durchzusehen, welche Theorien als die bestbegründeten anzusehen sind; als solche werden das Energiegesetz und das Newtonsche Anziehungsgesetz anerkannt werden müssen.

Über die Bedeutung des Proportionalitätsbegriffs in der Physik bemerkt der Verfasser, daß der Begriff in dreifachem Sinne gebraucht werde; man müsse eine empirische, eine streng gesetzmäßige und eine definitionsmäßig bestehende Proportionalität unterscheiden. Von der empirischen Art sei der Zusammenhang der zugeführten Wärme mit der Temperaturerhöhung, der der letzteren mit der Ausdehnung und vieles andere; die Proportionalitätsfaktoren seien hier nur annähernd konstant, ein strenges Gesetz liege nicht vor. Dagegen sei die Proportionalität der aufgewandten Arbeit mit der erzeugten Wärme, oder die der ausgeschiedenen Elektrolyte mit ihren chemischen Äquivalentgewichten ein wirkliches Naturgesetz, das mit jeder beliebigen Genauigkeit bestätigt werden könne. Eine besonders wichtige Rolle spiele aber in der Physik die dritte Art, die Proportionalität durch Definition. Die Ausdehnung des Quecksilbers (oder eines idealen Gases) ist der Temperaturerhöhung nicht empirisch und nicht gesetzmäßig, sondern definitionsmäßig proportional, ebenso die Stromstärke der Intensität des erzeugten Magnet-

feldes. „Viele Proportionalitäten können nach Belieben als Naturgesetze oder als Definitionen angesehen werden. Wird aber ein Naturgesetz sozusagen durch Definition wegtransformiert, so tritt dafür ein neues Naturgesetz an anderer Stelle wieder auf.“ Dieses andere Gesetz ist dann gewöhnlich die mitunter fälschlich als selbstverständlich angenommene additive Eigenschaft einer physikalischen Größe, die man symbolisch durch $f(a) + f(b) = f(a+b)$ ausdrücken kann. Wird die Masse als der Beschleunigung umgekehrt proportional definiert, so ist ihre additive Eigenschaft, daß zwei Massen von je 1 Gramm die Masse von 2 Gramm ergeben, ein Gesetz; oder man definiert die Masse durch diese additive Eigenschaft, dann erscheint die umgekehrte Proportionalität mit der Beschleunigung als Gesetz. Ebenso kann der elektrische Widerstand entweder als Proportionalitätsfaktor e/i definiert werden, oder additiv durch seine Proportionalität mit der Länge des durchflossenen Leiters. Nimmt man die eine Beziehung als Definition, so erscheint die andere als Gesetz. (So löst sich ein Gegensatz, der neuerdings Gegenstand von Kontroversen gewesen ist.)

Aus der einschlägigen Literatur hebt der Verfasser besonders das Werk von A. Duhem, Ziel und Struktur der physikalischen Theorien, übersetzt von Adler (Leipzig 1908) hervor. Auch auf Kirchbergers kürzlich erschienene Schrift Die Entwickelung der Atomtheorie (*d. Ztschr. 35, 196*) sei verwiesen. *P.*

4. *Unterricht und Methode.*

Über die Entladung von Leidener Flaschen und das Ohmsche Gesetz. Von J. WEISS. (*Mitteil. der Elektrotechn. Werkstätten Schempp & Platte, Freiburg i. B., Nr. 4.*) Die nachfolgenden Versuche erfordern einige Leidener Flaschen L von bekannter Kapazität C_1 C_2 C_3, ein Braunsches Elektrometer E (bis 1500 Volt), eine Taschenuhr mit Sekundenzeiger, eine Influenz- oder Reibungselektrisiermaschine und einen großen Widerstand R (Zellon- oder Holzstab oder Strohhalm) mit Anschlußklemmen.

Man zeigt zunächst, daß eine Leidener Flasche ihre Ladung lange Zeit hält, indem man die Innenbelegung mit dem Zeiger, die Außenbelegung mit dem Gehäuse des Elektrometers verbindet. Der Ausschlag bleibt durch viele Minuten unverändert. Schaltet man dann R zwischen die beiden Belegungen ein, so sinkt die vom E angezeigte Spannung φ. Ist E anfänglich auf 1500 Volt geladen, so sinkt die Spannung in gleichen Zeiträumen ziemlich genau um den gleichen Bruchteil der am Anfang jedes Zeitraums vorhandenen Spannung. Z B. war

Zeit $t =$	0	30	60	90	120	Sek.
Spannung $\varphi =$	1500	1350	1210	1090	980	Volt

Die Werte von φ bilden eine geometrische Reihe, derart, daß $\varphi_n \cdot \varphi_1 \cdot q^{n-1} = 1500 \cdot 0{,}9^{n-1}$. Nimmt man diese Reihe auch für zwischenliegende zunächst ganzzahlige Werte von t an, so erhält man leicht die Spannung nach t Sek:

$$\varphi t = \varphi_1 q^{\frac{t}{d}},$$

wenn q der Quotient der geometrischen Reihe für φ, und d die konstante Differenz der arithmethischen Reihe für t bedeutet.

Mit kleinem konstanten d nähert sich der Quotient φ mehr und mehr dem Werte 1; man setze für $d = \delta$, $q = 1 - \lambda\delta$, wo λ ein noch unbestimmter Faktor, dann wird

$$\varphi t = \varphi_1 (1 - \lambda\delta)^{\frac{t}{\delta}}$$

und im Grenzfall für verschwindend kleine Werte von δ

$$\varphi t = \varphi_1 \cdot lim\,(1 - \lambda\delta)^{\frac{t}{\delta}} = \varphi_1 e^{-\lambda t}$$

Um den Faktor λ für diesen Grenzfall zu bestimmen, hat man zu berücksichtigen, daß φ_1 nach d Sek. auf $\varphi_1 \cdot q$ gesunken war, demnach

$$\varphi_1 \cdot q = \varphi_1 e^{-\lambda d}, \text{ oder } q = e^{-\lambda d},$$

woraus $$\lambda = -\frac{ln\,q}{d}.$$

Um nun die Stärke J des Entladungsstromes zunächst für den Fall des oben beschriebenen Versuchs zu berechnen, hat man als mittlere Entladestromstärke im Zeitraum $t_2 - t_1$ den Wert $\frac{C(\varphi_1 - \varphi_2)}{t_2 - t_1}$ zu bilden, entsprechend im Zeitraum $t_3 - t_2$ den Wert $\frac{C(\varphi_2 - \varphi_3)}{t_3 - t_2}$ und so fort.

Da nun $t_2 - t_1 = d = t_3 - t_2$, und $\varphi_2 = \varphi_1 \cdot q$, $\varphi_3 = \varphi_2 \cdot 9$ . . . so hat man

$$\frac{C(\varphi_1 - \varphi_2)}{t_2 - t_1} = \frac{C\,\varphi_1\,(q^{-1})}{d} = J_1$$

$$\frac{C(\varphi_2 - \varphi_3)}{t_3 - t_2} = \frac{C9\,\varphi_1\,(q^{-1})}{d} = J_2$$

$$\frac{C(\varphi_3 - \varphi_4)}{t_4 - t_3} = \frac{C9^2\,\varphi_1\,(q^{-1})}{d} = J_3 \text{ usf.}$$

d. h. die mittlere Stromstärke in jedem der Zeitintervalle ist proportional der am Anfang des Zeitraumes noch vorhandenen Spannung. Diese Beziehung entspricht bereits dem Ohmschen Gesetz, tritt aber noch stärker hervor, wenn, unter Voraussetzung unbegrenzter Verkleinerung der Zeitintervalle, φ als stetige und differenzierbare Funktion von der Form

$$\varphi = \varphi_1 e^{-\lambda t}$$

angenommen wird. Dann wird

$$J = -\frac{Cd\varphi}{dt} = \lambda C \cdot \varphi_1 e^{-\lambda t} = \lambda C \varphi$$

d. h. Strom und Spannung sind einander proportional, und es wird

$$R = \frac{\varphi}{J} = \frac{\varphi}{\lambda C \varphi} = \frac{1}{\lambda C} \text{ Ohm.}$$

Damit ist das Ohmsche Gesetz für die Entladung einer Leidener Flasche erwiesen und der Übergang von der Elektrostatik zur Lehre von den elektrischen Strömen hergestellt.

Werden nun noch zwei gleiche Leidener Flaschen parallel geschaltet und gemeinsam ent-

laden, so dauert die Entladung bei gleicher Anfangsspannung gerade doppelt so lange wie bei einer einzigen Flasche.

Man hat daher in der obigen Ableitung den Zeitraum δ durch 2δ, demnach λ durch $\lambda/_2$ zu ersetzen, dann wird $\varphi = \varphi_1 \cdot e^{-\frac{\lambda}{2}t}$, die Kapazität ist $2C$, daher

$$J = -2C \cdot \frac{d\varphi}{dt} = 2C\frac{\lambda}{2}\varphi = \lambda C \varphi$$

also denselben Wert wie vorher, d. h. die Stromstärke ist von der Kapazität unabhängig.

Da die Gültigkeit des Ohmschen Gesetzes für die Leitung strömender Elektrizität in Metallen bestätigt ist, so liefert nach Ansicht des Verfassers der hier geführte Nachweis die Bestätigung, daß die anfänglich beschriebenen Beobachtungen mit Recht durch eine geometrische Reihe dargestellt wurden. *P.*

Fünfzehn Jahre verbindliche chemische Übungen in Bayern. Originalbericht von Studienprofessor Dr. Richard in Nürnberg.

Bei der Errichtung der bayerischen Oberrealschulen im Jahre 1907 wurde die glückliche Verordnung getroffen, daß mit dem chemischen Unterricht praktische Übungen zu verbinden seien. Da nun allüberall in der Literatur die Forderungen nach solchem obligatorischen Arbeitsunterricht laut werden, so dürfte ein Bericht über die bei der Durchführung solcher verbindlicher Übungen gemachten Erfahrungen nicht unerwünscht sein.

In Bayern hatte sich der Einfluß der methodischen Richtung fast gleichzeitig mit der Arbeitsschule durchgesetzt. Die früher rein materiellen Wissensziele des chemischen Unterrichts erfuhren eine wohlverdiente Einschränkung zugunsten der mehr formalen Aufgaben. Dabei spielte natürlich die besondere Geeignetheit der praktischen Übungen für die Erziehung eine gewichtige Rolle.

Wenige Jahre später im Jahre 1914 zeigte sich schon eine kleine Revision der Schulordnungsbestimmungen notwendig. Man konnte eben doch auf die Schaffung einer gewissen Summe positiven Wissens nicht verzichten. Dem Stoffe der Metalloide auf der Unterstufe wurden einige Kapitel aus der Kohlenstoffchemie sowie ein Überblick über die technisch wichtigsten Metalle hinzugefügt. Die ausführliche Betrachtung der Metalle und der organischen Chemie blieb der Oberstufe vorbehalten. Man hat somit Verhältnisse geschaffen, die mit der Schulordnung im übrigen Deutschland vielfach übereinstimmten. Einige der Vorschriften, die sich bis heute bewährt haben, seien hier angeführt: „Die Kenntnis der chemischen Tatsachen und der aus ihnen abzuleitenden Gesetze ist tunlichst auf dem Wege der Übungen zu gewinnen . . . Diese Art des Betriebs bedingt eine weitgehende Einschränkung der Einzeltatsachen . . . Die Übungen sind durchweg als Frontübungen zu betreiben.“ In der Tat hat sich diese Art der Beschäftigung der Schüler als geeignetste erwiesen. Man kann die Klasse leicht überschauen und nimmt so die bei verbindlichem Unterricht notwendige Rücksicht auf das gemeinsame Klassenziel. Genau wie der Klassenunterricht selbst fördert diese Art des Betriebes mehr den Durchschnittsschüler als den Begabten, auch ihre Bedeutung für die Erziehung zur Selbständigkeit im Beobachten und Urteilen darf nicht zu hoch eingeschätzt werden. Die Frontübung erlaubt selbst bei einer Teilung der Klasse nur die Benützung einfachster Apparate und die Durchführung von einfachen Versuchen. Sie ist daher ganz besonders für einführende chemische Versuche geeignet, und hier kann ihre Verwendung besonders empfohlen werden, da grundlegende „Begriffe“ am „greifbaren“ Objekt am leichtesten erlernt werden.

Bleibt man nun auch für die Oberstufe bei den Frontübungen, so erwachsen aus den unterrichtlichen Zielen — Metallchemie, organische Verbindungen — ziemlich öde Reagenzglasversuche, die den großen Aufwand an Zeit, der mit der Übung naturnotwendig verknüpft ist, nicht mehr berechtigt erscheinen lassen. Analytische und präparative Arbeiten sind nach der bayerischen Lehrordnung ausgeschlossen. Nach meiner Erfahrung sind jedoch analytische Teilaufgaben, z. B. die Prüfung des Verhaltens eines Ions zu verschiedenen Reagenzien oder der Nachweis eines solchen Ions in einem einfachen Gemisch hervorragend geeignet, selbständiges Beobachten und Denken zu erziehen. An schematisches Analysieren nach vorgeschriebenem Rezept ist dabei natürlich nicht gedacht.

Der Versuch, die sog. „zerstreute“ oder „regellose“ Arbeitsweise der Schüler in den Übungen durchzuführen, wurde für die Oberklassen wiederholt gemacht, doch ohne rechten Erfolg, da die ungleichartige technische Befähigung der Teilnehmer das Problem erschwert. Viele der Praktikanten bedürfen der ständigen Beihilfe, und wenn man auch begabtere Schüler zur Mitarbeit heranziehen kann, so halte ich doch die regellose Arbeitsweise mehr für die unverbindlichen Übungen geeignet. — Die Vorzüge der zur Selbständigkeit zwingenden zerstreuten Beschäftigung der Schüler bleiben im übrigen unbestritten. — Um nun ähnliche Vorteile für die Frontübung zu erzielen, habe ich eine Form derselben angewandt, die eine vermittelnde Stellung einnimmt, ich möchte sie als „Frontübung mit Arbeitsgemeinschaft“ bezeichnen und sie dann empfehlen, wenn viele Tatsachen festgestellt werden müssen, deren Verständnis durch die Einzelbehandlung nicht mehr gefördert wird, deren gemeinsame Betrachtung aber die Erkenntnisse erweitert. Ein Beispiel wird am besten aufklären. Lehrziel: Betrachtung des Verhaltens von Säuren zu Metallen. Die Lösung der gemeinsamen Aufgabe wird auf 3–5 Gruppen von je 6–4 Schülern verteilt. Jede Gruppe prüft das Verhalten von einem Metall zu 3–4 verschiedenen Säuren. Die Angehörigen 4–6 einer Gruppe haben die gleiche Einzelaufgabe zu lösen und arbeiten unabhängig und fern voneinander in gleicher Front, so daß neben-

einander Arbeitende stets verschieden beschäftigt und gezwungen sind, ihre ganze Aufmerksamkeit auf die Lösung ihrer Aufgabe zu verwenden. Aus den 4–6 Einzellösungen ergibt sich ein zuverlässiges Resultat, die gemeinsame Betrachtung der Einzelresultate führt zu einer weiteren Erkenntnis, an deren Erarbeitung alle beteiligt sind. Hatte jeder Schüler sämtliche Aufgaben technisch durchgeführt, so wäre bei den sich stets wiederholenden Erscheinungen kein weiterer Gewinn aber ein großer Zeitverlust erwachsen, viele Lösungen wären vielleicht ohne Kritik vom Nachbar übernommen worden. Die gegenseitige Kontrolle der Gruppenangehörigen, die Gemeinsamkeit des Zieles und die Abhängigkeit des Resultats von dem Ergebnis jedes Mitarbeiters wirkt in hohem Grade erzieherisch und erzeugt eine Schaffensfreude, wie man sie nur bei der „zerstreuten" Übung wahrnimmt. Die Durchführbarkeit dieser Form der Übung setzt lediglich voraus, daß die Einzelarbeiten ähnlich sind und etwa gleiche Zeit beanspruchen. Von vielen Beispielen sei nur noch eins hier ausgeführt. Ziel: Die Ursachen der verschiedenen Reaktionsgeschwindigkeit sind durch Übung festzustellen. a) Durchführung einer gewöhnlichen Frontübung. Jeder Schüler prüft nebeneinander 1. das Verhalten eines Metalls zu einer Säure bestimmter Konzentration, 2. zu der gleichen Säure, welche halb mit Wasser verdünnt wurde, 3. zu der gleichen aber erwärmten Flüssigkeit, 4. endlich wird das Metall in andrer Verteilung dargeboten. b) Der vergleichenden qualitativen Übung stelle ich nun die in der gleichen Zeit durchführbare quantitative mit Arbeitsgemeinschaft gegenüber. Vier Gruppen von Schülern stellen den Verlauf der Reaktion innerhalb einer Stunde durch Messen des erzeugten Wasserstoffs quantitativ fest. Jede Einzelaufgabe entspricht den oben angeführten Arbeiten; natürlich müssen bestimmte Mengen des Metalls und der Säure verwendet werden. Die Lösungen der Einzelgruppen werden graphisch verwertet und führen, wenn sie auch nie genau übereinstimmen, bei der gemeinsamen Betrachtung weit tiefer in das Problem. Man erkennt, ohne Einzelheiten zu erwähnen, daß sich die letztbesprochene Form mehr für die Oberstufe eignet und durchaus die Leistungen der „zerstreuten" Arbeitsweise ermöglicht. Ähnliche Wirkung hat die „Frontübung mit Arbeitsgemeinschaft" namentlich für die Metallchemie, wo es wie schon erwähnt höchst langweilig wird, das Verhalten jedes Metallions zu den gleichen Reagenzien zu prüfen; die nähere Betrachtung solcher Beispiele dürfte sich hier erübrigen.

Die Übung wird nicht nur durch die Art der Schülerbeschäftigung sondern vor allem durch die Veränderung der Arbeitsform beeinflußt. Die bayerische Lehrordnung deutet das nur an, wenn davon gesprochen wird, daß „die bei den Übungen notwendigen Apparatenteile in ausreichender Zahl fertig vorliegen sollen, so daß den Schülern nur die Aufgabe bleibt, die Apparate zusammenzusetzen". Die Selbsttätigkeit soll also nicht zum Handfertigkeitsunterricht werden. Es heißt aber weiter, „doch ist es nicht auszuschließen, daß die Schüler gelegentlich einen einfachen Apparat selbst herstellen, indem sie die dazu nötigen Röhren biegen und Korke bohren". Hierüber gehen die Meinungen noch auseinander.

Für die verbindliche Übung kann nur die sog. „verwebende" Arbeitsmethode in Frage kommen, bei der die praktische Tätigkeit aus dem Klassenunterricht herauswächst und mit ihm organisch verbunden ist. Dem entspricht die Verordnung: „Das Unterrichtszimmer ist am besten so einzurichten, daß es zugleich als Lehr- und Übungsraum dienen kann. Wo das nicht möglich ist, soll tunlichst durch den Stundenplan dafür Sorge getragen werden, daß dem Lehrer Lehrzimmer und Übungsraum gleichzeitig zur Verfügung stehen." Der Erfolg ist natürlich grundverschieden, je nachdem das Experiment zur Einführung der Lehrstunde vorangeht oder ihr zur Bestätigung folgt. Die „einführende" Übung wirkt durch den Reiz des Neuerlebens. Die Freiheit der Beobachtung wird voll gewahrt, die Arbeitsfreude erhöht. Es wird jener intuitive Sinn gepflegt, den Kerschensteiner im naturwissenschaftlichen Unterricht noch so sehr vermißt. — Anders die nachfolgende „bestätigende" Übung. Die schon bekannten Tatsachen werden durch gründliche Anschauung vertieft, der Stoffgegenstand wird tüchtig wiederholt, so daß ihn der Schüler jetzt beherrscht. An einem neuen „Erlebnis" mit all seinen Anregungen fehlt es aber auch hier fast nie ganz, ist es doch fast unmöglich, chemische Tatsachen ohne neue Gesichtspunkte praktisch zu bearbeiten. — Für den Zuschauer präsentiert sich eine „bestätigende" Übung weit eleganter als der mühsame Verlauf einer heuristischen Arbeitsstunde; ihre didaktische Bewertung steht im Gegensatz zu ihrer glatteren Durchführung, wenn auch ihre Anwendung dem einen oder andern Stoff durchaus angemessen sein kann. — Der Erfolg einer Übung ist also ebenso sehr mit der Arbeitsform wie mit der Art der Schülerbeschäftigung aufs innigste verknüpft. Inzwischen ist auch überall erkannt, daß auch ohne gründliche schriftliche Festlegung der Übungsergebnisse nicht auszukommen ist; die Vorteile derselben kommen übrigens, wie schon da und dort geschildert, dem Deutschunterricht am meisten zugute. Die Ausarbeitung muß in der Unterstufe innerhalb der Unterrichtsstunde geschehen, eine kurze Fassung wird diktiert. Später kann man sich während der Übungszeit auf kurze Notizen beschränken. In der folgenden Lehrstunde findet eine nochmalige Wiederholung des Übungsstoffes statt, erst jetzt kann der Schüler das Ganze überblicken und beherrschen. Es ist eben immer noch kein Mittel gefunden, um die Arbeit zu ersetzen, die in der Wiederholung, in der Übung in des Wortes eigenster Bedeutung, steckt.

Nach einer kurzen Bemerkung in der bayerischen Schulordnung kann die „Geschicklichkeit" eines Schülers innerhalb der Übung bei der

Notengebung bewertet werden — Daraus sollte sich im Interesse der richtigen Beurteilung des Schülers eine regelmäßige praktische Prüfung entwickeln, die keinerlei Vorbereitung des Schülers und keine weitere Belastung desselben erfordert, die aber häufig zu Überraschungen des Lehrers führt. Schüler, die sich bei Reproduktionen bisher hervorgetan haben, versagen in der Übung, andere, von denen man bisher nicht viel hörte, zeichnen sich durch Beobachtungsgabe und selbständiges Urteil aus. Die praktische Prüfung schafft Ausgleiche in der Zensur, und verhilft so manchem Schüler erst zur gerechten Beurteilung. Das ist um so wichtiger, da es sich meist um jene produktiveren Elemente handelt, die in unserem bisherigen Schulbetrieb nicht immer zur Anerkennung gelangten. — Dabei liegt es mir fern, den Wert der Übung zu überschätzen, bedeutet doch ihre allzu starke Betonung eine Einseitigkeit, bei der wieder andere Schüler mehr oder minder die Leidtragenden sind, ist doch auch damit ein Zeitverbrauch verbunden, der auch einigermaßen im Verhältnis zum Gewinn durch die praktische Tätigkeit stehen muß. Die Schulordnung sagt auch noch: „Die Gefahr, daß durch zu weit ausgedehnte Versuche die Erledigung des Lehrstoffes unmöglich gemacht wird, ist im Auge zu behalten.“ Man kann wohl ruhig behaupten, daß diese Gefahr bei den derzeitigen Lehrzielen gar nicht auszuschalten ist. Die Beschränkung des Lehrstoffes muß eben noch gründlicher durchgeführt werden. Aber es muß ein Mindestmaß von positivem Wissen von jedem Schüler gefordert werden, auf dem der Unterricht der folgenden Jahre wirklich aufbauen kann. Die Übung darf daher nicht einseitig gepflegt werden. Sie ist ja nur „eine“ der Methoden zur Erreichung der neuen Forderungen. Man vergesse nicht, daß auch der heuristisch verfahrende Klassenunterricht auf Selbsttätigkeit des Schülers gegründet und daß der Weg vom Übungsunterricht zum rein dogmatischen Unterricht ein sehr weiter ist. — Auch die verbindliche Übung ist nicht das Allheilmittel, im Gegenteil ist zu wünschen, es möchten neben den verbindlichen Übungen besonders für die Oberstufe die Möglichkeit geschaffen werden oder erhalten bleiben, die für die Naturwissenschaften Interessierten auch durch „fakultative“ Übungen weiter zu fördern.

5. *Technik und mechanische Praxis.*

Herstellung und Eigenschaften des optischen Glases. Von Dr. Weidert (Monatsbl. des Berl. Bez.-Vereins d. Ing. Maiheft 1921). In Form eines Vortrags führt der Direktor der optischen Anstalt von C. P. Goerz, Berlin, die Herstellung eines optischen Glases vor. Während das gewöhnliche Tafelglas mit seinen 5 Komponenten Kieselsäure, Kalk, Bleioxyd, Natron und Kali ein relativ einfach herzustellendes Produkt ist, kommen für ein optisches Glas nach den Untersuchungen von Schott u. a. viel mehr Bestandteile in Betracht, die je nach ihrer Art entweder ein Glas mit starker Brechung und geringer Zerstreuung oder eines starker Zerstreuung bei geringer Brechung liefern. Die optische Praxis arbeitet heute mit etwa 100 verschiedenen Glassorten. Beachtet man die hohen Anforderungen von Farblosigkeit und Homogenität, die an ein optisches Glas gestellt werden, so ist erklärlich, daß die Erschmelzung eines einwandfreien Glases eine äußerst schwierige Kunst ist, so schwierig, daß es unseren Gegnern während des Krieges trotz aller Anstrengungen nur mangelhaft gelungen ist, eine eigene optische Industrie zu gründen.

Die Herstellung des Grundstoffes für irgend eine Linse verläuft etwa folgendermaßen. Zunächst muß der „Satz“ oder das Schmelzgut nach bestimmtem Verhältnis abgewogen werden. Jeder einzelne Bestandteil muß auf seine Reinheit untersucht werden, z. B. machen sich 0,04 % Eisen als Fe_2O_3 im Glas schon störend bemerkbar! Da Glas bei Temperaturen um 1500° eingeschmolzen wird, kommt als Material für den Tiegel, „den Hafen“, nur Ton in Betracht, der natürlich ebenfalls sorgfältig gereinigt sein muß, damit er nicht an die Schmelze Fremdstoffe abgibt. Der Hafen wird entweder in Gipsformen gegossen, ähnlich wie man Porzellan gießt, oder er wird unter Schlagen in einer Holzform aufgebaut. Hin und wieder wendet man auch das „Werfen“ an, wobei Tonballen mit aller Gewalt an einen Holzkern geworfen werden. Langsam, monatelang, werden die Tiegel getrocknet, dann mit rußender Flamme „getempert“, was bis zu 8 Tage in Anspruch nimmt und endlich im Schmelzofen bei höchster Hitze scharf durchgebrannt. Dann wird sogleich der „Satz“ eingebracht. Es folgt das „Einschmelzen“, bei dem die verschiedenen Nitrate, Karbonate und Oxyde zerstört und Silikate, Borate u. a. gebildet werden. Danach kommt bei nachlassender Temperatur das „Lauterschmelzen“. Man mischt die Schmelze gut durch „Bülwern“, indem man eine Kartoffel oder grünes Holz an einer Eisenstange tief in den Hafen stößt. Die entweichenden Wasserdämpfe bilden eine sehr energische Rührvorrichtung. Nachdem die Oberfläche „abgefeint“ worden ist, indem alle Unreinigkeiten entfernt werden, wird das Glas gerührt, um die Schlierenbildung durch teilweise Lösung der Tiegelwand zu vermeiden. Der Rührer, eine Eisenstange mit Wasserkühlung wird mechanisch bewegt, ebenso wie die meisten Bewegungen, z. B. auch der Hafentransport heute durch Maschinen erfolgt. Ist endlich eine Probe, die dem Hafen entnommen wird, zur Zufriedenheit ausgefallen, dann wird der Hafen ausgefahren und in den Kühlofen gebracht, wo er im Laufe von etwa 14 Tagen abkühlt. Würde man rascher abkühlen, erhielte man nur winzige Scherben, während man Wert auf einigermaßen ansehnliche Stücke legen muß. Das Glas wird dann sortiert und endlich „gesenkt“, d. h. in kleinen Schamotteformen nochmals bis gerade zur Schmelztemperatur erhitzt. Die Masse „senkt“

sich in die Form, man erhält aus einem Brocken eine Platte. Nach abermaliger Kühlung, die im allgemeinen 4—6 Wochen, für astronomische Gläser aber bis zu 3 Monate dauert, ist die Senkplatte fertig, aus der dann mit Hilfe der Diamantsäge und der Schleifsteine die Linsen entstehen. Vorerst aber wird die Senkplatte an zwei gegenüberliegenden Seiten anpoliert und in der Sortiererei genau auf optische Konstanten und „Schlierenfreiheit" untersucht.

Es ist endlich noch einiges über die Eigenschaften eines guten optischen Glases zu sagen. Glas ist eigentlich kein fester Körper, sondern eine äußerst strengflüssige Flüssigkeit — (lange, schmale, nur an den Enden unterstützte Glasstreifen biegen sich im Laufe langer Zeit durch!) — daher hat Glas keinen Schmelzpunkt, sondern ein Fließgebiet. Die Fließtemperatur ist diejenige, wo die Formbeständigkeit völlig aufhört. Die niedrigste Fließtemperatur hat Flintglas mit 650°, die höchste ein schweres Barytkronglas mit 850°. Die Erweichungs- oder Kohäsions-Temperatur ist diejenige, wo das Glas sich wie Knetgummi verhält: sie ist wichtig, weil sich bei ihr alle inneren Spannungen aufheben können. Sie liegt für die oben genannten Gläser etwa bei 430° und 650°. Die Entspannung geht aber bei langer Kühldauer schon bei geringerer Temperatur vor sich, die Entspannungstemperatur ist bei denselben Gläsern 380° und 600°. Das ist wieder wichtig, weil das Glas bei zu starkem Erhitzen plötzlich „entglast": aus der „festen Flüssigkeit" Glas wird ein fester kristalliner Körper Glas, das Glas wird undurchsichtig: „krank". Die Entglasungstemperatur liegt für die obigen Glassorten bei 750° und 900°. In der Praxis muß man sich also hüten, das Glas durch zu starkes Erhitzen entspannen zu wollen. — Erwähnenswerte Eigenschaften des optischen Glases sind endlich noch Hygroskopizität (die man mit Hilfe der Mietheschen Jodeosin-Probe mißt) und Fleckempfindlichkeit unter dem Einfluß von Wassertropfen, die man unbedingt durch passende Anbringung der Linse oder dgl. unschädlich machen muß — es lassen sich in der Praxis nämlich einzelne fleckempfindliche Glassorten nicht umgehen. —

Die einzelnen Schmelzen auch derselben Glassorte unterscheiden sich bei aller Sorgfalt doch immer wieder etwas voneinander. Das führt dazu, daß z. B. ein photographisches Objektiv nach Verbrauch einer Schmelze neu berechnet werden muß. Der Technik wäre es natürlich lieber, wenn man die Glasmasse stets in derselben Zusammensetzung bekäme — ein Wunsch, der bisher noch nicht erfüllt ist[1]). *Dr. Keil.*

[1]) Eine Darstellung der Entwicklung und des gesamten Betriebes der Goerzschen Anlagen mit einer großen Zahl ausgezeichneter Abbildungen bietet der Aufsatz „Das Goerz-Werk" von F. M. FELDHAUS in dem Jahrbuch der schiffbautechnischen Gesellschaft von 1922 (Verlag von Julius Springer in Berlin), S. 341—385. Der Sonderabdruck ist leider im Handel nicht zu haben.

Die Gasfüllungslampen. Im Zusammenhang eines größeren Aufsatzes über Entwicklung, Stand und Aufgaben der elektrischen Beleuchtung (E. T. Z. 1922, Heft 47) behandelt Dr. H. LUX auch die Gasfüllungslampe. Mit Erfolg hat zuerst Langmuir den Gedanken der Füllung mit indifferenten Gasen auf die Wolframglühlampe angewandt. Die ersten um 1913 in Deutschland auftauchenden Lampen dieser Art lieferten beim Betrieb mit 500 W eine „untere hemisphärische" Lichtstärke von 1000 HK, daher mit dem irreführenden Namen Halbwattlampe bezeichnet. Gegenwärtig wird für hochkerzige Lampen eine Füllung mit Stickstoff von etwa $^2/_3$ At. im kalten Zustande verwandt. Trotz des relativ schlechten Wärmeleitvermögens des Stickstoffs muß doch die Oberfläche des Glühdrahts möglichst klein gemacht werden, es wird daher aus dünnem Draht eine sehr enggängige Spirale gewunden, deren Abkühlungsgeschwindigkeit etwa der eines gleich dicken massiven Drahtes gleichkommt. Hierdurch gelang es auch, durch den während des Brennens herrschenden Gasdruck von rund 1 At. die Zerstäubung des Wolframdrahts stark zu vermindern, so daß man mit der Temperatur bis nahe 2800° hinaufgehen konnte und doch noch eine Nutzbrenndauer von 500 h und mehr erhielt.

Es machte keine Schwierigkeit, solche Gasfüllungslampen bis zu Leistungen von 10000 und selbst 16000 W betriebssicher herzustellen, so daß sie in starken Wettbewerb mit den Bogenlampen treten konnten, zumal der Fortfall jeder Bedienung ihnen einen erheblichen wirtschaftlichen Vorteil gab. Dagegen machte die Fabrikation von Lampen unter 500 W ungeahnte Schwierigkeiten, bis sich in dem Argon ein Gas größerer dielektrischer Festigkeit und geringerer Wärmeleitungsfähigkeit darbot. Solche Argonlampen werden heute bis zu 50 W abwärts hergestellt, doch ist die spezifische Leistungsfähigkeit der Lampen unter 150 W nicht höher als die der Wolframvakuumlampe, während die Lebensdauer nur etwa halb so groß wie die der letzteren ist. Da andererseits die Leuchtdichte (Flächenhelle) der Gasfüllungslampe beträchtlich höher ist als die der Vakuumlampe, nämlich 800 HK/cm² gegen 150 HK/cm², so sollten Gasfüllungslampen in Haus und Werkstatt nur in lichtstreuenden Hüllen oder mit Reflektoren gebraucht werden, die den Leuchtkörper dem Auge vollständig verbergen. Freilich wird dabei die Leistung um 15 bis 20 % verringert, aber die Leuchtdichte ist (wie bei allen unseren elektrischen Lichtquellen) so hoch, daß sie nackt benutzt Blendung hervorrufen: besonders zweckmäßig sind die neuerdings von Philipps in Eindhofen in Verkehr gebrachten kleinen Gasfüllungslampen mit Milchglasballons.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Gasfüllungslampe die Möglichkeit bietet, Lichtströme von 800 bis 250000 Lm in einer einzigen Einheit zu erzeugen. Ihre spezifische Leistung bewegt sich zwischen 10 und 21 Lm/W. Zugleich ist sie universellster Anwendung vom

Boudoir bis zum Leuchtturm fähig, und wegen der geringen Ausdehnung ihrer Leuchtfläche auch zu Projektionszwecken vortrefflich geeignet. Die Aktivität ihres Lichtes macht sie auch für die photographische Technik brauchbar. Wegen ihres verhältnismäßig weißen Lichtes kann sie auch zur Erzeugung „künstlichen" Tageslichtes benutzt werden, indem man nur dem Überreichtum an roten und gelben Strahlen durch geeignet gefärbtes Bauglas abfiltert, so daß das erhaltene Licht dem diffusen Tageslicht in seiner spektralen Zusammensetzung annähernd entspricht. Da beim Herausfiltern der gelben und roten Strahlen etwa 20% des Lichtstroms verloren gehen, müssen allerdings erheblich höhere Energiebeträge aufgewandt werden, als sonst bei künstlicher Beleuchtung erforderlich sind.

Eine weitere Verbesserung der Glühlampe erscheint nur möglich, wenn ein Fadenmaterial ausfindig gemacht werden kann, das bei Dauerbelastung erheblich höhere Temperaturen aushält als Wolfram. *P.*

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Das Weltproblem vom Standpunkte des relativistischen Positivismus aus. Historisch-kritisch dargestellt von Joseph Petzoldt. 3. neubearbeitete Auflage unter besonderer Berücksichtigung der Relativitätstheorie. Leipzig und Berlin 1921. X u. 223 S.

Das Buch, das hier in der 3. Auflage vor uns liegt, hat sich seine Stellung in der populär-philosophischen Literatur erworben, und es hat in seinen bisherigen Auflagen sicher das Verdienst, dem oder jenem einen Geschmack von manchem und für manches letzte Problem der Philosophie in sehr sympathischer Form vermittelt zu haben, der sonst wohl kaum ein Verhältnis zu ihnen gewonnen hätte. Es ist in glänzendem Stil mit einer beinahe undeutschen Eleganz des Ausdrucks und mit einer Art von Klarheit geschrieben, die die Vorbedingung dafür ist, einen größeren Leserkreis in der Laienwelt zu erwerben, die aber auch allein es ermöglicht, daß der naivere Leser mit dem sicheren Gefühl, eine wohlgebahnte Straße zu fahren, unbewußt über unergründlichen erkenntnistheoretischen Abgründen dahineilt. Die Kraft, den Leser zu diesem Gefühle der Sicherheit mitzureißen, gibt dem Verfasser seine eigene, beinahe ethisch-religiös betonte Überzeugungsstärke, die, man kann zu dem Buche stehen wie man will, immer als ein menschlich schönes und erfrischendes Moment zu bemerken ist, so sehr sie auch für Verfasser und Leser eine Gefahr bildet, sie da und dort unversehens als sachlichen Grund gelten zu lassen.

P. hat zweifellos sehr beträchtliche Verdienste, die zum Teil auch im vorliegenden Buche liegen. Seine starke Betonung des Prinzips der Eindeutigkeit und der Ökonomie ist in unserer Zeit sicher ein solches, trotz der erkenntnistheoretisch sehr angreifbaren Begründung derselben. Auch sein Prinzip, daß man von „allem" nicht eine Aussage machen könne (das ich in meinen „Grundlagen der Naturphilosophie" das P.sche Prinzip genannt habe), ist von großer Bedeutung, ebenso wie die Art, wie er es hier zur Widerlegung des Spiritualismus und des Materialismus und zur Untersuchung des Substanzbegriffes verwendet. In diesen Dingen liegen, wie mir scheint, die großen positiven philosophischen Qualitäten des Buches.

Anders wird aber das Bild, wenn wir uns den Fundamenten der erkenntnistheoretischen Position P.s zuwenden.

P. nennt sich mit Recht einen „Positivisten". Diese Bezeichnung basiert auf der immer wieder hervorgehobenen Maxime: „Nur von den Tatsachen allein auszugehen." Die Fragen, ob das in der erkenntnistheoretischen Betrachtung (und von dieser ist hier die Rede) überhaupt restlos möglich ist, wie es möglich ist, und ob nicht dieser Begriff der „Tatsache" selbst erst einer weiteren kritischen Untersuchung bedürftig wäre, kommen P. nicht in den Sinn. Überall setzt er sein positivistisches Axiom, daß die „Erfahrung" nicht „überschreitbar" sei, schon ohne Beweis voraus. Er ist in dieser Hinsicht nicht wenig apodiktisch, und da er jede tiefere Begründung unterläßt, dogmatisch. Es darf nach ihm keine Möglichkeit zur Aufstellung allgemeiner und absolut geltender Gesetze geben, man darf es eigentlich nicht einmal versuchen, einen Weg dazu zu finden, offenbar, weil er sich solche nur mit metaphysischer Begründung vorstellen kann. Den Gedankengang der Exhaustion, der zeigt, wie solche Möglichkeit ohne jede Metaphysik, sozusagen rein praktisch gewonnen werden kann, hat P. offenbar noch nicht erfaßt. Daß in diesem Begriff der „Tatsache" schon eine ganze große Metaphysik, eine ganze Mythologie steckt, wird P. nicht bewußt. Von diesem Standpunkt aus kommt er mit Notwendigkeit zu einem völligen logischen Agnostizismus, ja Anarchismus. Er sieht das Ziel darin, den „sinnesphysiologischen Relativismus zur Grundlage der Naturwissenschaft" zu machen (S. 217), d. h. er wünscht das Haus auf dessen eigenem Dache zu errichten. Die Sinnesphysiologie ist doch selbst eine Naturwissenschaft und soll hier die Grundlage zu jeder Naturwissenschaft werden. Das könnte nur mit Münchhausens Zopf geschehen. Ebenso spricht P. immer wieder von der Biologie und der Psychologie als den Grundlagen der Erkenntnislehre (S. 166, 168, 175 u. a.). Gegen diesen Einwand kann sich P. nur damit helfen, daß er die logische Geschlossenheit und Konsequenz der Erkenntnis nicht als Forderung anerkennt. Das kommt denn auch überall aus dem Unbewußten zutage. Er polemisiert gegen den Beweis (182), macht Fehl-

schlüsse über die erkenntnistheoretische Natur der obersten Denkprinzipien (168), verneint die Notwendigkeit der primären Prüfung der Erkenntnismittel überhaupt (175) usw. Auf dem Wege zum logischen Anarchismus, den P. hier beschreitet, muß er dann zuletzt wieder mit den von ihm so hochgeschätzten griechischen Sophisten zusammentreffen, deren große historische Bedeutung darin lag (neben sonstigen wichtigen Verdiensten), daß sie auf etwas mephistophelische Weise das Gute schufen, indem sie durch die Art ihres stellenweise chaotischen Denkens Aristoteles dazu veranlaßten, den Fels der logischen Gesetze aufzurichten. Daß die Relativitätstheorie, die letzten Endes, wenn man ihre Grundlagen betrachtet, auf genau dem gleichen lockeren erkenntnistheoretischen Boden steht wie P., diesem sehr willkommen ist, läßt sich gut verstehen. Aber von philosopisch gerichteten Anhängern der Relativitätstheorie wird P. in vielem abgelehnt (z. B. Reichenbach, Schlick), offenbar aus dem sicheren Selbsterhaltungsinstinkte dieser Theorie heraus, mit dem sie fühlt, daß dieser Forscher mit der Rückhaltlosigkeit und Konsequenz seines Denkens ihr auf die Dauer gefährlich werden muß. Aber dies wird ihr wenig helfen. P. ist und bleibt der wirklich folgerichtige Philosoph der Relativitätstheorie. Vom rein philosophischen Gesichtspunkt aus müssen beide miteinander stehen und fallen.

Man muß auch nicht glauben, daß die Position P.'s gleich der von Ernst Mach sei (dem das Buch gewidmet ist). Die erkenntnistheoretische Position P.'s bedeutet eine einzige, an sich etwas schwierige Seite aus dem Denken Ernst Machs herausgehoben und auf die Spitze getrieben, womit das Verdienst, das auch darin liegt, nicht geschmälert werden soll, wie ich überhaupt nochmals die sachlichen und pädagogischen Meriten des Buches, unabhängig von meinen Einwendungen gegen die philosophische Position P.'s ausdrücklich hervorheben möchte.

Hugo Dingler.

Drei Aufsätze über Spektrum und Atombau. Von N. Bohr, Professor der theoret. Physik a. d. Universität Kopenhagen. Mit 7 Abbildungen. 148 S. (Sammlung Vieweg, Heft 56) Braunschweig, Fr. Vieweg u. Sohn A. G. 1922. M. 120 (freibl.)

Der erste dieser Aufsätze stammt aus dem Jahre 1913 und behandelt die Linien des Wasserstoffspektrums auf Grund der Elektronentheorie. Der Verfasser sagt selbst, daß damit keine Erklärung im gewöhnlichen Sinne der Physik gegeben sei, sondern nur eine Verbindung zwischen Tatsachen, die beim jetzigen Stand der Wissenschaft unerklärbar seien. Der zweite Aufsatz gibt einen 1920 in der Physikalischen Gesellschaft zu Berlin gehaltenen Vortrag wieder, der die Serienspektren der Elemente auf derselben Grundlage behandelt. Der dritte endlich, ein Vortrag vom Oktober 1921, führt die vorhergehenden Betrachtungen weiter und dehnt sie auf die chemischen Eigenschaften der Elemente aus, indem er deren Atome aufzubauen versucht durch sukzessive Einfangung und Bindung der einzelnen Elektronen in dem den Kern umgebenden Kraftfeld unter Beachtung der dabei auftretenden Energieänderungen. Die Möglichkeit, sowohl die spektroskopischen als die chemischen Eigenschaften aus derselben Grundanschauung abzuleiten, fällt erheblich ins Gewicht zugunsten des Realitätscharakters dieser Annahme. Die Schrift ist indessen nicht leicht zu lesen, da die zugrunde liegenden mathematischen Betrachtungen mit Worten mehr umschrieben als verdeutlicht werden. *P.*

Das Elektron. Seine Isolierung und Messung. Bestimmung einiger seiner Eigenschaften. Von R. A. Millikan, Prof. der Physik a. d. Universität Chicago. Übersetzt von Dr. Karl Stöckl. Mit 32 Abbildungen. 263 S. Braunschweig, Fr. Vieweg u. Sohn, 1922. M. 540.—, geb. M. 660.— freibleibend.

Der Verfasser ist namentlich durch sein Verfahren der schwebenden Tröpfchen zur Bestimmung des elektrischen Elementarquantums allgemein bekannt geworden. Die eingehende Darstellung dieses Verfahrens steht auch im Mittelpunkte des vorliegenden Buches, das aber zugleich eine Schilderung der geschichtlichen Entwicklung der Elektronenlehre und ihres heutigen Standes umfaßt. Es dürfte kaum eine zweite Schrift geben, die so klar und anschaulich in die auf diesem Gebiet angewandten Methoden und in die noch zu lösenden Fragen einführt. Besonders interessant und lehrreich ist die Kritik, die der Verfasser beständig an den eigenen und an fremden Untersuchungen übt. In der Frage der Subelektronen weist er bereits die Behauptungen Ehrenhafts als unzutreffend zurück. Die Brownsche Bewegung in Gasen wird zu quantitativen Messungen benutzt, die die Richtigkeit der Einsteinschen Gleichung dartun. Ein Schlußabschnitt behandelt die Natur der strahlenden Energie besonders im Hinblick auf den Gegensatz der Korpuskulartheorien und der Ätheretheorien der Strahlung und zeigt die Schwierigkeiten, die beiden noch anhaften. Er setzt hier u. a. auch auseinander, wie in der Einsteinschen Quantentheorie der Strahlung aus offenbar unzulässigen Voraussetzungen eine Formel für die Lichtenergie entwickelt wird, mit der Elektronen aus Metallen durch einfarbiges Licht abgeschleudert werden und daß gleichwohl diese Formel durch die Erfahrung glänzend bestätigt wird. „Die Welt der Atome und der Elektronen hat sich dem Auge des modernen Physikers in wunderbarer Schönheit und Folgerichtigkeit enthüllt; ihre Beziehungen zur Welt der Ätherwellen aber sind uns noch ein tiefes Geheimnis“. *P.*

Prinzipien der Atomdynamik. Von Prof. Dr. J. Stark. I. Teil: Die elektrischen Quanten. 95 S. Leipzig, S. Spiegel, 1922. (M. 120, geb. M. 200).

Die Schrift gehört unbedingt zu den grundlegenden des ganzen Gebiets. Der Verfasser hat

schon in der 1. Auflage von 1910 mit sicherer Hand die Grundlinien des Bauplans einer Atomdynamik entworfen, noch ehe Bohr mit seinen Modellen hervortrat. Das Kennzeichnende des Buches ist eine beständige Verknüpfung des bis dahin bekannten Tatsachenmaterials mit den theoretischen Vorstellungen, die er daran anschließt und zum Teil daraus ableitet. Die Lektüre ist darum in erkenntnistheoretischer Hinsicht ein Genuß. Es werden die bereits erforschten oder noch erst zu erforschenden Eigenschaften der elektrischen Quanten dargestellt, deren Verhältnis zu den chemischen Atomen behandelt, endlich die atomistische Struktur des leitenden, dielektrischen und magnetischen Mediums analysiert und die Folgerung gezogen, daß auch die Energie in dem Außen- und Innenvolumen eines Körpers eine diskontinuierliche Struktur besitzt. Auch die Schwerkraft wird auf einen besonderen Zustand des Äthers begründet, dessen Annahme der Verfasser als unabweislich betrachtet. — Die vorliegende 2. Auflage ist zufolge der inzwischen gemachten Fortschritte gegen die erste stark verändert. Wesentlich neu sind die Kapitel über die elektrischen Quanten als Bausteine chemischer Atome und über die Energie und Innenbewegung elektrischer Quanten. Besonders bemerkenswert sind die Darlegungen über die atomistische Struktur permanenter Magnete und über die „begründete Annahme", daß ein chemisches Atom lediglich aus positiven und negativen Quanten, letzten Endes aus Wasserstoffatomen und negativen Elektronen besteht. *P.*

Einführung in die Geophysik. Von A. Prey in Prag, C. Mainka in Göttingen und E. Tams in Hamburg. (Naturwissenschaftliche Monographien und Lehrbücher Bd. IV.) Mit 82 Textabbildungen. VIII u. 340 S. Berlin, Julius Springer, 1922. Grundzahl M. 12, geb M. 13.

Das Buch soll als Einführung in das genauere Studium des Gebietes dienen, darum wurden besonders die theoretischen Grundlagen mit einer gewissen Breite entwickelt. Im ersten Abschnitt behandelt A. Prey die Anwendung der Geodäsie auf geophysische Probleme (Geoid, Seehöhe, Gezeiten, Konstitution der Erde; im zweiten C. Mainka die physikalische Seite der Erdbebenkunde (Seismische Instrumente, Laufzeiten der Erdbebenwellen, Seismogramme, Epizentrum, Herdtiefe, Beschaffenheit des Erdinnern u. a.), im dritten E. Tams die endogendynamischen Vorgänge (Grundgerüst der Erde, Krustenbewegungen, Vulkanismus, säkulare Verschiebungen der Grenzen von Land und Meer). Man gewinnt beim Lesen den Eindruck, daß die meisten Probleme noch stark im Flusse sind. Von Einzelheiten sei herausgehoben: der Erdrinde ist nach Wiechert eine Dichte von 3,0–3,4 zuzuschreiben, dem Kern, der bis etwa $^3/_4$ des Erdradius reicht, eine solche von 8,2, nach anderen Angaben liegt diese zwischen 7,8 und 8,9. Als Stoff ist danach Eisen, bzw. Eisen mit Nickel und Kobalt anzunehmen. Die Dichte im Erdmittelpunkt wird zu 10—12 angegeben, der Druck wird bei der Dichte 10,1 zu $2{,}9 \cdot 10^6$ Atm. berechnet. Für die hohe Temperatur des Erdinnern haben wir keine Beweise. Setzt man eine solche voraus, so müßten unter gewöhnlichen Verhältnissen nicht nur alle Stoffe vergast, sondern auch die kritische Temperatur weit überschritten sein. Einen gasförmigen Körper von der Dichte 10 können wir uns nicht vorstellen. Man wird annehmen müssen, daß die Materie unter diesen Umständen einen uns unbekannten Zustand der Plastizität annimmt, der große Beweglichkeit der Teilchen mit großer Festigkeit und Dichte vereinigt. *P.*

Die Farbenlehre. Von Wilhelm Ostwald u. a. IV. Buch, Physiologische Farbenlehre von Dr. H. Podestà XII und 274 S. 1 Tafel u. 29 Textfiguren. Verlag Unesma Leipzig. 1922. M. 132,—, geb. M. 176,—.

Einer einleitenden Beschreibung der Einrichtung des Auges und der physiologischen Wirkungen des Lichtes überhaupt (82 Seiten) folgt die Mitteilung der Messungsergebnisse bei normalen Farbenempfindungen. In diesem für alles Folgende grundlegenden Abschnitte sind leider einige nur dem Arzt geläufige Bezeichnungen ohne Erläuterung angewendet. Es folgen die Theorien des Farbensehens und die Besprechung der verschiedenen Behauptungen, die über die Entwicklung des Farbensinnes aufgestellt sind. Fast die Hälfte des Buches ist dann den Abweichungen vom normalen Farbensinn gewidmet, entsprechend der großen Bedeutung, die diese für die Erforschung des Farbensinnes gehabt haben und im praktischen Leben haben. Ein Schlußabschnitt (34 Seiten) über die Gesundheitspflege des Auges paßt nicht recht in den Rahmen des Buches. *W. Vn.*

Die Harmonie der Formen. Von Wilhelm Ostwald XI u. 117 Seiten, 106 Figuren. Verlag Unesma, Leipzig. 1922. M. 90,—, geb. 126,50.

Aus einigen Beispielen leitet Ostwald ab, daß nur Formen, die eine Gesetzmäßigkeit erkennen lassen, harmonisch wirken. Er sucht dann in Linien, Flechten, Bändern, unbegrenzten und begrenzten Flächen die möglichen Arten der Gesetzmäßigkeit auf. Diese beziehen sich auf die Einzelform, die Wiederholung derselben in gleicher, gespiegelter und gedrehter Lage, das Verhältnis von Rand und Mittelstück, Grund und aufgelegtem Schmuck. Alle irgendwie möglichen flächenhaften Muster werden auf diese Weise geordnet, bevor sie wirklich ausgeführt sind, und der Zweck des Buches ist, Vorarbeit zu leisten für die planmäßige Erzeugung von Mustern. Solche sollen mappenweise herausgegeben werden. *W. Vn.*

Die Farbe. Sammelzeitschrift für alle Zweige der Farbkunde. Heft 9—21. Herausgeber Wilhelm Ostwald. Verlag Unesma, Leipzig 1921.

Heft 9 (Ostwald): Übersicht dessen, was in dem inzwischen erschienenen Buch Harmonie

der Formen steht. 10 (Schaller u. Bühler): Erfahrungen mit der Farblehre im allgemein bildenden Zeichen- und Kunstunterricht und Gedanken über Ziel und Art solchen Unterrichtes. 11 (Ostwald): Die beste Korngröße, die für jeden Farbstoff eine andere ist, wird als diejenige ermittelt, bei der das zurückgeworfene Licht einem Farbenhalb am nächsten kommt. 12 (Ostwald): Die Ausgiebigkeit der Farbstoffe wird durch die Menge des Verdünnungsmittels (Zinkweiß) definiert, die den Weißgehalt auf 50% bringt. 13 (Dorias): Einige einfache Lehrmittel zu Klassenübungen im Sinne der Ostwaldschen Farbenlehre. Nebenher Auffindung von Farbenblindheit bei zwei Schülern durch diese Übungen. 14 (Ostwald): Gedanken über die Quellen der Kunst, besonders über Rhythmus und Erinnerungswert. 15 (Ostwald): Die Grundlagen der Farbnormen werden in drei Normenblattvorschlägen zusammengefaßt. 16 (Ostwald): Es wird gegenüber der Ansicht von Hellpach gezeigt, daß subjektive Kontrasterscheinungen auf die Messung der Farbe, wie sie von Ostwald vorgeschrieben ist, keinen Einfluß haben und daß sie in den Harmoniewerten immer untrennbar enthalten sind. 17 (Ostwald): Das Dreifarbenverfahren kann niemals allen Ansprüchen genügen. Schon bei additiver Mischung werden die Zwischenfarben zu trübe. Die beim Übereinanderdrucken entstehenden Farbtöne lassen sich im Voraus gar nicht angeben. Ausblicke auf ein vielleicht mögliches Farbendruckverfahren. 18 (Ostwald): Begründung des Überganges zu Lasurfarben für alle Farbtöne; erfolgreiche Versuche zur Herstellung in fester Form; Tuschkasten Kleinchen. 19 (Ostwald): Die Deckfähigkeit wird aus der Schichtdicke ermittelt, die auf bedrucktes Papier aufzutragen ist, bis die Erkennbarkeit des Grundes aufhört. Definitionen und Berechnungen werden angegeben. 20 (Ostwald): Erörterung der verschiedenen Ursachen der Lichtempfindlichkeit der Farbstoffe. Hinweis auf die Schwelle der Lichtempfindlichkeit, mit deren Messung die Untersuchung beginnen muß. 21 (Ostwald): Die Herstellung farbiger Gewebe durch Mischung verschiedenfarbiger Fasern und durch gleichmäßiges Einfärben erfordert unter Umständen sehr verschiedene Farbstoffmengen. Ostwalds Farblehre macht dies und die verschiedene Haltbarkeit der so erzielten Färbungen begreiflich.

W. Vn.

Reine Farbkunst in Raum und Zeit und ihr Verhältnis zur Tonkunst. Von Hans Lorenz Stoltenberg. 35 Seiten, Verlag Unesma, Leipzig, 1920. M. 7,20.

Der Verfasser verfolgt den Gedanken einer reinen Farbkunst, vergleicht sie mit der Tonkunst und weist besonders auf die Unverwandtheiten beider hin. Er schildert frühere Versuche zur Verwirklichung einer Farbkunst und zeigt weshalb sie erfolglos blieben. *W. Vn.*

Lehrbuch der Physik für Studierende. Von Prof. Dr. H. Kayser. 6. verb. Auflage. Mit 349 Abbildungen. Stuttgart, Ferdinand Enke. 1921. 562 S. M. 72.—.

In dieser Auflage sind einige Bemerkungen über Relativitätstheorie, Quantentheorie und Röntgenspektra hinzugefügt. Die Verbesserungsvorschläge von W. Roth, d. Ztschr. XXX, 224, sind nicht beachtet.

Lehrbuch der Physik. Von O. D. Chwolson. 2. verb. u. verm. Auflage. III. Bd. 1. Abt.: Die Lehre von der Wärme. Herausgegeben von Gerhard Schmidt in Münster i. W. Mit 105 Abb. 450 S. Braunschweig, Friedrich Vieweg u. Sohn, A. G. 1922. M. 15 mal Schlüsselzahl.

Der Band umfaßt im wesentlichen Thermometrie, Wärmekapazität, Thermochemische Erscheinungen, Erkaltung der Körper- und Wärmeleitung. Namentlich durch die Arbeiten von Einstein (1907 und 1910), Debye, Born, Kármán u. a. über die Wärmekapazität der Körper sind ganz neue Grundlagen für die Wärmelehre geschaffen worden. Das Gesetz der Abhängigkeit der Wärmekapazität von der Temperatur ist festgestellt und ihr Zusammenhang mit den elastischen Schwingungen soweit erforscht, daß man von einer Verschmelzung der Lehren von der Wärme und vom Schall reden kann. Demgemäß hat das Buch eine Umgestaltung von Grund auf erfahren, während zugleich vieles, was heute nur noch historisches Interesse hat, gestrichen wurde. Dadurch ist dieser bis in die letzten Jahre reichende Band zu einer völlig modernen Lehrdarstellung des Gebiets geworden. *P.*

Physik für die Unterstufe. Von Prof. H. Freitag, München. 235 S. Nürnberg, Carl Koch, 1922. M. 18.—.

Der Verfasser legt besonderen Wert auf die physikalischen Schülerübungen im Unterricht. Da diese Übungen wegen Mangels an Geldmitteln jetzt vielfach unterlassen werden müssen, so ist das Buch so angelegt, daß es auch brauchbar sein soll, wenn nur Demonstrationsunterricht erteilt wird. Die Darstellung ist klar und leicht faßlich; man merkt, daß darauf besondere Mühe verwendet worden ist. Die Denk- und Rechenaufgaben sind dem Inhalt der einzelnen Kapitel gut angepaßt. Ich habe an dem Buche aber folgendes auszusetzen: Es geht mir als Lehrbuch der Unterstufe in der Bemessung des Stoffes zu weit. Dies gilt besonders von den absoluten und technischen Maßeinheiten, dem Coulombschen Gesetz, der Definition des „Gauß“ und vielem anderen. Dem Schüler der Unterstufe fehlt noch die mathematische Schulung, die für die Durchführung solcher theoretischer Betrachtungen unerläßlich ist. Es wäre besser gewesen, diese Teile des Lehrstoffes der Oberstufe des Buches vorzubehalten, die später erscheinen soll.

P. Henckel.

Grundriß der Experimentalphysik für höhere Lehranstalten. Von Prof. Dr. W. Donle,

München. 262 S. Leipzig und Berlin, B. G. Teubner, 1922. M. 62.50.

Die 6. Auflage des bekannten Buches unterscheidet sich von der 5. durch eine Anzahl von Ergänzungen, von denen die folgenden beachtenswert sind. In der Elektrizitätslehre wird schon früh die Elektronentheorie gebracht und nach Möglichkeit bei der Erklärung der Erscheinungen benutzt. Am Ende des Buches ist ein Kapitel hinzugefügt, in dem die moderne Auffassung vom Bau des Atoms skizziert wird. Den Schluß des Buches bildet ein neues Kapitel „Quantentheorie und Relativitätstheorie". Der Verfasser hat dieses zwei Druckseiten umfassende Kapitel auf Wunsch von Fachkollegen hinzugefügt, gibt aber zu, daß man Bedenken dagegen haben könne. Ich teile diese Bedenken. Die Relativitätstheorie ist so schwierig, daß sie im Klassenunterricht niemals wirklich behandelt werden kann. Die bloße Mitteilung einiger besonders merkwürdiger Sätze dieser Theorie ist aber zwecklos und wird leicht mißverstanden. Ich möchte für spätere Auflagen des Buches vorschlagen, die Bemerkungen wegzulassen und dafür anderes, z. B. die Telegraphie ohne Draht, etwas ausführlicher zu behandeln.

P. Henckel.

Lehrbuch der Physik. Von E. Grimsehl. Zum Gebrauche beim Unterricht, bei akademischen Vorlesungen und zum Selbststudium. II. Band: Magnetismus und Elektrizität. 5. verm. und verb. Auflage, herausgegeben von W. Hillers und H. Starke. 780 S. Mit 580 Figuren im Text. Leipzig, B. G. Teubner, 1923. M. 3000.— geb. M. 4000.—.

Nachdem die vorige Auflage durch die Mitwirkung von H. Starke eine große Zahl wertvoller Umgestaltungen und Bereicherungen erfahren hatte, ist die vorliegende wieder von W. Hillers allein besorgt worden. Sie ist beträchtlich erweitert durch die Einbeziehung der Astonschen Untersuchungen über das Massenstrahlenspektrum und die daran anschließenden Forschungen über Isotopie und über das gesamte „elektrische Weltbild der Materie". Der Herausgeber hat auch neueste Entdeckungen noch berücksichtigt und so eine glänzende Darstellung des heutigen Standes der Wissenschaft geschaffen. Eine nicht minder bemerkenswerte Erweiterung des Buches besteht in einer ausführlichen Darstellung der Relativitätstheorie (S. 676—738), sowie im Gegensatz zu anderen Veröffentlichungen namentlich auch die physikalische Seite des Gegenstandes zu ihrem Recht kommt. Auch diese Darstellung muß als meisterhaft bezeichnet werden und wird dem Werke neue Freunde erwerben, Endlich sei noch hervorgehoben, daß die neueren technischen Fortschritte der drahtlosen Telegraphie Aufnahme gefunden haben. Dem Physiklehrer, der heute weniger als je in der Lage ist, die wissenschaftliche Literatur zu verfolgen, wird das Buch ein zuverlässiger Berater sein; auch die theoretischen Darbietungen überschreiten nicht das für diesen Zweck erforderliche Maß und werden sicher vielen Lesern willkommen sein. *P.*

Die Technik. Ihr Wesen und ihre Beziehungen zu anderen Lebensgebieten. Von Dr.-ing. Robert Weyrauch, Prof. a. d. technischen Hochschule zu Stuttgart. 280 S. Stuttgart, Deutsche Verlagsanstalt, 1922. M. 120.—.

Wir haben es hier mit einem Grundwerk zu tun, das über die Stellung der Technik im Organismus der menschlichen Gesamttätigkeit erschöpfende und wohldurchdachte Aufklärungen gibt. Die Einflechtung zahlreicher Aussprüche von Sachkennern über die in dem Buch behandelten Gegenstände verleiht der Darstellung eine ungemeine Fülle und Weite, zumal der Verfasser sich mit ihnen auch kritisch auseinandersetzt. In sieben Abschnitten werden behandelt: das technische Schaffen, Technik und Wirtschaft, das Wesen der Wissenschaften, Technik und Naturwissenschaft, Technik und Geisteswissenschaften, Technik und Kunst, Technik und Kultur. Namentlich der letzte Abschnitt leitet den Blick von den engeren Aufgaben der Technik zu den höchsten Zielen menschlichen Daseins, indem er die Technik von einer einseitigen materialistischen und mechanistischen Einstellung abgewendet und in den Dienst der eigentlichen Kulturaufgaben gestellt sehen will. Nicht minder bedeutsam ist die Rolle, die der Technik im modernen Wirtschaftsleben zugewiesen wird, wo es sich besonders darum handelt, auch den Arbeiter mit Freude an seinem Tun zu erfüllen und in ihm den Gemeinschaftsgedanken lebendig zu machen. Wenn es dem Verfasser gelingt, bei den Vertretern der Technik Interesse und Betätigung in den angedeuteten Richtungen zu erwecken, so hat er eine dankenswerte und wertvolle Arbeit geleistet. Auch wir Lehrer sollten dafür sorgen, die hier vertretene ideale Auffassung der Technik in weiteren Kreisen, namentlich bei der Jugend, zu verbreiten. *P.*

Die Darstellung des modernen Eisenbahnwesens, insbesondere der Lokomotive, als Lehrmittel für Hochschule, Schule und Volksaufklärung. Von Dr. Walter Strauss. Mit 4 mehrfarbigen und 32 einfarbigen Kunstdrucktafeln. 152 S. Stuttgart, Franckhs Technischer Verlag Dieck u. Co., 1922. M. 375.—, geb. M. 500.— (Augustpreis 1922).

Der Verfasser geht von dem Gedanken aus, daß die zur Spielbetätigung und Belehrung bestimmten Modelle des modernen Eisenbahnwesens fast durchweg zu wenig der Wirklichkeit entsprechen, als daß sie ihrem Zweck mit Erfolg zu dienen vermöchten. Das Versagen der Modelle beim ersten Gebrauch oder nach kurzer Zeit sind die unvermeidlichen Folgen mangelhafter Konstruktion. Nach einem Überblick über die Verirrungen und Mißstände im Modellwesen werden die Forderungen aufgestellt, die an derartige Modelle gestellt werden müssen, und die

auch erfüllbar sind, wie die Beispiele englischer Firmen und der Gesellschaft für Präzisionslehrmittel in Frankfurt a. M. beweisen. In den einzelnen Kapiteln werden mit ebensoviel Sachkenntnis wie Liebe zur Sache behandelt: die Wahl der Lokomotivtype und ihres Antriebes, die Spurweite, das rollende Material, der Oberbau, das Signalwesen, die Eisenbahnkunstbauten, das nicht betriebsfähige Modell, die Selbstanfertigung von Modellen (zum Teil aus fertigen Gußstücken), Vorführung von Modellen in Ausstellungen, Aufklärung durch Bild, Schrift, Wort und Poesie, sowie durch Denkmalspflege. Ein ungemein reichhaltiges Material ist hier in ansprechendster Form zusammengetragen und um so mehr der Kenntnisnahme aller Physiklehrer wert, als sich hier für Unterrichtszwecke im allgemeinen und für den Arbeitsunterricht die mannigfachsten Anregungen finden. *P.*

Entdeckungsfahrten in den elektrischen Ozean. Von A. Slaby. Ein Vierteljahrhundert drahtloser Telegraphie. 6. Auflage, neu bearbeitet von A. Nairz, Oberingenieur. 240 S. mit 182 Abbildungen auf 63 Tafeln und dem Bildnis Slabys. Berlin, Leonhard Simion. M. 6.— mal Schlüsselzahl.

Als vor 25 Jahren Slabys Schriftchen über Funkentelegraphie erschienen war, schrieb ein Mitarbeiter in dieser Zeitschrift, daß man die durchsichtige Klarheit und die warme Begeisterung des Verfassers stets von neuem bewundern muß. Diese beide Eigenschaften besitzt in wohl noch höherem Maße das vorliegende Werk, das in der Zwischenzeit fünf Auflagen erlebt hat. Es ist ergänzt durch Beiträge des Herausgebers, die die letzten 25 Jahre der Erfindung übersichtlich darstellen, durch eine Beschreibung der Großstation Nauen-Geltow, eine Chronik der drahtlosen Telegraphie und eine kurze Biographie des 1913 verstorbenen Verfassers. Er führt aufs fesselndste in die Anfänge der so bedeutsamen Erfindung ein und gibt dem Nichtfachmann ein Bild von den Hauptstufen der Entwicklung bis auf unsere Zeit. *P.*

Hochfrequenzmeßtechnik. Ihre wissenschaftlichen und praktischen Grundlagen. Von Dr.-Ing. August Hund. Mit 150 Textfiguren. XIV u. 326 S. Berlin, Julius Springer, 1922. Geb. 8,4 mal Index.

Der Verfasser, beratender Ingenieur zu Berkeley (Kalifornien), hat hier eine sehr reichhaltige Übersicht über die Verfahren der Hochfrequenzmessung zusammengestellt. Wir erfahren daraus, daß besonders die Einführung von brauchbaren Generatoren für ungedämpfte Schwingungen und die des Röhrenoszillators die Meßtechnik stark beeinflußt und vereinfacht haben. In 26 Kapiteln werden u. a. behandelt die Hochfrequenzgeneratoren, Spannungs-, Strom-, Phasen- und Frequenzwechsler, Gleichrichtung von Strömen, die Messungen von Hochfrequenzströmen, Bestimmung von Wellenlänge, Periodenzahl und Periodendauer, ferromagnetische Untersuchungen, Vakuumröhrenmessungen, Antennenuntersuchungen, ein verallgemeinertes symbolisches Verfahren für freie und aufgezwungene Spannungen. Das Buch ist für Studierende der Hochfrequenztechnik wie für den in der Praxis stehenden Ingenieur und Physiker geschrieben, die Bekanntschaft mit den Geräten und den elementaren Meßmethoden wird zumeist vorausgesetzt. *P.*

Die drahtlose Telegraphie und Telephonie. Von Dr. P. Lertes. Wissenschaftliche Forschungsberichte, naturwissenschaftliche Reihe, Bd. 4. Dresden und Leipzig, Th. Steinkopff, 1922. 152 S. 45 Abb. M. 32.—.

Die Wissenschaftlichen Forschungsberichte (vgl. *d. Zeitschr. 35, 242, 1922*) bringen in gedrängter Form aus einzelnen Gebieten eine Auswahl des Wichtigsten, was im In- und Ausland seit 1914 erschienen ist. Sie wollen unter Voranstellung der Forschungsergebnisse ein schnelles Einarbeiten und einen Überblick über das betreffende Gebiet ermöglichen.

Dementsprechend ist das vorliegende Buch kurz und klar abgefaßt. Es gibt einen vorzüglichen physikalischen und historischen Überblick über das gesamte Gebiet der drahtlosen Telegraphie unter Beigabe von zahlreichen und guten Literaturzusammenstellungen, die bis zum heutigen Standpunkt hinführen. Die Arbeiten des In- und Auslandes werden gleichmäßig berücksichtigt, dabei wird die Elektronenröhre gemäß ihrer umwälzenden Bedeutung stark betont. Das Buch ist jedem, der sich über die Fortschritte der drahtlosen Telegraphie in den letzten Jahren unterrichten will, warm zu empfehlen. *K.*

Die Fortschritte der drahtlosen Telegraphie und Telephonie in Deutschland während der Jahre 1910—1922. Von Studienrat E. Scheiffler. Tauben-Verlag, Berlin 1922. (Schriften zur Kultur und Technik, herausgeg. von Dr. E. Henner). 56 S.

Unter den vielen Schriften über die neuen Errungenschaften der Funkentelegraphie verdient das vorliegende Büchlein besondere Beachtung. Der Verf. war um so eher dazu berufen, es zu schreiben, als er einerseits den Stoff aus langjähriger Tätigkeit bei der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie völlig beherrschte, andrerseits als praktischer Schulmann mit den Erfordernissen klarer Darstellung vor Schülern vertraut war. Der Unterschied zwischen gedämpften und ungedämpften Wellen, die Methoden ihrer Herstellung, die Glühkathodenröhre als Sender und Empfänger, die verschiedenen Antennen, die heute bereits erreichte Reichweite, endlich auch die drahtlose Telephonie werden an der Hand einer Anzahl einfacher Figuren in allgemein verständlicher Weise entwickelt. Die kleine Schrift ist zur Einführung in das Gebiet wohl geeignet und kann auch beim Unterricht gute Dienste leisten. *Schk.*

Der Werkunterricht in seiner soziologischen, physiologischen, psychologischen und pädagogischen Begründung. Vom Schulrat H. Scherer. 2. völlig umgearbeitete Auflage. 113 S. Peine, Rudolf Rothar. 1921. M. 12.—, geb. M. 13,50.

Das Buch enthält allgemeine Darlegungen über die werktätige Arbeit im Dienste der Kultur, die Entwickelung des Kindes unter dem Einfluß der werktätigen Arbeit, die unterrichtliche Gestaltung der werktätigen Arbeit und die Pflege der technischen, geistigen und sittlichen Bildung durch die werktätige Arbeit. Der Verlag versendet auch eine Preisliste von Werkzeugen und Werkstoffen für den Werkunterricht. *P.*

Leitfaden der technischen Wärmemechanik. Kurzes Lehrbuch der Mechanik der Gase und Dämpfe und der mechanischen Wärmelehre. Von Prof. Dipl.-Ing. W. Schüle. Dritte verm. u. verb. Auflage. Mit 93 Textfiguren und 3 Tafeln. 223 S. Berlin, Julius Springer, 1922. M. 33.—.

Der rühmlichst bekannte Wärmetheoretiker hat diesen Leitfaden für die erste Einführung in den Gegenstand und in erster Linie zum Selbstunterricht bestimmt, mit dem ausgesprochenen Zweck, Kenntnisse zu vermitteln, die für die technische Praxis verwertbar sind. Er stellt keine hohen Ansprüche an die mathematische Vorbildung, setzt aber Verständnis für die graphischen Darstellungs- und Rechnungsweisen voraus. Bereits nach vier Jahren ist diese 3. Auflage erschienen, in die namentlich auch ein Abschnitt über die „Wärmepumpe" aufgenommen ist; so wird jede Vorrichtung genannt, in der durch Kompression eine Steigerung der Temperatur eines Gases oder Dampfes hervorgerufen wird. Solche Vorrichtungen sind in neuerer Zeit mehrfach zu praktischer Verwendung gekommen. *P.*

Die Natur der chemischen Valenzkräfte. Von Dr. J. Stark, Prof. d. Physik. Mit 4 Fig. Leipzig, S. Hirzel, 1922. 27 S. M. 10.—.

Die kurzgefaßte Schrift gibt nach einigen grundlegenden Betrachtungen zum Kraftbegriff überzeugende Ausführungen zur Valenzelektronhypothese des Verfassers. Sie weist kritisch die Schwächen der Rutherford-Bohrschen Atomtheorie nach, die nicht fähig sei, das Valenzkraftgleichgewicht zu erklären, und stellt dann der Anschauung vom Elektron als starrem, kreisendem Körper von Kugelgestalt eine neue Hypothese gegenüber, wonach das elektrische Elementarquantum — unter Ablehnung bestimmter Annahmen über die Form — als ein „innerlich zyklisch bewegter Körper, dessen Figurenmittelpunkt ruhen kann" betrachtet wird. Die gedrängten, aber doch überaus klaren Darlegungen gehen auch die Schulchemie an insofern, als ihr Ergebnis uns stutzig machen muß, ob es richtig sei, von den wegen ihrer astronomischen Analogien verführerischen Bohrschen Anschauungen überhaupt irgend etwas schon im Elementarunterricht zu bringen. Es wird richtiger sein, das ganze Valenzproblem als ein noch ungelöstes zu bezeichnen, an dessen Lösung aber in der letzten Zeit eifrig gearbeitet wird.

O. Ohmann.

1. Organische Chemie. Bearbeitet von Dr. R. Pummerer, Prof. a. d. Univ. München. Bd. III der „Wissenschaftlichen Forschungsberichte". Dresden u. Leipzig, Th. Steinkopff, 1921. XII u. 182 S. M. 36.—.

2. Kolloidchemie 1914—1922. Bearbeitet von Dr. Raphael Ed. Liesegang, Mitgl d. Univ.-Inst. f. phys. Grundl. der Medizin zu Frankfurt a. M. Bd. VIII ders. Sammlung. 1922. VIII u. 100 S. M. 60.

1. Der allgemeine Charakter der neuen Sammlung ist bereits in d. Ztschr. (*35, 242*) kurz gekennzeichnet worden. Der vorliegende Band gibt an der Hand gründlicher Literaturnachweise einen ausgezeichneten Überblick der letztjährigen Forschungsergebnisse in der organischen Chemie. Vieles wird auch den Schulmann, besonders den mehr biologisch gerichteten Chemiker interessieren. Wir nennen nur die Forschungen zum Problem der Kohleveredlung, die Harriesschen Untersuchungen über den Kautschuk und seine Vulkanisierung, die Arbeiten von Willstätter, K. A. Hofmann u. a. über die Baeyersche Formaldehydhypothese der Kohlenstoffassimilation, die Schlenksche Isolierung der Alkalialkyle. Der Band verdient allgemeinere Beachtung.

2. Es sind nicht nur Referate im üblichen Sinne, die hier unter umfassender Berücksichtigung der Kolloid-Literatur geboten werden, vielmehr sind diese von reifer, sachkundiger Beurteilung kritisch durchleuchtet, wenn auch der Verfasser immer „nur berichten" will. Das Für und Wider der neu auftauchenden Anschauungen und Theorien des jugendfrischen Forschungszweiges findet eine vorzügliche Behandlung, gemahnt aber auch die Schulchemie, mit ihrer Aufnahme noch sehr vorsichtig zu sein, denn wir dürfen in Unterricht und Lehrbuch nur wirklich Abgeklärtes bringen. Warum die eigenen Arbeiten des Verfassers (z. B. von S. 24 u. 82) nicht im Namenregister erwähnt sind, ist nicht ersichtlich. Das Buch gibt von dem regen Leben und den vielseitigen Arbeiten in dem neu erschlossenen Gebiet für weite Kreise ein vortreffliches Bild. *O. Ohmann.*

Chemische Schulversuche. Zusammengestellt von Prof. Friedr. Brandstätter. Mit 258 Abb. Wien 1922. A. Pichlers Wwe. u. Sohn. 356 S. M. 50.

Der den Lesern dieser Zeitschrift wohlbekannte Verfasser hat seine zahlreichen, hier und anderwärts veröffentlichten neuen Versuchsanordnungen im vorliegenden Werke vereinigt und durch viele der sonst üblichen Versuche und einige neue von anderen Autoren ergänzt. In 42 Kapiteln, von denen die acht letzten der organischen Chemie zufallen, werden in 412 Versuchen die chemischen Elemente — etwa nach der Reihenfolge der älteren

Systematik (eine Inhaltsübersicht ist leider, wohl aus Sparsamkeitsgründen, unterblieben) — nach ihren wichtigsten Eigenschaften und Reaktionen behandelt. Dabei sind die einfachen, sich zu Schülerübungen eignenden Versuche in erfreulichem Maße bevorzugt. Das Ganze ist durchaus geeignet, die Schulchemie zu fördern. An verschiedenen Stellen konnte jedoch die Unfallverhütung stärker berücksichtigt sein; so bei einigen Explosionsversuchen, für die wir statt des „Lampenzylinders" mit Kork-, Glasrohr- und Blechröhrchen-Aufsatz lieber die Rosenfeldsche Pipette gesehen hätten; ferner bei den H_2O-Eudiometerversuchen, wo auch die gefährliche Explosion von genau $2\,H : 1\,O$ vorgenommen und sogar, was methodisch zu beanstanden ist, an den Anfang gestellt wird (vgl. die Unfallmeldungen *ds. Zeitschr. 34, 45*); leider ist auch der Versuch des Aufsteigenlassens von Natriumstücken im Fußzylinder mit aufgenommen und zwar als erster und mit Abbildung. Vielleicht wird mancher mit der zuweilen etwas weit ins Subtile gehenden Art des Experimentierens nicht ganz einverstanden sein oder an Stelle der zahlreichen analytischen Reaktionen mehr volumetrische und zu den Gesetzen der allgemeinen Chemie führende Versuche wünschen, doch wird jeder aus der Sammlung mannigfache Anregungen schöpfen und durch manche originelle Versuchsanordnung angenehm überrascht sein. Die dankenswerte Sammlung ist zugleich ein Zeugnis dafür, wie emsig auch im Bruderlande an der Fortentwicklung des chemischen Unterrichts gearbeitet wird. *O. Ohmann.*

Chemie und Mineralogie. Ein Handbuch für Lehrer an Volks-, Fortbildungs- und Gewerbeschulen und zum Selbstunterricht. Von Prof. Dr. G. Forker, Studienrat am staatl. Lehrerinnenseminar mit höh. Mädchenschule in Dresden. Mit 58 Abb. Leipzig, Dürr, 1922. Bd. 7 der Sammlung: Lebensvoller Unterricht. XVI u. 432 S. M. 54, geb. M. 60.

Die verdienstliche Arbeit ist ein kraftvoller Vorstoß, um dem chemischen Unterricht an den Volks- und Fortbildungsschulen zu der Stellung zu verhelfen, die ihm nach der ganzen Bedeutung der Chemie gebührt. Sie ist aus der Praxis an Volksschulen und Lehrer- und Lehrerinnen-Bildungsanstalten heraus entstanden und bewegt sich daher auch in den Bahnen, die diesen Anstalten ihr pädagogisches Gepräge geben. Sie tritt aber dadurch, daß sie den genannten Unterricht nach dem Übungsverfahren gestalten will, auch in die Bewegung mit ein, die den chemischen Unterricht an den höheren Lehranstalten zur Zeit beherrscht, so daß manches treffliche Urteil, z. B. das, was über das gegenseitige Verhältnis von Chemie und Physik gesagt wird, gleichmäßig für alle Schulen gilt. Das Buch stellt hierdurch sowie durch die weitgehende Berücksichtigung der Technik und der Chemie des täglichen Lebens den chemischen Unterricht der Volksschulen auf eine gesunde Grundlage. In methodischer Hinsicht möchten wir vor allem anerkennen, daß es den Naturkörpern und Naturvorgängen die gebührende Bedeutung beilegt, daß es auch von vornherein die Chemie mit der Mineralogie verknüpft, daß es das Formalbildende des chemischen Unterrichts mit als Hauptsache betrachtet, daß es also auf chemisches Denken hinaus will. Das sind alles Gesichtspunkte, die vom Referenten in dieser Zeitschrift seit langem vertreten werden, wie denn auch, sowohl hier wie anderwärts, manche Lanze für die endliche Anerkennung des chemischen Unterrichts an den Volksschulen eingelegt wurde, wenn auch bisher in Preußen vergeblich. Möchte es dem Verfasser zunächst im Sachsenlande gelingen, mit diesem Buch die Kräfte zu bannen, die unverständlicherweise einem ersprießlichen chemischen Unterricht den Eintritt in die Volksschule immer noch verwehren. Dann kann sein Buch zu einem Markstein in der Entwicklung des chemischen Unterrichts überhaupt werden. *O. Ohmann.*

Vereine und Versammlungen.

Wiener Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichtes.

Schuljahr 1921—22.

Sitzungen: 15. Okt. 1921: Reg.-Rat Prof. F. Brandstätter zeigte zahlreiche chemische Schulversuche mit einfachen Mitteln.

22. Okt. 1921: Univ.-Ass. Dr. L. Richtera sprach über die Lecherschen Drähte.

29. Okt. 1921: Gedenkfeier für den 1. Vorstand des Vereines, G.-R. Univ.-Prof. Dr. Viktor Lang. (Gedenkrede des Univ.-Prof. Hofrates Dr. Ernst Lecher, Vortrag des Univ.-Prof. Dr. F. Ehrenhaft: Die Experimentalphysik zur Zeit Viktor Langs und heute unter Vorführung Langscher Versuche.)

19. Nov. 1921: Prof. Dr. R Beranek: Vorführung von physikalischen Schulapparaten nach Dr. Karl Haas (Präzessionsglobus, Standfestigkeitsapparat, Vorrichtung zur Demonstration der Linsenwirkung mit vertauschbaren Medien).

26. Nov. 1921: Prof. Dr. L. Sternhagen: Schulversuche mit Schwefelkohlenstoff.

3. Dez. 1921: Ober-Landesrat Dr. Karl Kostersitz: Aus meiner Werkstatt.

10. Dez. 1921: Univ.-Ass. Dr. Rudolf Schmid: 25 Jahre Radioaktivität.

13. Dez. 1921: Univ.-Prof. Hofrat Dr. H. Molisch: Das lebende Reagens (Lebewesen als Mittel zum Nachweise von Stoffen, Leuchtbakterien, Purpurbakterien, Sauerstoff liebende und Sauerstoff meidende Bakterien, Oligodynamik, Hämolyse usw.).

28. Jan. 1922: Univ.-Ass. Dr. Else Norst-Rubinowicz: Versuche über Oberflächenkräfte.

4. Febr. 1922: Prof. Adalbert Berny: Die Physik der Antike.

11. Febr. 1922: Stud. techn. K. Oettl: Über graphisches Rechnen und einen neuen Rechenschieber.

18. Febr. 1922: Prof. Arnold Deutscher: Einfache physikalische Schulversuche.

11. März 1922: Trauerfeier für den verstorbenen Gründer des Vereines Hofrat Univ. Prof. Dr. Alois Höfler (Gedenkrede von Prof. Dr. Karl Haas).

18. März 1922: Prof. Ing. Robert Edler: Über Eisenbahnsignale (mit zahlreichen Vorweisungen).

1. April 1922: G. Otto, Geschäftsleiter der Firma Zeiss: Der Werdegang eines photographischen Objektivs.

6. April 1922: Trauerfeier für das verstorbene gründende Mitglied des Vereines, Reg.-R. Konrad Kraus. Vorführung einfacher physikalischer Schulversuche durch die Mitglieder: J. Deisinger, H. Kellermann und J. Wohlrab.

29. April 1922: Prof. Dr. L. Sternhagen: Einiges aus der Geschichte der Feuerzeuge.

6. Mai 1922: Prof. Dr. R. Beranek: Das Herstellen von Diapositiven mittels Zeichnungen auf Glas und mittels Ausschnitten aus Filmen.

13. Mai 1922: Direktor Dr. Karl Bruno: Versuche zur Erklärung der Wettergestaltung.

Besichtigungen fanden statt: 24. Nov. 1921, Zündhölzchenfabrik der Sirius A.-G., Wien. — 28. Febr. 1922, Physikalisches Institut der Universität, insbesondere der Demonstrationsräume und Arbeitsstätten für Studenten und Lehramtskandidaten unter Führung des Univ.-Ass. Dr. Leopold Richtera. — 22. März 1922, Phonogrammarchiv der Wiener Akademie der Wiss. in Verbindung mit Demonstration durch Prof. Dr. Leo Hajek. — 7. Mai 1922, Städtisches Gaswerk in Wien, Simmering 11.

Karl Müllner.

Korrespondenz.

Wärmewirtschaftliche Belehrungen im Unterricht. Der Reichskohlenrat — der eine beratende Stellung neben dem Reichskohlenkommissar einnimmt — hat vor längerer Zeit einen Sonderausschuß für Hausbrandfragen eingesetzt, der in einer Aussprache mit Unterrichtssachverständigen über die Verbreitung wärmewirtschaftlicher Erkenntnis in der Bevölkerung durch die Schulen und Fachschulen verhandelt hat. Die stenographische Wiedergabe dieser Verhandlungen ist zum Preise von 300 M., jedoch für Körperschaften, Lehrervereinigungen usw. auf Antrag kostenlos durch die Geschäftsstelle des Reichskohlenrats, Berlin W 62, Wichmannstr. 19, erhältlich. Es wird darin in erster Reihe für Fachschulen, Innungs- und Gewerbeschulen, Berufsschulen, aber auch für die Volksschulen und selbstverständlich auch die höheren Schulen die Einführung besonderer Belehrungen in dieser Richtung gefordert, die hauptsächlich dem naturwissenschaftlichen Unterricht zuzuweisen sein werden. Auch zum staatsbürgerlichen Unterricht stehen solche Belehrungen in enger Beziehung, insofern die sparsame Verwendung der Brennstoffe in der Industrie wie im Privatverbrauch von der größten Bedeutung für die gesamte Energiewirtschaft eines Landes ist und namentlich ein unentbehrliches Hilfsmittel zur Erleichterung der jetzigen Notlage unseres Vaterlandes darstellt. Eine Reihe belehrender und aufklärender Schriften sind am Schlusse des erwähnten Berichts aufgeführt. Von diesen seien besonders erwähnt:

Heizkunst im Haushalt, von Ing. R. Knoblich. Helmingsche Verlagsbuchhandlung in Hannover. 60 S. M. 44,—.

Die Wärmewirtschaft des Hausbrandes im Unterricht unserer Schulen, ein Leitfaden für Schule und Haus, von J. Riedl. Verlag Johannes Mahr, München. 100 S. M. 156,—.

Von Herdflamme und Ofenglut. Chemisch-physikalische Versuche zum Verständnis einer vorteilhaften Bedienung unserer häuslichen Heizvorrichtungen. Von Raymund Fischer. Verlag Johannes Mahr, München. 57 S. M. 65,—.

Die Preise sind die für Oktober 1922 gültig gewesenen. *P.*

Zur Bestimmung der Gravitationskonstante. In den Beschreibungen schulmäßiger Drehwagen von Weinhold (Demonstr. S. 125), Nagele (*ds. Zs. 33. 81*) und Wulf (*ds. Zs. 35, 153*) ist merkwürdigerweise nirgends der von Boys angegebenen Verbesserung gedacht, welche darin besteht, die pendelnden Massen nicht in derselben wagerechten Ebene anzuordnen, sondern die eine an einem wesentlich längeren Fädchen an den Balken zu hängen als die andere. Die Korrektion wegen der entfernteren Kugel, welche bei Wulf (Gl. (4) S. 161) 9% beträgt, kann dadurch viel kleiner gehalten werden, was z. B. für die Versuchsreihe des Entfernungseinflusses, bei Wulff Ziff. 2 Abs. 2 (S. 159/160), von Vorteil ist; ferner kann unter Ausnutzung des Prinzips kleiner Dimensionen der Wagebalken fast beliebig kurz gemacht werden. Eine nach diesen Prinzipien von Herrn Prof. Paschen gebaute Drehwage befindet sich im Physikalischen Institut der Universität Tübingen. Unter Verwendung des Wulfschen Gedankens wird sie sich jetzt auch da nachbauen lassen, wo man die für statische Beobachtung erforderliche feinste Quarzfadenaufhängung nicht in Betracht ziehen konnte.

Dr. H. Hermann, Tübingen, Oberrealschule.

Himmelserscheinungen im März und April 1923.

Stundenzählung durchweg astronomisch. 0^h = Mittag, 12^h = Mitternacht, z. B. März 2, $18^h\ 48^m$ = März 3, $6^h\ 48^m$ vormittags bürgerl.; März 12, $25^h\ 52^m$ = März 13; $1^h\ 52^m$.

MEZ 0^h		März 2	7	12	17	22	27	April 1	6	11	16	21	26	Mai 1
☿	AR	$21^h\ 12^m$	21.39	22.8	22.37	23.9	23.41	0.15	0.50	1.28	2.6	2.45	3.20	3.50
	D	$-17{,}3^0$	$-15{,}7$	$-13{,}7$	$-11{,}0$	$-7{,}9$	$-4{,}3$	$-0{,}3$	$+4{,}1$	$+8{,}7$	$+13{,}3$	$+17{,}3$	$+20{,}5$	$+22{,}7$
♀	AR	$19^h\ 50^m$	20.13	20.37	21.1	21.24	21.47	22.10	22.33	22.55	23.18	23.40	0.2	0.24
	D	$-19{,}3^0$	$-18{,}6$	$-17{,}6$	$-16{,}4$	$-15{,}1$	$-13{,}5$	$-11{,}8$	$-9{,}9$	$-7{,}9$	$-5{,}8$	$-3{,}7$	$-1{,}5$	$+0{,}8$
☉	AR	$22^h\ 49^m$	23.8	23.26	23.45	0.3	0.21	0.39	0.58	1.16	1.34	1.53	2.12	2.31
	D	$-7{,}5^0$	$-5{,}5$	$-3{,}6$	$-1{,}6$	$+0{,}3$	$+2{,}3$	$+4{,}3$	$+6{,}2$	$+8{,}0$	$+9{,}8$	$+11{,}6$	$+13{,}3$	$+14{,}8$
♂	AR	$1^h\ 47^m$	2.1	2.14	2.28	2.42	2.55	3.9	3.23	3.37	3.52	4.6	4.20	4.35
	D	$+11{,}3^0$	$+12{,}6$	$+13{,}8$	$+15{,}0$	$+16{,}2$	$+17{,}3$	$+18{,}3$	$+19{,}2$	$+20{,}1$	$+20{,}9$	$+21{,}6$	$+22{,}2$	$+22{,}8$
♃	AR	$15^h\ 7^m$		15.7		15.6		15.3		14.59		14.55		14.50
	D	$-16{,}3^0$		$-16{,}2$		$-16{,}1$		$-15{,}9$		$-15{,}6$		$-15{,}3$		$-14{,}9$
♄	AR	$13^h\ 15^m$				13.11				13.5				13.0
	D	$-5{,}1^0$				$-4{,}5$				$-3{,}9$				$-3{,}4$

Δ = Sternzeit i. mittl. Mittag v. Stargard; für östl. bzw. westl. Länge λ v. Greenwich $\mp\ \lambda^0\ 0.657 + 9{,}86^s$

Zeitgl. = Mitt. Z. — Wahre Z.

Δ	$22^h\ 36^m 51^s$	22. 56.34	23. 16.16	23. 35.59	23. 55.42	0. 15.25	0. 35.7	0. 54.50	1. 14.33	1. 34.16	1. 53.58	2. 13.41	2. 33.24
Zeitgl.	$+12^m 28^s$	+11.23	+10.7	+ 8.44	+ 7.16	+ 5.45	+ 4.13	+ 2.43	+ 1.19	+ 0.2	− 1.6	− 2.5	− 2.51

Breite von Berlin (52° 30′) Länge v. Stargard. Untergang u. folg. Aufgang d. ob. ⊙-Randes. MEZ.

⊙ Unterg.	$5^h\ 39^m$	5.48	5.57	6.7	6.15	6.24	6.32	6.41	6.50	6.59	7.8	7.16	7.25
⊙ Aufg.	$18^h\ 45^m$	18.33	18.21	18.10	17.59	17.46	17.35	17.23	17.12	17.0	16.48	16.39	16.28

Breite von Berlin (52° 30′) Länge v. Stargard. Aufgang u. folg. Untergang d. ob. ☾-Randes. MEZ.

☾ Aufg.	$5^h\ 2^m$	11.45	16.22	18.36	20.48	0.8	6.36	12.48	15.56	17.51	20.58	1.25	8.12
☾ Unterg	$18^h\ 47^m$	21.26	25.52	31.12	36.19	15.31	18.13	21.43	26.57	32.12	36.49	15.11	17.52

Mondphasen MEZ	Neumond	Erstes Viertel	Vollmond	Letztes Viertel
			März 2. $16^h\ 23.6^m$	März 9. $7^h\ 31.0^m$
	März 17. $1^h\ 51.3^m$	März 25. $5^h\ 41.5^m$	April 1. $2^h\ 9.8^m$	April 7. $18^h\ 22.5^m$
	April 15. $19^h\ 28.4^m$	April 23. $18^h\ 20.3^m$	April 30. $10^h\ 30.3^m$	Mai 7. $7^h\ 18.2^m$

Verfinsterungen der Jupitertrabanten I, II, III. E: Eintritt, A: Austritt. MEZ.

I		II		III
März 6. $17^h\ 27.9^m$ E	April 14. 15. 50.5 E	März 4. 15. 41.9 E	April 5. 15. 21.6 E	März 27. 9. 11.5 E
„ 15. $13^h\ 49.2^m$ E	„ 16. 10. 18.8 E	„ 15. 7. 34.5 E	„ 23. 9. 52.7 E	„ 27. 10. 56.8 A
„ 22. $15^h\ 42.3^m$ E	„ 23. 12. 12.3 E	„ 22. 10. 10.0 E	„ 30. 12. 29.3 E	April 3. 13. 8.7 E
„ 31. $12^h\ 3.8^m$ E	„ 30. 14. 5.9 E	„ 29. 12. 45.7 E		„ 3. 14. 53.9 A
April 7. $13^h\ 57.1^m$ E	Mai 2. 8. 34.3 E			

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

MEZ	☿ Morgenstern	♀ Morgenstern	♂ (W. S.)	♃ (Wg)	♄ (Jungfrau)
März 1.	A $18{,}0^h$ D_m 18,2	A 16,8 D_m 18,5	D_a 6,5 U 10,2	A 11,8 D_m 18,4	A 9,0 D_m 17,7
„ 11.	A $18{,}0^h$ D_m 18,1	A 16,7 D_m 18,1	D_a 6,8 U 10,2	A 11,2 D_m 18,0	A 8,3 D_m 17,3
„ 21.	(17,8^h)	A 16,6 D_m 17,8	D_a 7,0 U 10,2	A 10,5 D_m 17,7	A 7,6 D_m 17,0
„ 31.	—	A 16,5 D_m 17,4	D_a 7,3 U 10,2	A 9,6 D_m 17,3	D_a 7,5 D_m 16,6
April 10.	Abendstern	A 16,3 D_m 17,0	D_a 7,6 U 10,2	A 8,9 D_m 16,9	D_a 7,8 D_m 16,2
„ 20.	D_a $7{,}6^h$ U $8{,}3^h$	A 16,0 D_m 16,6	D_a 8,0 U 10,2	A 8,2 D_m 16,5	D_a 8,1 D_m 15,8
„ 30.	D_a $7{,}9^h$ U $9{,}3^h$	A 15,7 D_m 16,3	D_a 8,3 U 10,2	D_a 8,2 D_m 16,0	D_a 8,4 D_m 15,5

A = Aufgang; U = Untergang; D_a und D_m = Erscheinen bezw. Verschwinden i. d. Dämmerung.

Himmelserscheinungen im Mai und Juni 1923.

Stundenzählung durchweg astronomisch. 0^h = Mittag, 12^h = Mitternacht, z. B. Mai 1, $16^h\,28^m$ = März 2, $4^h\,28^m$ vormittags; Mai 11, $27^h\,59^m$ = 12, $3^h\,49^m$.

MEZ 0h		Mai 1	6	11	16	21	26	31	Juni 5	10	15	20	25	30
☿	AR	$3^h\,50^m$	4.14	4.29	4.36	4.34	4.26	4.15	4.7	4.4	4.8	4 20	4.38	5.4
	D	+ 22,7°	+ 23,8	+ 24,1	+ 23,5	+ 22,2	+ 20,5	+ 18,7	+ 17,2	+ 16,6	+ 16,7	+ 17,6	+ 19,0	+ 20,7
♀	AR	$0^h\,24^m$	0.46	1.8	1.31	1.53	2.16	2.40	3.3	3.28	3.52	4.17	4.43	5.9
	D	+ 0,8°	+ 3,1	+ 5,4	+ 7,6	+ 9,8	+ 11,9	+ 13,9	+ 15,7	+ 17,4	+ 18,9	+ 20,3	+ 21,4	+ 22,3
☉	AR	$2^h\,31^m$	2.50	3.9	3.29	3.49	4.9	4.29	4.50	5.10	5.31	5.52	6.12	6.33
	D	+ 14,8°	+ 16,3	+ 17,7	+ 18,9	+ 20,0	+ 21,0	+ 21,8	+ 22,5	+ 23,0	+ 23,3	+ 23,4	+ 23,4	+ 23,2
♂	AR	$4^h\,35^m$	4.49	5.4	5.18	5.33	5.47	6 2	6.16	6.30	6.45	6.59	7.13	7.27
	D	+ 22,8°	+ 23,3	+ 23,7	+ 24,0	+ 24,2	+ 24,4	+ 24,4	+ 24,4	+ 24,3	+ 24,1	+ 23,8	+ 23,4	+ 23,0
♃	AR	$14^h\,50^m$		14.48		14.41		14.36		14.32		14.30		14 28
	D	− 14,9°		− 14,8		− 14,3		− 14,0		− 13,7		− 13,5		− 13,5
♄	AR	$13^h\,0^m$				12.55				12.53				12.54
	D	− 3,4°				− 3,0				− 2,9				− 3,0

Δ = Sternzeit i. mittl. Mittag v. Stargard: für östl. bzw. westl. Länge λ v. Greenwich.

$\mp \lambda^0\ 0.657 + 9.86^s$

Zeitgl. = Mittl. Z. — Wahre Z.

Δ	2^h	2.	3.	3.	3.	4.	4.	4.	5.	5.	5.	6.	6.
	$33^m\,24^s$	53.7	12.49	32.32	52.15	11.58	31 41	51.23	11.6	30.49	50.32	10.14	29.57
Zeitgl.	$-2^m\,51^s$	− 3.24	− 3.43	− 3.47	− 3.36	− 3.13	− 2.38	− 1 52	− 0.57	+ 0.4	+ 1.9	+ 2.14	+ 3.15

Breite v. Berlin (52° 30′). Länge v. Stargard. Untergang u. folg. Aufgang d. ob. ☉-Randes. MEZ.

☉ Unterg.	$7^h\,25^m$	7.33	7.41	7.49	7.57	8.4	8 10	8.16	8.20	8.24	8.26	8.27	8.27
☉ Aufg.	$16^h\,28^m$	16.20	16.11	16.3	15.55	15.49	15.44	15.40	15.38	15.36	15.36	15.37	15.40

Breite v. Berlin (52° 30′). Länge v. Stargard. Aufgang u. folg. Unterg. d. ob. ☾-Randes. MEZ.

☾ Aufg.	$8^h\,12^m$	13.1	15.10	17.26	21.57	3.0	9.19	12.30	14.25	17.40	23.27	4.38	9.32
☾ Unterg.	$17^h\,52^m$	22.37	27.59	33.6	36.43	14.37	18.10	23.40	28.57	33.33	36.13	14.17	19.7

Mondphasen MEZ	Neumond	Erstes Viertel	Vollmond	Letztes Viertel
				Mai 7. $7^h\,18.2^m$
	Mai 15. $11^h\,38.4^m$	Mai 23. $3^h\,25.0^m$	Mai 29. $18^h\,7.2^m$	Juni 5. $22^h\,19.1^m$
	Juni 14. $1^h\,42.1^m$	Juni 21. $9^h\,45.9^m$	Juni 28. $2^h\,4.2^m$	Juli 5. $14^h\,56.4^m$

Verfinsterungen der Jupitertrabanten I, II, III. E: Eintritt, A: Austritt. MEZ.

I		II		III
Mai 9. $12^h\,37.3^m$ A	Juni 1. 12. 47.7 A	Mai 18. 9. 22.2 A	Mai 9. 10. 43.3 A	Juni 21. 8. 48.8 E
„ 16. $14^h\,31.1^m$ A	„ 10. 9. 10.6 A	„ 25. 11. 59.2 A	„ 16. 14. 41.5 A	„ 21. 10. 34.8 A
„ 18. $8^h\,59.6^m$ A	„ 17. 11. 4.9 A	Juni 1. 14. 36.4 A		„ 28. 12. 47.6 E
„ 25. $10^h\,53.6^m$ A	„ 24. 12. 59.4 A	„ 26. 11. 47.0 A		„ 28. 14. 33.9 A

Tägliches **Erscheinen** und **Verschwinden** der **Planeten.** Breite v. Berlin. Länge v. Stargard.

MEZ	☿ Abendstern	♀ Morgenstern	♂ (Z)	♃ (Wg)	♄ (Jungfrau)
Mai 1.	Da 7,9h U 9,4h	A 15,7 Dm 16,3	Da 8,3 U 10,1	Da 8,2 Dm 16,0	Da 8,4 Dm 15,5
„ 11.	Da 8,2h U 9,5h	A 15,4 Dm 16,0	Da 8,6 U 10,0	Da 8,5 Dm 15,7	Da 8,7 Dm 15,2
„ 21.	Da 8,5h U 8,7h	A 15 2 Dm 15,8	Da 8,8 U 9,9	Da 8,7 Dm 15,5	Da 9,0 U 14,9
„ 31.	—	A 14,9 Dm 15,5	Da 9,1 U 9,8	Da 9,0 U 15,0	Da 9,2 U 14,2
Juni 10.	Morgenstern	A 14,7 Dm 15,3	Da 9,2 U 9,5	Da 9,1 U 14,3	Da 9,3 U 13,5
„ 20.	(14,9h)	A 14,6 Dm 15,3	(9,3)	Da 9,2 U 13,6	Da 9,4 U 12,8
„ 30.	A 14,8h Dm 14,9h	A 14,6 Dm 15,3	—	Da 9,2 U 12,9	Da 9,4 U 12.2

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

Merkur in gr. östl. Elong. (21° 7′). Mai 5, 6h. **Merkur** u. **Venus** in **Konjunktion** Juni 21, 5h. (Merkur 2,6° südl.)

Merkur in gr. westl. Elong. (22° 33′). Juni 22, 18h.

A. Weill.

Nachdruck nur mit Quellenangabe und mit Genehmigung der Verlagshandlung gestattet.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck der Univ.-Druckerei H. Stürtz A. G., Würzburg.