

Zeitschrift

für den

Physikalischen und Chemischen Unterricht.

XXXVII. Jahrgang.

1924.

Viertes Heft.

Über träge und schwere Masse¹⁾.

Von M. Radaković an der Universität in Graz.

Man kann sich die Frage vorlegen, welches die Erkenntnisse von dauerndem Bestande sind, zu denen die Physik in ihrer Entwicklung gelangt. Unter den physikalischen Theorien im engeren Sinne dürfen wir sie jedenfalls nicht suchen, denn die Bilder, die wir uns von dem Bau der Welt im einzelnen machen, sind in der Geschichte der Physik von relativ kurzer Dauer und steten Veränderungen unterworfen; hingegen wird unsere Kenntnis von den Zusammenhängen immer reicher, die zwischen den verschiedenen Seiten eines physikalischen Vorganges oder zwischen verschiedenen physikalischen Vorgängen untereinander bestehen. Teils handelt es sich hierbei um Zusammenhänge im Sinne notwendiger Verknüpfungen, wie sie ein physikalisches Gesetz zwischen physikalischen Größen ausdrückt, teils um Zusammenhänge im Sinne formaler Analogien, wie sie zwischen den Gesetzmäßigkeiten verschiedener physikalischer Vorgänge, z. B. denen der Lichtausbreitung und den Wellenbewegungen bestehen.

Jeder Zusammenhang entspricht stets einem durch den Umfang und die Genauigkeit unserer Beobachtungen bestimmten Bereich, auf den er sich bezieht; in Beschränkung auf diesen Bereich bleibt ein einmal erkannter Zusammenhang auch dauernd als richtig bestehen. Jede Erweiterung unserer Erfahrungen aber führt entweder zur Erkenntnis neuer Zusammenhänge oder sie lehrt uns im alten Bereich bestehende Zusammenhänge für das erweiterte Gebiet zu modifizieren oder zu ergänzen. In den physikalischen Zusammenhängen erkennen wir demnach die Sätze von dauerndem Bestande, zu denen die Physik gelangt, und in der Erweiterung und Vertiefung unserer Kenntnisse dieser Relationen liegen die Fortschritte unseres physikalischen Wissens.

Als Bausteine zur Darstellung der physikalischen Zusammenhänge dienen die physikalischen Größen. Dieser Zweck bestimmt ihre Definition. Es erscheint daher verständlich, daß die fortschreitende Verfeinerung unserer Kenntnisse von den physikalischen Zusammenhängen unter Umständen zu Änderungen im Inhalt und Umfang der physikalischen Grundbegriffe führen kann. Ein besonders charakteristisches Beispiel zu dieser Überlegung ist die Wandlung in den Begriffen der trägen und schweren Masse, die durch den Übergang von der klassischen Physik zu der Relativitätstheorie bedingt ist.

Wir gehen von dem Gedankenkreise der klassischen Mechanik aus, die wir als zutreffende Darstellung jener Gesetzmäßigkeiten auffassen, die sich aus einem bestimmten Umfang und bei einer bestimmten Genauigkeit unserer experimentellen Erfahrungen ergeben. Die Erfahrungssätze, die wir im folgenden als Grundlage für die Entwicklung des Massenbegriffes der klassischen Physik angeben, denken wir daher immer auf jenen Erfahrungsbereich beschränkt, innerhalb dessen wir die klassische Mechanik als zutreffend bezeichnen können.

¹⁾ Die Schriftleitung hält den obigen Aufsatz für interessant und wertvoll genug, um ihm einen Platz in der Zeitschrift einzuräumen, obwohl der Inhalt die dem Schulunterricht zur Zeit gesteckten Grenzen überschreiten dürfte.

Wir beginnen mit der Frage nach den Umständen, die die Änderung eines Bewegungszustandes, also das Entstehen oder Verschwinden einer Beschleunigung bestimmen; hierbei denken wir zum Zwecke der Vereinfachung der Darstellung nur an Bewegungen in Beziehung auf solche Bezugssysteme, in denen das Trägheitsgesetz gilt, in denen sich also ein sich selbst überlassener Körper geradlinig und gleichförmig bewegt. Unter diesen Verhältnissen sind die verschiedenen Fälle, in denen eine Beschleunigung entsteht, daran geknüpft, daß im Raume bestimmte, ausgezeichnete Konfigurationen von Körpern bestehen. Solche beschleunigungsbestimmende Konfigurationen sind beispielsweise gespannte Federn, allgemein irgendwie deformierte elastische Körper, mit denen der bewegte Körper verbunden ist, oder im Raum verteilte elektrische Ladungen und dergl. Endlich genügt zum Auftreten einer Beschleunigung an einem Körper auch, daß nur ein zweiter Körper außer diesem im Raume vorhanden ist, ein Fall, den wir als das Bestehen eines Gravitationsfeldes bezeichnen.

Wir können die beschleunigungsbestimmende Eigenschaft derartiger Konfigurationen, die wir Kraft nennen, als eine physikalische Vektorgröße auffassen, deren Richtung und Sinn durch Richtung und Sinn der Beschleunigung gegeben ist und für deren Betrag sich ein Maßsystem in folgender Weise gewinnen läßt:

Wir sagen, daß zwei Konfigurationen gleich große Kräfte bestimmen, wenn diese, gleichzeitig in gleicher Richtung und entgegengesetztem Sinne an demselben Körper angreifend, ihm die Beschleunigung Null erteilen. Wir wählen weiter die Kraft einer willkürlich gewählten, bestimmten Feder bei einer willkürlich gewählten Verlängerung als Einheit der Kraft. Unter Heranziehung der Gleichheitsdefinition von Kräften können wir sodann Federn von bestimmten Verlängerungen herstellen, deren Kräfte das Doppelte, Dreifache usw., oder die Hälfte, den dritten Teil usw. dieser Einheit betragen. Die doppelte Kraft wird jener Feder zukommen, die zwei Einheitsfedern gleichzeitig Gleichgewicht hält; die halbe Kraft wird jene Feder besitzen, die zusammen mit einer ihr gleichen der Einheitsfeder Gleichgewicht hält. In dieser Art kann ein System von bestimmten, um bestimmte Strecken verlängerten Federn als Maßetalon zur Messung von Kräften in diesem auf eine willkürliche Einheit aufgebauten Federmaßsystem dienen.

Mit Hilfe dieses Maßsystems ist man nicht nur in der Lage für jede Konfiguration die Kraft, die durch sie bestimmt ist, anzugeben, sondern man kann auch die Abhängigkeit der Kraft von den physikalischen Größen der Konfiguration ermitteln. Wir denken uns diese Aufgabe durchgeführt und wenden uns der Untersuchung des quantitativen Zusammenhanges der Kraft mit der Beschleunigung zu, die sie an dem bewegten Körper bedingt.

Nachdem zufolge der Definition der Kraft Richtung und Sinn der Beschleunigung mit Richtung und Sinn der Kraft übereinstimmen, handelt es sich nunmehr um die Frage nach dem Zusammenhang der Größe der Beschleunigung mit der Größe der Kraft. Die Erfahrung gibt uns hierüber Auskunft.

Schließen wir zunächst die Gravitationsfelder aus, die in ihrem Verhalten eine Ausnahme zu bilden scheinen und daher eine Sonderstellung unter den Kraftfeldern einnehmen, so können wir in Beziehung auf alle übrigen Kräfte sagen, daß die Beschleunigung, die ein Körper erfährt, nicht nur von der Kraft, die auf ihn einwirkt, sondern auch von dem Körper selbst abhängt. Gleiche Kräfte bestimmen im allgemeinen an verschiedenen Körpern verschiedene Beschleunigungen.

Diese Tatsache fassen wir als Anzeichen für eine besondere Eigenschaft der Materie auf, die bei gegebener Kraft die Beschleunigung bestimmt und die wir die träge Masse nennen. Das Maßsystem für diese Eigenschaft entnehmen wir, wie immer, der Erfahrung, die sich in folgender Weise — stark schematisiert — darstellen läßt:

Wir denken uns die Beschleunigungen bestimmt, die verschiedene Körper durch dieselbe Kraft, deren Federmaß F_1 sein möge, erhalten. Wir teilen dann die Körper in Klassen, indem wir jene Körper immer in eine Klasse schreiben, die gleiche Beschleunigung bei dieser Folge von Messungen erhalten haben. Es gehören etwa in Beziehung auf die Kraft F_1 die Körper $K_1, K_2 \dots$ in die Klasse mit der Beschleunigung b_1 , die Körper $K'_1, K'_2 \dots$ in die Klasse mit der Beschleunigung b'_1 usf. Wir wiederholen sodann diese Klasseneinteilung mit einer anderen Kraft F_2 und vergleichen beide Einteilungen miteinander. Wir gewinnen auf diesem Wege die folgenden Sätze:

1. Zwei Körper, die bezüglich einer Kraft F_1 derselben Klasse angehören, gehören bezüglich einer anderen Kraft F_2 wiederum derselben Klasse an, oder: Erhalten zwei Körper durch eine Kraft F_1 gleiche Beschleunigung, so erhalten sie durch eine andere Kraft F_2 wiederum gleiche Beschleunigung.

2. Zerteilt man einen Körper und unterwirft man die beiden Teile einzeln derselben Kraft, der vorher der unzerteilte Körper unterworfen worden war, so besteht zwischen der Beschleunigung b_1 des unzerteilten Körpers und den Beschleunigungen \bar{b}_1 und \bar{b}_2 der beiden Teile stets die Relation

$$\frac{1}{b_1} = \frac{1}{\bar{b}_1} + \frac{1}{\bar{b}_2}.$$

3. Wenn ein Körper durch die Kraft F_1 die Beschleunigung b_1 und durch die Kraft F_2 die Beschleunigung b_2 erfährt, so stehen diese beiden Beschleunigungen zueinander in der Relation

$$\frac{b_2}{b_1} = \frac{F_2}{F_1}$$

oder: es besteht immer die Beziehung

$$\frac{F_1}{b_1} = \frac{F_2}{b_2}.$$

Gestützt auf diese drei Sätze, die unsere Erfahrungen über den Zusammenhang von Kraft und Beschleunigung ausdrücken, können wir ein Maßsystem für die beschleunigungsbestimmende Eigenschaft der Materie, also für die träge Masse, in der folgenden Form angeben: Zwei Körper haben dieselbe träge Masse, wenn sie derselben Klasse in Beziehung auf eine Kraft F_1 angehören. Diese Gleichheitsdefinition ist zufolge des Satzes 1 unabhängig von der Wahl der Kraft F_1 . Es gehören demnach den Körpern derselben Klasse je dieselbe Maßzahl der trägen Masse zu. Insbesondere ordnen wir in ganz willkürlicher Weise jenen Körpern, die durch die Kraft F_1 die Beschleunigung b_1 erhalten, die Maßzahl μ_1 zu. Welche Maßzahlen sind dann den Körpern der anderen Klassen zuzuweisen? Der Satz 2 läßt erkennen, daß die träge Masse eine extensive Eigenschaft ist. Wenn wir den Körpern mit den Beschleunigungen $2b_1, 3b_1 \dots$ bzw. $\frac{b_1}{2}, \frac{b_1}{3} \dots$ die Maßzahlen $\frac{\mu_1}{2}, \frac{\mu_1}{3} \dots$ bzw. $2\mu_1, 3\mu_1 \dots$ zuordnen, wenn wir also allgemein den Körpern der Klasse mit der Beschleunigung b_1' die Maßzahl $\mu_1' = \mu_1 \frac{b_1}{b_1'}$ geben, so werden wir dem Satze 2 gerecht, denn es gilt dann für die Maßzahlen $\bar{\mu}_1$ und $\bar{\mu}_2$ der Teile eines Körpers mit der Maßzahl μ_1 die Relation

$$\bar{\mu}_1 + \bar{\mu}_2 = \mu_1.$$

Der Satz 3 verbürgt uns, daß ein derart bestimmtes Maßsystem der trägen Masse von der Wahl der Kraft F_1 unabhängig ist, mit der wir die Einteilung der Körper in Klassen vorgenommen haben.

Bei diesen Festsetzungen bleibt die Einheit der Kraft und die Einheit der trägen Masse willkürlich gewählt. Wir können über beide Einheiten in zweckmäßiger Weise so verfügen, daß wir den Anschluß an das absolute Maßsystem gewinnen. Wir

bestimmen zunächst als Einheit der trägen Masse den tausendsten Teil der trägen Masse des Kilogrammes der Archive in Paris. Zufolge des Satzes 3 können wir sodann durch eine proportionale Änderung der Maßzahlen der Kräfte, also durch eine bestimmte Wahl ihrer Einheit erzielen, daß das Verhältnis von Kraft zu Beschleunigung gleich der Masse des bewegten Körpers ist. Diese neue Einheit der Kraft ist jene, die an einem Körper von der neuen Masseneinheit die Beschleunigung eins bestimmt.

Sind P und m die Maßzahlen von Kraft und träger Masse in den nunmehr festgelegten Einheiten, so faßt die Beziehung

$$P = m \cdot b$$

unsere Erfahrungen über die Abhängigkeit der Beschleunigung von der Kraft und von der beschleunigungsbestimmenden Eigenschaft der Materie und zugleich unsere Maßfestsetzungen zusammen.

Diese Betrachtungen bedürfen noch einer Ergänzung durch die Untersuchung des Sonderfalles der Gravitation, den wir bisher ausgeschlossen hatten. Wir denken uns zunächst die Abhängigkeit der Gravitationskraft von den physikalischen Eigenschaften der sie bedingenden Konfiguration experimentell ermittelt. Unsere Erfahrungen hierüber können wir zur Vereinfachung so darstellen, als wären sie das Resultat von Versuchen mit der Drehwage, bei denen wir dem an der Drehwage befestigten angezogenen Körper K den anziehenden Körper K' gegenüberstellen. Die Beobachtung der Torsion des Aufhängefadens ermöglicht dann die Messung der Gravitationskraft, die bei der Konfiguration der Körper K' und K auf den Körper K ausgeübt wird.

Indem wir zuerst in einer Folge von Versuchen die beiden Körper K und K' beibehalten und ihre Entfernung r verändern, ermitteln wir die Abhängigkeit der Kraft von der Entfernung und finden, daß sie dem Quadrat der Entfernung verkehrt proportional ist.

Um die Abhängigkeit der Kraft von den beiden, die Konfiguration bildenden Körpern zu ermitteln, denken wir uns zunächst eine Reihe von Versuchen angestellt, bei denen an Stelle des angezogenen Körpers K folgeweise verschiedene andere Körper gesetzt werden, während der anziehende Körper K' und die Entfernung r ungeändert bleiben.

Wir können dann eine Gruppeneinteilung der Körper in der Weise vornehmen, daß wir immer jene Körper je in eine Gruppe schreiben, die bei diesen Versuchen dieselbe Kraft erhalten. Beispielsweise gehören die Körper $K_1, \bar{K}_1 \dots$ derselben Gruppe an, wenn jeder von ihnen von K' in der Entfernung r mit derselben Kraft P_1 angezogen wird; weiter gehören die Körper $K_2, \bar{K}_2 \dots$ einer Gruppe an, wenn jeder von ihnen von K' in der Entfernung r mit derselben Kraft P_2 angezogen wird usw.

Dieser Gruppeneinteilung, die durch den gemeinsamen anziehenden Körper K' ausgezeichnet ist, stellen wir neue Gruppeneinteilungen an die Seite, die wir dadurch gewinnen, daß wir folgeweise den anziehenden Körper K' durch andere Körper ersetzen und jedesmal die dem gewählten anziehenden Körper entsprechende Gruppeneinteilung in der früher angegebenen Weise durchführen.

Die Betrachtung dieser Gruppeneinteilungen vermittelt uns die Erkenntnis einer Reihe von Erfahrungssätzen. Um sie leichter aussprechen zu können, führen wir eine einfache Symbolik ein. Aus der beobachteten Kraft P_1 , die ein anziehender Körper K' an dem angezogenen Körper K in der Entfernung r bestimmt, berechnen wir nach dem bekannten Gesetz der Abhängigkeit der Kraft von der Entfernung die Kraft p_1 , die der Körper K' in der Entfernung eins auf den Körper K ausübt. Wir führen für p_1 das Symbol

$$p_1 = (K' K)$$

ein. Nach dem Prinzip der gleichen Wirkung und Gegenwirkung, dessen Erfülltsein für die Gravitationskräfte übrigens aus den verschiedenen Gruppeneinteilungen ent-

nommen werden kann, übt auch der Körper K als anziehender, auf den Körper K' als angezogenen Körper in der Entfernung eins die Kraft p_1 aus. Es besteht also für das eingeführte Symbol die Beziehung

$$(K' K) = (K K').$$

Die Erfahrungen, die sich aus den Gruppeneinteilungen erschließen lassen, können wir in den folgenden Sätzen aussprechen:

1. Zwei Körper K_1 und K_2 , die in der Gruppeneinteilung, die durch den Körper K' als anziehender bestimmt ist, in derselben Gruppe stehen, gehören auch in jeder anderen Gruppeneinteilung derselben Gruppe an. In dem Formalismus ausgedrückt, lautet dieser Satz: Wenn

$$(K' K_1) = (K' K_2)$$

ist, so gilt für jede Wahl von K'' die Beziehung

$$(K'' K_1) = (K'' K_2).$$

2. Die Kräfte, mit denen zwei Körper K_1 und K_2 von demselben dritten Körper angezogen werden, stehen in einem Verhältnis, das von der Wahl des anziehenden Körpers unabhängig ist; oder: wenn

$$(K' K_1) = n(K' K_2)$$

ist, so gilt für jede Wahl von K'' die Beziehung

$$(K'' K_1) = n(K'' K_2).$$

3. Wenn ein Körper K_1 in zwei Teile \bar{K}_1 und \bar{K}_1 zerteilt wird, so ist die Summe der Kräfte, mit denen die beiden Teile von einem beliebigen dritten Körper angezogen werden, der Kraft gleich, mit der der unzerteilte Körper angezogen wurde; oder: es gilt für die Teile \bar{K}_1 und \bar{K}_1 eines Körpers K_1 die Beziehung

$$(K' \bar{K}_1) + (K' \bar{K}_1) = (K' K_1).$$

Auf Grund dieser Erfahrungssätze können wir ein Maßsystem für jene Eigenschaft der Materie entwickeln, die sie als Glied der die Gravitationskraft bestimmenden Konfiguration charakterisiert und die wir vorübergehend die Gravitationsladung der Materie nennen.

Wir sagen: zwei Körper haben dieselbe Gravitationsladung, wenn sie derselben Gruppe angehören. Wir wissen zufolge des Satzes 1, daß diese Aussage unabhängig von der Wahl des anziehenden Körpers ist, mit dem wir die Gruppeneinteilung vorgenommen haben. Wir denken uns weiter den Körpern einer bestimmten Gruppe die Maßzahl μ der Gravitationsladung willkürlich zugewiesen; sodann setzen wir fest, daß die Körper jener Gruppen, die mit der doppelten, dreifachen usw. Kraft angezogen werden, die Maßzahlen 2μ , 3μ usf. erhalten. Allgemein setzen wir also fest: Wenn dem Körper K_1 die Maßzahl der Gravitationsladung μ_1 zugewiesen wurde, so erhält ein Körper K_2 die Maßzahl

$$\mu_2 = \mu_1 \cdot \frac{(K' K_2)}{(K' K_1)}.$$

Zufolge des Satzes 2 erkennen wir, daß diese Zuordnung von der Wahl des anziehenden Körpers K' , mit dem die Gruppeneinteilung vorgenommen wurde, unabhängig ist. Dem Satze 3 entnehmen wir, daß die Gravitationsladung eine extensive Eigenschaft der Materie ist.

Über die bisher noch willkürlich gelassene Wahl der Einheit der Gravitationsladung können wir noch so verfügen, daß wir für die Abhängigkeit der Gravitationskraft von den Gravitationsladungen einen einfachen Ausdruck erhalten. Wir erreichen dies, indem wir zwei Körper E_1 und E_2 aussuchen, die dieselbe Gravitationsladung haben, für die also

$$(K' E_1) = (K' E_2)$$

ist und die der weiteren Bedingung genügen, daß sie aneinander die Kraft eins in

der Entfernung eins bestimmen, daß also

$$(E_1 E_2) = 1$$

ist. Der Gruppe, der diese Körper angehören, weisen wir die Einheit der Gravitationsladung zu.

Betrachten wir nun zwei Körper K_1 und K_2 mit den Gravitationsladungen G_1 und G_2 , so gelten nach den Festsetzungen, die wir getroffen haben, die Relationen:

$$G_1 = \frac{(K' K_1)}{(K' E_2)} \quad \text{und} \quad G_2 = \frac{(K' K_2)}{(K' E_1)}$$

für jede Wahl des Körpers K' . Setzen wir in der ersten Beziehung $K' = E_1$, so liefert sie

$$G_1 = (E_1 K_1);$$

setzen wir in der zweiten Beziehung $K' = K_1$, so erhalten wir:

$$G_2 = \frac{(K_1 K_2)}{G_1}.$$

Es ist also

$$(K_1 K_2) = G_1 G_2.$$

Die Kraft P , die die Körper K_1 und K_2 in der Entfernung r aufeinander ausüben, ist demnach:

$$P = \frac{(K_1 K_2)}{r^2} = \frac{G_1 G_2}{r^2}.$$

Diese Formel faßt unsere Erfahrungssätze, die Festsetzungen über das Maßsystem und über die Wahl der Einheit der Gravitationsladung zusammen.

Bei der Entwicklung des Zusammenhanges von Beschleunigung, Kraft und träger Masse des bewegten Körpers hatten wir uns auf Erfahrungen gestützt, die sich aus der Untersuchung aller Kräfte mit Ausnahme des Sonderfalles der Gravitation ergaben und die wir in dem Satze: Die Beschleunigung eines Körpers ist gleich dem Verhältnis der auf ihn wirkenden Kraft zu seiner trägen Masse, zusammenfassen konnten.

Wir nehmen zunächst an, daß dieser Satz auch für den Fall der Gravitation gelte. Es müßte dann, wenn zwei Körper mit den trägen Massen m_1 und m_2 und mit den Gravitationsladungen G_1 und G_2 , die sich in der Entfernung r voneinander befinden, eine Beschleunigungskonfiguration bilden, die Beschleunigung des ersten Körpers

$$b_1 = \frac{G_1 \cdot G_2}{m_1 r^2}$$

und die des zweiten Körpers

$$b_2 = \frac{G_1 \cdot G_2}{m_2 r^2}$$

sein.

Die Erfahrung lehrt jedoch, daß die in einem Gravitationsfeld auftretende Beschleunigung von der Natur des bewegten Körpers unabhängig ist. Diese Erfahrung ist mit unserer Annahme nur dann im Einklang, wenn für jeden Körper das Verhältnis seiner Gravitationsladung zu seiner trägen Masse denselben konstanten Wert besitzt. Nennen wir diese universelle Konstante \sqrt{K} , so müßte allgemein die Relation

$$G = \sqrt{K} \cdot m$$

gelten.

Diese Folgerung ist einer experimentellen Prüfung zugänglich. Die Versuche ergaben, und zwar mit einem außerordentlich hohen Grad der Genauigkeit, daß die gefolgerte Beziehung tatsächlich zu recht besteht. Es bildet demnach die Gravitation keinen Ausnahmefall von dem Verhalten aller anderen Kräfte.

Nachdem die Maßzahlen für die Gravitationsladung und die träge Masse jedes Körpers einander proportional sind, können wir durch eine Änderung in der Wahl der Einheit der Gravitationsladung erreichen, daß beide Maßzahlen einander gleich

werden. Zu diesem Zwecke weisen wir die neue Einheit der Gravitationsladung jener Gruppe von Körpern zu, die aneinander in der Entfernung eins die Kraft K bestimmen. Mit der neuen Einheit der Gravitationsladung gilt für die Gravitationskraft die Formel:

$$P = K \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2}.$$

Die in diesem Maßsystem gemessene Gravitationsladung nennen wir die schwere Masse und können jetzt den Satz aussprechen: Die träge Masse eines Körpers ist gleich seiner schweren Masse.

Weitere Erfahrungen lehren uns, daß die Masse eines Körpers von Veränderungen seiner übrigen physikalischen Eigenschaften, wie Temperatur, Druck usf. unabhängig ist.

Die entwickelten Sätze enthalten alle wesentliche Erkenntnisse, die wir im Rahmen der klassischen Mechanik über die als träge und schwere Masse bezeichneten Eigenschaften der Materie kennen.

Beide Größen nehmen unter den physikalischen Eigenschaften der Materie eine besondere Stellung ein. Da träge und schwere Masse eines Körpers von Veränderungen seines physikalischen Zustandes unabhängig sind, so daß einem bestimmten Stück der Materie immer und unter allen Umständen dieselbe Masse zukommt, scheinen diese Eigenschaften viel enger als andere physikalische Größen mit der Materie verknüpft zu sein. Eine weitere Besonderheit ist das unveränderliche Verhältnis der trägen zur schweren Masse trotz ihrer völlig verschiedenen physikalischen Bedeutung. Dies weist darauf hin, daß wir es bei ihnen mit derselben Größe zu tun haben, die bei der Bewegung in einem Gravitationsfeld eine Doppelrolle spielt, indem sie einerseits als schwere Masse die Kraft, der der Körper unterliegt, mitbestimmt und andererseits als träge Masse die durch die Kraft bedingte Beschleunigung neuerdings beeinflußt. Diese beiden Besonderheiten bedingen eine Schwierigkeit im Verständnis der trägen und schweren Masse, die im Bereich der klassischen Mechanik nicht erklärbar ist und die als Ergebnis der Erfahrung hingenommen werden muß. Erst wenn wir zu Erkenntnissen fortschreiten können, die einem weiteren Bereich der Genauigkeit unserer Erfahrungen entsprechen, besteht die Hoffnung, daß Schwierigkeiten, die in dem engeren Bereiche sich ergeben, aufgelöst werden können.

Das Bestehen dieser Möglichkeit kann man von vornherein einsehen. Jede physikalische Beobachtung hat einen bestimmten Genauigkeitsgrad. Wollten wir den Verhältnissen, die bei physikalischen Messungen tatsächlich vorliegen, in aller Strenge gerecht werden, dann müßten wir die physikalischen Sätze, die wir aus ihnen folgern, in der Form von Ungleichungen aussprechen. Wenn wir beispielsweise die träge Masse eines Körpers bei zwei verschiedenen Temperaturen messen, müßten wir das Ergebnis in die Worte kleiden: Die träge Masse eines Körpers ändert sich bei Temperaturänderungen vom beobachteten Ausmaße um weniger als der kleinste Betrag, den unsere Meßmethoden zu beobachten gestatten.

Wenn wir jedoch als Ergebnis unserer Erfahrung den Satz aussprechen: „Die Masse eines Körpers ändert sich nicht mit seiner Temperatur“, so ist diese Aussage zwar im Genauigkeitsbereich unserer Messungen mit der ersten Formulierung ganz gleichwertig; aber sie unterscheidet sich von ihr durch eine unbewiesene Verallgemeinerung unserer Erfahrung über ihren Geltungsbereich hinaus, denn sie behauptet die Gleichheit der trägen Massen bei verschiedenen Temperaturen auch für genauere als die vorliegenden Beobachtungen. In diesem Sinne sind die für den Geltungsbereich der klassischen Mechanik in der Form von Gleichungen ausgesprochenen Sätze über die Massen und ihr physikalisches Verhalten als Sätze anzusehen, die zwar für diesen Bereich mit Recht den Anspruch erheben können, unsere Erfahrungen zutreffend wiederzugeben, von denen aber von vornherein die Möglichkeit feststeht, daß sie für einen umfassenderen Erfahrungsbereich modifiziert werden müssen.

Da die klassische Mechanik und das Newtonsche Gravitationsgesetz im Rahmen der Relativitätstheorie die Stellung einer ersten, allerdings sehr weitreichenden Annäherung einnehmen, kann man, abgesehen von der großen Bedeutung dieser Theorie für unser physikalisches Weltbild, den Übergang von der klassischen zur modernen Physik als den Übergang von einem engeren zu einem weiteren Genauigkeitsbereich auffassen. Es besteht daher die Möglichkeit, daß bei diesem Übergang Sätze, die für den ersteren Bereich Geltung haben, für den letzteren nicht mehr den zutreffenden Ausdruck der tatsächlichen Verhältnisse bilden und daher modifiziert werden müssen. Dies tritt auch in der Tat ein.

Die Zusammenhänge zwischen der Kraft, dem durch sie bewegten Körper und dessen Beschleunigung, sowie die Verhältnisse, die das Gravitationsfeld bestimmen, erweisen sich von komplizierterem Bau. Allerdings bleiben der Satz $P = mb$ und das Gravitationsgesetz $P = K \frac{mm'}{r^2}$ als erste Annäherungen, beschränkt auf den Geltungsbereich der klassischen Mechanik, weiter bestehen, aber sie gelten nicht mehr als Darstellung der tatsächlichen Verhältnisse in dem weiteren Bereiche.

Den engsten Anschluß an die klassische Mechanik stellt in der Relativitätstheorie die Mechanik des materiellen Punktes dar, die selbst wieder ein idealer Grenzfall der Dynamik der Kontinua ist. Ganz allgemein gilt noch immer der Satz, daß die Beschleunigung eines Körpers durch die Kraft, die auf ihn einwirkt, und durch ihn selbst bedingt ist, allein der einfache Ausdruck dieser Beziehung, daß die Beschleunigung durch das Verhältnis der Kraft zu einer für die bewegte Masse charakteristischen physikalischen Größe gegeben sei, gilt nur mehr für den Spezialfall, daß der Körper im Bezugssystem ruht. Setzen wir einen im Bezugssystem ruhenden Körper durch verschiedene Kräfte in Bewegung, so erhalten wir in dem Verhältnis der Kraft zu der Anfangsbeschleunigung, die sie erzeugt, eine für den Körper charakteristische Zahl, die wir seine Ruhmasse nennen.

Betrachten wir jedoch den Zusammenhang der Kraft und der Beschleunigung eines Körpers im allgemeinen Falle, das heißt, wenn der Körper eine beliebige, von Null verschiedene Geschwindigkeit besitzt, so finden wir statt der Beziehung $P = mb$ einen komplizierteren Zusammenhang; es ist die Kraft gleich dem Produkt der Ruhmasse m_0 in eine Funktion der Beschleunigung und der Geschwindigkeit, in der die Lichtgeschwindigkeit c als Parameter auftritt. Für Geschwindigkeiten, die so klein sind, daß man bei dem gewählten Genauigkeitsgrade ihr Verhältnis zu der Lichtgeschwindigkeit c gegen die Einheit vernachlässigen kann, geht diese Relation in erster Annäherung in die alte Formel $P = mb$ über.

Wir können nun nicht mehr von einem bestimmten, den bewegten Körper charakterisierenden Wert des Verhältnisses von Kraft zu Beschleunigung sprechen; nur in Spezialfällen ist dies möglich. Ein solcher ist der bereits erwähnte Fall, daß der Körper in dem Moment beobachtet wird, in dem er im Bezugssystem ruht. In diesem Falle ist der Wert des Verhältnisses von Kraft zu Beschleunigung gleich der Ruhmasse m_0 . Einen weiteren Spezialfall erhalten wir, wenn wir das Verhältnis der in die momentane Bewegungsrichtung entfallenden Kraftkomponente zur Beschleunigung in dieser Richtung bilden.

Hierfür ergibt sich der Wert:

$$m_1 = \frac{m_0}{\sqrt{\left(1 - \frac{G^2}{c^2}\right)^3}},$$

in dem G die Geschwindigkeit des Körpers bezeichnet. Bilden wir endlich als dritten Fall das Verhältnis der auf die Bewegungsrichtung normalen Kraftkomponente zur Beschleunigung in der Richtung dieser Komponente, so erhalten wir den Ausdruck:

$$m_t = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{G^2}{c^2}}}$$

Die beiden letzteren Verhältnisse sind also keine Konstanten des Körpers mehr, sondern Funktionen seiner Ruhmasse und der Geschwindigkeit. Wenn man sie trotzdem als Massen bezeichnet und m_l die longitudinale, m_t die transversale Masse nennt, so leitet hierbei nicht nur der Gedanke an ihre Definition aus dem Verhältnis einer Kraft zu einer Beschleunigung, sondern die Erkenntnis, daß diese Größen bei näherungsweise Berechnungen mit Hilfe der Sätze der klassischen Mechanik eine nützliche Rolle spielen.

Denken wir uns einen Körper, der im Bezugssystem die Geschwindigkeit G_0 besitzt, der Wirkung einer schwachen Kraft unterworfen, die einmal stets in der Richtung der Geschwindigkeit, ein anderes Mal stets senkrecht zu ihr wirkt. Solange nun in beiden Fällen die Änderung der Geschwindigkeit durch die Kraft so klein bleibt, daß die Änderung des Verhältnisses $\frac{G_0^2}{c^2}$ gegen die Einheit vernachlässigt werden kann, solange kann man auch diese beiden Fälle mit den Mitteln der klassischen Mechanik berechnen; nur hat man in der Formel $P = m b$ die Masse in dem einen Falle durch m_l , in dem anderen Falle durch m_t zu ersetzen. In diesem Sinne kann man in der Punktmechanik von einer variablen, das heißt von der Geschwindigkeit abhängigen Masse sprechen.

Geht man jedoch von dem idealen Grenzfall der Punktmechanik ab und wendet man sich der den tatsächlichen Verhältnissen entsprechenden Mechanik der Kontinua zu, so sieht man, daß diese Hilfsbegriffe nicht haltbar bleiben. Das mechanische Verhalten der Materie erscheint durch eine besondere, der vierdimensionalen Raum-Zeit-Mannigfaltigkeit zugehörige Tensorgröße, den Energie-Impulstensor bestimmt. Die bei dem Grenzübergang zur Punktmechanik auftretende Ruhmasse des Körpers erweist sich als gegeben durch seinen Energieinhalt E und zwar wird

$$m_0 = \frac{E}{c^2}$$

Es ist demnach diese Größe durch jene Umstände veränderbar, die, wie etwa eine Erwärmung, den Energieinhalt beeinflussen. Sie erscheint nur deshalb als eine, das mechanische Verhalten charakterisierende Konstante, weil im allgemeinen die Änderungen des Energieinhaltes zu klein sind um sein Verhältnis zum Quadrat der Lichtgeschwindigkeit, also den Wert der Ruhmasse merklich zu ändern.

Eine besondere Eigenschaft der Materie, die träge Masse, können wir demnach nicht annehmen. Was wir so benannten, war eine Hilfsgröße zur Darstellung des Zusammenhanges von Kraft, Beschleunigung und bewegtem Körper in einem engeren Genauigkeitsbereiche. Im wesentlichen ist diese Hilfsgröße durch den Energieinhalt des Körpers bestimmt und veränderlich wie dieser.

So wie der Begriff der trägen Masse geht bei dem Übergang zur Relativitätstheorie auch der der schweren Masse in Hinsicht der Allgemeinheit seiner Bedeutung verloren und bleibt nur für den Grenzfall jenes Grades der Annäherung erhalten, mit dem das Newtonsche Gravitationsgesetz als geltend angesehen werden darf.

Der Satz der klassischen Mechanik, daß träge und schwere Masse eines Körpers einander gleich sind, war unter Benutzung der dort verwendeten Begriffe der Ausdruck der Erfahrungstatsache, daß die Bewegung eines Körpers in einem Gravitationsfelde von der Natur des bewegten Körpers unabhängig ist. Diese Erfahrung besteht auch für den weiteren Genauigkeitsbereich der Relativitätstheorie zu recht, nur muß sie in anderer Gestalt ausgesprochen werden.

Die Materie bestimmt die vierdimensionale besondere Raum-Zeit-Mannigfaltigkeit, die wir ihr Gravitationsfeld nennen. Ein freier Massenpunkt vollführt im Felde eine

ausgezeichnete Bewegung, die die geodätische Kurve dieser Raum-Zeit-Mannigfaltigkeit ist, die also durch die Mannigfaltigkeit und nicht durch den bewegten Massenpunkt bestimmt ist. Wir können den Satz, daß die Bewegung im Gravitationsfeld von der Natur des bewegten Massenpunktes unabhängig ist, daher als eine Verallgemeinerung des Trägheitsgesetzes der klassischen Physik auffassen; in der Tat geht die ausgezeichnete Bewegung des freien Massenpunktes im Gravitationsfeld beim Verschwinden des Feldes in die geodätische Kurve jener Raum-Zeit-Mannigfaltigkeit über, die im gravitationsfreien Raume bestimmt ist und das ist, wenn ein Galileisches Bezugssystem zugrunde gelegt wird, die geradlinig-gleichförmige Trägheitsbewegung.

Zusammenfassend können wir sagen: Gehen wir von einem bestimmten Grade der Genauigkeit unserer Beobachtungen aus, so erfassen wir nur einen Grenzfall der tatsächlichen Zusammenhänge. Zum Zweck ihrer Darstellung führen wir bestimmte Körperkonstanten ein, wie die träge und schwere Masse, die wir als besondere Eigenschaften der Materie ansprechen, die ihr mechanisches Verhalten und ihre Gravitationskraft bestimmen. Hierbei ergeben sich gewisse, im Rahmen der klassischen Mechanik nicht auflösbare Schwierigkeiten für das Verständnis dieser Größen: ihre Unabhängigkeit von Änderungen im physikalischen Zustand der Materie und ihr unveränderliches Verhältnis zueinander trotz ihrer ganz verschiedenen physikalischen Bedeutung.

Die Erweiterung des Genauigkeitsbereiches unserer Erfahrung vermittelt uns jedoch die Erkenntnis, daß die Massegrößen keine selbständige Bedeutung als Eigenschaften der Materie haben, sondern nur den Charakter von Hilfsgrößen besitzen, die die einfache Darstellung eines Grenzfalles der physikalischen Zusammenhänge ermöglichen.

Es ist ein in erkenntnistheoretischer Hinsicht sehr bemerkenswertes Ergebnis, daß das Studium von physikalischen Zusammenhängen unter Umständen zu der Auffassung von Größen führen kann, die in einem gegebenen Bereiche sich wie Eigenschaften der Materie verhalten, ohne dies im allgemeinen Falle wirklich zu sein.

Schulapparat zur Demonstration der Gesetze des freien Falles.

Von Dr. Paul Werner in Iglau.

Die Geräte, welche die Gesetze des freien Falles demonstrieren, kann man einteilen in solche, die die Bewegung des freien Falles durch eine ähnliche, aber verzögerte ersetzen (Atwoods Fallmaschine, Fallrinne) und in solche, die den freien Fall beibehalten. Letztere werden dem Schüler die so wichtigen Fallgesetze viel deutlicher veranschaulichen, da zu ihrer Erklärung keine komplizierten Überlegungen nötig sind. Da aber die Fallbewegung schon nach kurzer Zeit mit sehr großer Geschwindigkeit vor sich geht, muß man entweder große Fallräume verwenden (Stiegenhaus bis 20 m), oder man muß die Fallzeiten sehr genau messen. Hierzu verwendet man Chronoskop, Stimmgabel, schwingende Feder oder Pendel. Teils sind diese Geräte kostspielig, teils setzen sie Kenntnisse aus der Lehre vom Schalle voraus, teils erfordern sie eine sehr sorgfältige Einstellung des Apparates; allen aber fehlt die unmittelbare und überzeugende Deutlichkeit, wie wir sie bei einem derart grundlegenden Versuch im Elementarunterricht wünschen. Vorteilhafter sind Fallmaschinen, welche den freien Fall ebenfalls beibehalten, die Zeitmessung aber ersetzen durch eine Strecke, die während der Fallzeit des Körpers von einem Punkt eines anderen, gleichförmig bewegten Körpers zurückgelegt wird.

Die im folgenden beschriebene Fallmaschine erreicht dadurch Anschaulichkeit, daß mehrere Fallkörper verwendet werden, die ihre Bewegung in gleichen Zeitabschnitten nacheinander beginnen und gleichzeitig beenden, während die Fallräume und die zugehörigen Fallzeiten in einfacher Weise durch Strecken dargestellt werden.

Die Fallmaschine gestattet folgende Fallgesetze zu zeigen:

1. Die Fallräume verhalten sich wie die Quadrate der Fallzeiten.
2. Alle Körper fallen gleich schnell.

Außerdem gestattet sie die Parabel des horizontalen und schiefen Wurfes zu demonstrieren.

Das Gerät besteht aus einem Grundbrett *a* (Fig. 1), an dem zwei starke Blechträger *b, c* befestigt sind, die durch einen Steg *d* und zwei kantige Eisenstangen *e, f* versteift sind. Die kantigen Eisenstangen *e, f* sind in gleichen Abständen durchbohrt, so daß entsprechende Löcher senkrecht übereinander liegen und gleich langen Stäben, den Fallkörpern *g, h, i* usw. eine lose Führung bieten. Außerdem tragen die Blechträger *b, c* zwei horizontale Führungsleisten *k, l*, in denen der in Fig. 2 dargestellte Schieber von Hand aus mit leichter Reibung bewegt werden kann. Ferner befinden sich an den Trägern zwei Stifte *m, n* zum Einhängen des in Fig. 3 dargestellten Parallelmaßstabes und zwei Bleche *o, p* zum Befestigen einer auf Glas photographierten Skala. Hinterlegt man die Skala mit einem weißen Papier, so können die Fallräume der einzelnen Stäbe direkt abgelesen werden. Hinterlegt man ein schwarzes Papier, so kann man durch Spiegelablesung die Parallaxe vermeiden. Ohne Papier kann man die Skala zugleich mit den oberen Stabenden durch den Lichtkegel eines Projektionsapparates oder eines Heliostaten projizieren.

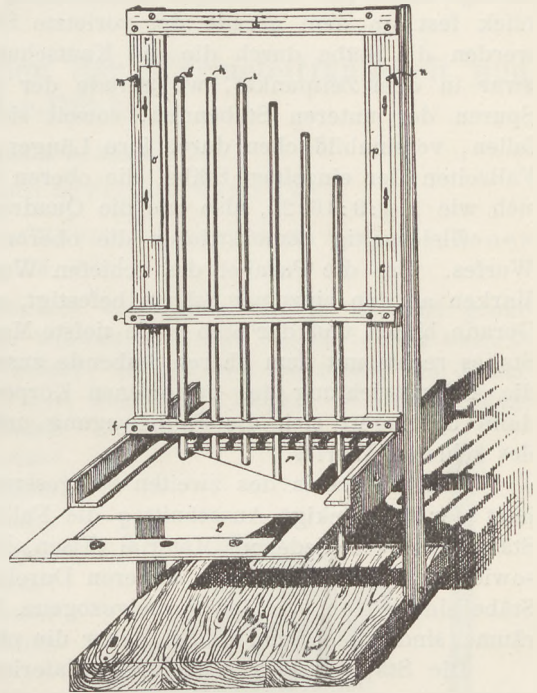


Fig. 1.

Der in Fig. 2 dargestellte Schieber besitzt eine rechteckige Aussparung *q* und eine dreieckige Aussparung *r*. *s* und *t* sind Kautschukstreifen, die derart befestigt sind, daß sie die betreffende Kante der Aussparung um einige Millimeter überragen. Sie sollen die Bewegung der fallenden Stäbe bremsen und das Anschlagen derselben an die Kanten der Aussparungen *q, r* mildern.

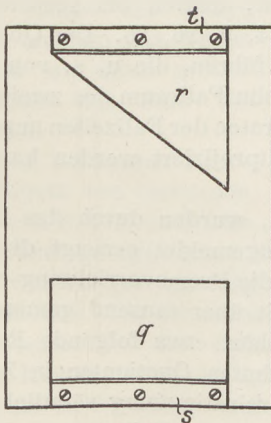


Fig. 2.

Fig. 3 zeigt den Parallelmaßstab. An den Blechstreifen *u, v* sind Drähte *w, x, y, z* usw. gelenkig befestigt, so daß sich ihre Abstände wie 1:3:5:7 usw. verhalten. Der Parallelmaßstab kann in die Stifte *m, n* (Fig. 1) mit den Ösen 1, 2 eingehängt werden. Schiebt man ihn zu einem Parallelogramm zusammen, dann bleiben die

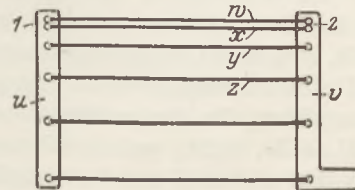


Fig. 3.

y, z usw. gelenkig befestigt, so daß sich ihre Abstände wie 1:3:5:7 usw. verhalten. Der Parallelmaßstab kann in die Stifte *m, n* (Fig. 1) mit den Ösen 1, 2 eingehängt werden. Schiebt man ihn zu einem Parallelogramm zusammen, dann bleiben die

Verhältnisse der Drahtabstände erhalten und die Drähte stellen sich auf die oberen Enden der Stäbe ein.

Um das erste Fallgesetz zu demonstrieren wird der Schieber in der in Fig. 1 veranschaulichten Stellung in die Führungsleisten k , l eingebracht, so daß also der rechteckige Ausschnitt q vorne ist und die Stäbe g , h , i usw. zunächst auf dem Schieber aufruhend. Nun wird der Schieber möglichst gleichmäßig nach vorn gezogen, wodurch die Fallbewegung der Stäbe in gleichen Zeiten nacheinander durch die schräge Kante der dreieckigen Ausnehmung r ausgelöst wird. Fig. 1 hält den Augenblick fest, in dem gerade der vorletzte Stab h ausgelöst wird. Kurze Zeit darauf werden die Stäbe durch die mit Kautschukstreifen versehene Kante gebremst, und zwar in dem Zeitpunkte, wo gerade der letzte Stab g ausgelöst werden soll. Die Spuren der unteren Stabenden, soweit sie innerhalb des dreieckigen Ausschnittes fallen, versinnbildlichen durch ihre Längen, die sich wie 1:2:3:4:5 verhalten, die Fallzeiten der einzelnen Stäbe, die oberen Stabenden zeigen die Fallräume auf, die sich wie 1:4:9:16:25, also wie die Quadrate der Fallzeiten verhalten.

Gleichzeitig demonstrieren die oberen Stabenden die Parabel des horizontalen Wurfes. Um die Parabel des schiefen Wurfes darzustellen, werden Blechringe als Marken an den einzelnen Stäben befestigt, so daß sie in der Anfangslage eine schräge Gerade bilden und der Stab g die tiefste Marke trägt, während die Marke des letzten Stabes rechts mit dem oberen Stabende zusammenfällt. Diese Gerade versinnbildlicht die Anfangsrichtung des geworfenen Körpers. Zieht man nun den Schieber durch, dann überlagert sich die Fallbewegung und die Marken demonstrieren die Parabel des schiefen Wurfes.

Zum Nachweis des zweiten Fallgesetzes wird der Schieber umgedreht, so daß jetzt der rechteckige Ausschnitt q die Fallbewegung der Stäbe auslöst. Es werden Stäbe aus verschiedenem Material (Eisen, Holz, Aluminium, Glas, Hartblei, Kupfer, sowie auch Röhren gleichen äußeren Durchmessers) verwendet. Die Fallzeiten aller Stäbe sind gleich, da der vorbeigezogene Ausschnitt rechteckig ist. Auch die Fallräume sind gleich und bilden daher die oberen Stabenden eine horizontale Gerade.

Die Stäbe aus verschiedenem Material haben ein Volumen von je 10 Kubikzentimeter, so daß sie gleichzeitig eine Skala der spezifischen Gewichte darstellen und in den Schülerübungen zum Ausmessen des Zylindervolumens verwendet werden können.

Die Rechnung zum Nachweise des ersten Fallgesetzes wird am besten so geführt. Man dividiert die gemessenen Fallräume des zweiten, dritten bis sechsten Stabes durch die Quadrate der entsprechenden Fallzeiten 1, 4, 9, 16, 25. Der Quotient soll konstanten Wert haben. Diese Art, die Rechnung zu führen, die u. a. von GRIMSEHL vorgeschlagen wurde, ist vorteilhafter, da man den beim Fallraum des zweiten Stabes begangenen Meßfehler durch Multiplikation mit den Quadraten der Fallzeiten ungebührlich vergrößern würde. Der Parallelmaßstab, der auch mitprojiziert werden kann, liefert eine Bestätigung des Fallgesetzes ohne Rechnung.

Um die Genauigkeit des Apparates zu steigern, wurden durch das Entgegenkommen der Firma J. Exel, die den Apparat (Patent angemeldet) erzeugt, drei Modelle hergestellt, bei denen nebst anderen Teilen besonders die Bremsvorrichtung verbessert wurde. Um die Genauigkeit zu erproben, wurden weit über tausend gemessene Versuche ausgeführt. Zu den schlechtesten Meßwerten gehört etwa folgende Reihe 0,30, 0,31, 0,31, 0,32, 0,29, welche Werte den oben erwähnten Quotienten in Zentimeter angeben. Bei vielen Versuchen ergibt sich eine Übereinstimmung sämtlicher Werte auch in der letzten Dezimale. Beim Nachweise des ersten Fallgesetzes kommt es vor, daß ein Stab um 2 bis 3 mm höher oder tiefer ist als die anderen. Das liegt aber an kleinen Unregelmäßigkeiten bei der Bremsung. Es kommt eben so oft vor, daß bei einer Falltiefe von 10 bis 12 cm der Holzstab beispielsweise um den angegebenen Betrag von 0,3 cm tiefer gefallen ist als der Bleistab.

Bei dem Apparate wurde auf solide Konstruktion besonderes Gewicht gelegt. Man zieht den Schieber mit einem gleichmäßigen, energischen Zug durch, ohne daran zu denken, daß eine Bremse vorhanden ist. Die Stäbe von 6 mm Durchmesser biegen sich auch bei sehr vielen Versuchen nicht durch. Die Gesamthöhe des Apparates beträgt 50 cm, so daß die Versuche gut sichtbar sind.

Der Apparat wird in solider Ausführung von der Firma J. Exel in Iglau (Tschechoslovakei) zum Preise von 28 Goldmark geliefert.

Neue Apparate zur Demonstration der Wärmeleitfähigkeit und des Peltier-Effekts.

Von Gerhard C. Schmidt in Münster i. W.

(Mitteilung aus dem Physikal. Institut der Universität Münster i. W.)

1. Demonstration der verschiedenen Wärmeleitfähigkeit verschiedener Stoffe.

Zur Demonstration der Wärmeleitfähigkeit von festen Stoffen ist eine große Anzahl von Versuchsanordnungen erdacht worden, die aber, soweit ich sie ausprobiert habe, alle unbefriedigende Resultate liefern. Es gilt dies besonders von denen, bei welchen als Indikatoren kleine, mit Wachs angeklebte Kugeln benutzt werden, die beim Schmelzen des Waxes abfallen. Besser ist die bekannte Anordnung von INGENHOUSZ: eine Anzahl gleich dicker, aus verschiedenem Material angefertigter Stäbe ist in horizontaler Lage nebeneinander in die Seitenwand eines Gefäßes eingesteckt, welches siedendes Wasser enthält. Die Oberfläche der Stäbe ist mit einer dünnen Wachsschicht bedeckt, die allmählich schmilzt. Dieser Vorgang beginnt an dem Ende, das an das Gefäß mit Wasser grenzt. Nach Ablauf genügender Zeit hört das Schmelzen des Waxes auf, wobei die Länge des Teiles des Stabes, an dem das Wachs geschmolzen ist, desto größer ist, je besser der Stab die Wärme leitet.

In dem bekannten Lehrbuch der Physik von CHWOLSON (Bd. III Abt. I. S. 375, 1922) ist

eine für Vorlesungen geeignete Abänderung dieses Versuches von HESEHUS¹⁾ beschrieben. Die Stäbe werden geneigt aufgestellt und mit den umgebogenen Enden in siedendes Wasser getaucht. Die Oberflächen der Stäbe sind mit einer Schicht Paraffin bedeckt; auf den oberen Teil der Stäbe werden kleine Paraffinstücke aufgesetzt und mit gebogenen Kupferplatten bedeckt. Während des Versuches gleiten diese Paraffinstückchen bis zu der Stelle nach unten, an der die Temperatur gleich ist der Schmelztemperatur des Paraffins.

Versuche, die ich mit diesem Apparate machte, befriedigten nicht voll, vor allem weil es sehr lange dauerte bis das Paraffin schmolz. Ich habe ihn daher in

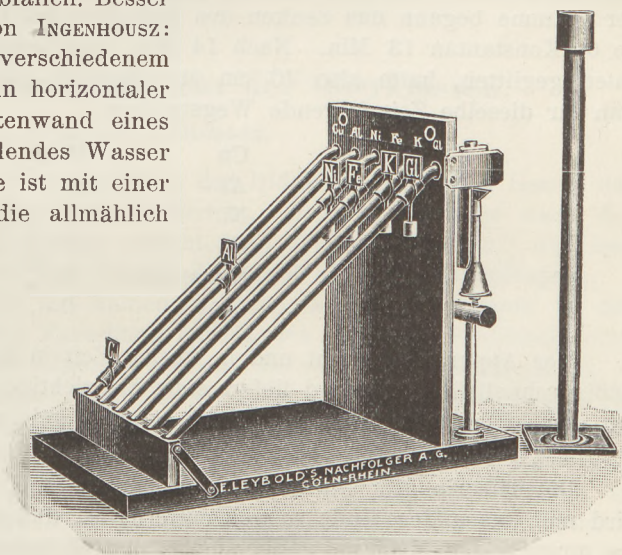


Fig. 1.

¹⁾ Vgl. diese Zeitschr. 7, 90 (1893/4).

folgender Weise abgeändert. Ein Eisenbarren, 3,5 qcm und 30 cm lang, ist an einem Holzbrett so befestigt, daß er mit Hilfe von 3 Schlitzbrennern auf eine hohe Temperatur erhitzt werden kann. Die beiden Endseiten sind mit dickem Asbest bedeckt, um die Strahlung und die Wärmeabgabe an die Luft und das Holz zu vermindern. Auf diese Weise wird erreicht, daß der Stab überall fast dieselbe Temperatur hat. In den Stab sind bis zur Mitte Löcher gebohrt, in die genau die zu untersuchenden Stäbe passen; diese sind oben etwas gebogen und werden in den Stab so hineingeschoben, wie es die Figur zeigt. Eine Asbestwand verhindert, daß die Flammen direkt an die Stäbe schlagen. Die Stäbe haben eine Länge von ca. 50 cm und einen Durchmesser von 1 cm. Sie werden mit einem leichtschmelzenden Gemisch von Wachs und Öl überzogen. Zu dem Zweck dient der in der Figur neben dem Wärmeleitungsapparat stehende Zylinder. In diesem wird das Wachs geschmolzen und der Stab hineingetaucht; nach dem Herausnehmen läßt man das überschüssige Wachs abtropfen. Auf diese Weise wird erreicht, daß der Stab überall gleichmäßig mit Wachs bedeckt ist. Längs den Stäben können kleine, genau passende Zylinder aus dünnem Kupfer oder Messing, die unten mit einem Gewicht beschwert sind, und oben ein Schildchen mit dem Namen des betreffenden Stoffes tragen, gleiten. Zu Beginn des Versuchs, also bevor man den Stab in das Wachs taucht, bringt man sie nach oben, hält sie dort während und nach dem Eintauchen fest, bis das Wachs erstarrt ist. Hat man dann die Stäbe, wie die Figur zeigt, eingebaut, und erhitzt, so beginnt nach einigen Minuten beim Kupfer der Zylinder zu gleiten; darauf folgt Al, später Ni, Fe, Konstantan und schließlich Glas. Ein paar Zahlen mögen zur Erläuterung dienen. Nach Anzünden der Flamme begann das Senken des Zylinders bei Cu nach 1½ Min., Al 2,5, Ni 4, Fe 6, Konstantan 13 Min. Nach 14 Min. war beim Kupfer der Zylinder bis nach unten geglitten, hatte also 40 cm zurückgelegt. Bei den übrigen Körpern erhielt man für dieselbe Zeit folgende Wegstrecken:

Cu	40 cm
Al	19 „
Ni	5 „
Fe	3 „
Konstantan	1 „
Glas	0 „

Der Apparat ist leicht und in kurzer Zeit in Betrieb zu setzen, gibt verhältnismäßig schnell Resultate und liefert stets die richtige Reihenfolge der Wärmeleitfähigkeit der verschiedenen Stoffe. Er ist so groß gebaut, daß man den Vorgang selbst in sehr großen Hörsälen überall verfolgen kann.

Die Theorie gibt für einen sehr langen Stab, bei dem das eine Ende erhitzt wird und das andere Ende so weit entfernt ist, daß seine Temperatur der Temperatur des umgebenden Mediums gleich bleibt, den einfachen Ausdruck¹⁾

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{x_1^2}{x_2^2},$$

wo K_1 und K_2 die Koeffizienten der Wärmeleitfähigkeit der beiden Stoffe und x die Länge der Stäbe bedeuten, bis zu der das Wachs geschmolzen ist. Diese Formel darf hier augenscheinlich nicht angewandt werden, da namentlich bei den gutleitenden Metallen wie Cu auch das andere Ende sich erwärmt, also die Bedingungen, unter denen die Formel abgeleitet wurde, hier nicht erfüllt sind. Ich führe daher in der Vorlesung keine quantitative Messung durch, sondern begnüge mich mit dem Nachweis, daß die Reihenfolge der verschiedenen Stoffe die richtige ist. Hierzu erfüllt der Apparat seinen Zweck völlig.

¹⁾ Vgl. Chwolson, Lehrbuch der Physik Bd. III. Abt. 1, S. 375, 1922.

2. Demonstration der Peltier-Wärme.

Die gebräuchlichsten Apparate zur Demonstration der Peltier-Wärme bestehen aus zwei Metallstäben aus Bi und Sb, deren Lötstelle sich in einem Luftthermometer¹⁾ befindet. Schickt man den Strom in einer Richtung hindurch, so erhält man eine Erwärmung und in entgegengesetzter Richtung Abkühlung. Die Erwärmung zu erhalten ist leicht, da sich stets etwas Joulesche Wärme entwickelt. Schwieriger ist es, die Abkühlung zu zeigen. Bei dem von uns konstruierten Apparat werden zunächst die beiden Metalle auf eine größere Strecke zusammengelötet. Zu dem Zweck wird von beiden Stäben so viel weggefeilt, daß die Dicke nach dem Zusammenlöten überall die gleiche ist. An der Lötstelle werden kleine Löcher 6 bzw. 12 gebohrt und in diese mit Lack dünne Thermoelemente aus Eisen-Konstantan hineingebracht. Seitwärts werden sie hintereinander geschaltet und mit einem empfindlichen Galvanometer verbunden. Die Erwärmung und Abkühlung ist jetzt absolut sicher nachzuweisen. Zweckmäßig ist es den erwärmenden Strom nicht zu lange hindurchgehen zu lassen, da es sonst längere Zeit dauert, bis die Lötstelle die Zimmertemperatur annimmt und das Galvanometer zur Ruhe kommt.

Herrn Universitätsmechaniker SCHWIND, der mir bei der konstruktiven Durcharbeitung der beiden Apparate geholfen hat, spreche ich hierfür meinen besten Dank aus.

Die Firma E. Leybolds Nachf. in Köln hat die Anfertigung der beiden Apparate übernommen.

Die Lichttheorie im Unterricht der Oberklassen.

Von B. Bavink in Bielefeld.

Zu den bemerkenswertesten Naturgesetzen der Didaktik gehört das Gesetz der Phasendifferenz zwischen Forschung und Unterricht. Dieselbe kann je nach der Geschwindigkeit des Erkenntnisfortschritts verschiedene Beträge erreichen. Auf dem hier in Rede stehenden Gebiete beträgt sie zur Zeit zwei bis drei Wellenlängen.

Ohne Bild und Scherz: wohl auf keinem anderen Gebiete der Physik ist der Unterricht heute so weit hinter der Forschung zurück wie auf dem der Lichttheorie. Um das darzutun und zugleich zu zeigen, wie dem Übelstande abzuhelfen ist, ist es notwendig, daß wir kurz die Geschichte der Lichttheorie uns vergegenwärtigen. Sie ist heute in weitem Umfange identisch mit der Geschichte der Physik überhaupt. Früher war das nicht in dem Maße der Fall. Damals suchte man unter dem Einflusse des mechanistischen Weltbildes die Optik zu einem Sondergebiet der Mechanik zu machen. Heute dagegen haben die Elektrik und die mit ihr aufs engste verquickte Optik die Führung an sich gerissen.

Die Lichttheorie beginnt mit der bekannten Kontroverse zwischen NEWTON und HUYGENS. Zuerst siegte NEWTONS Autorität und damit die sogenannte Emissionstheorie. Später, um 1800, wendete sich das Blatt zugunsten der Wellentheorie, den Ausschlag gaben FRESNELS berühmte Untersuchungen (um 1820). Beide Theorien sind mechanische, d. h. sie versuchen das Licht als einen Vorgang aufzufassen, der mit den Begriffen der Mechanik ausreichend beschrieben werden kann. Auch die etwas später der Fresnelschen Theorie zur Seite tretende Neumannsche ist eine mechanische. Ihr Grundvektor verhält sich zu dem Fresnelschen wie eine mechanische (elastische) Drillung zu einer Verschiebung. Beide können deshalb auch in eine gemeinsame Theorie zusammengefaßt werden, die in zwei Gleichungstripeln diesen Zusammenhang beider Vektoren formuliert. Als in der zweiten Hälfte des vorigen

¹⁾ z. B. Loosers Thermoskop.

Jahrhunderts der Positivismus in der Physik Mode wurde, gewöhnte man sich daran, in diesem doppelten Formelsystem das Wesentliche zu sehen, dagegen auf die anschauliche Deutung der beiden „Vektoren“ völlig zu verzichten. Diese „formalistische“ Lichttheorie stellt die dritte Phase der geschichtlichen Entwicklung dar. Sie hatte viele Anhänger bis gegen das Ende des Jahrhunderts hin, obwohl bereits um 1860 ein neuer, der vierte Erkenntnisfortschritt begründet war. MAXWELL hatte schon damals gezeigt, daß es nicht nur berechtigt, sondern wahrscheinlich sogar notwendig sei, die fraglichen beiden Vektoren mit einer elektrischen und einer magnetischen Feldstärke zu identifizieren, und HERTZ hatte durch seine berühmten Versuche um 1880 diese Lehre MAXWELLS der Gewißheit bereits nahe gebracht. Um die Jahrhundertwende hatte die elektromagnetische Lichttheorie endgültig gesiegt.

Aber auch ihr war es ebensowenig wie den mechanischen Theorien gelungen, diejenigen Erscheinungen zu erklären, bei denen Wechselwirkungen zwischen dem Licht und der Materie in Frage kommen, vornehmlich die Gesetze der Lichtemission und -Absorption, sodann auch die der Farbenzerstreuung, Drehung der Polarisations-ebene u. a. m. Hier bedurfte sie ebenso wie die mechanische Lichttheorie der Anleihen bei besonderen Hilfshypothesen, oder sie versagte völlig. Dieser Mangel wurde der Anlaß zur Weiterbildung der Maxwellschen Theorie durch die Elektronentheorie und damit zu einem fünften Stadium der Lichttheorie überhaupt. Was die neue Theorie leisten konnte, ersieht man am besten aus dem Standwerke W. VOIGTS über Magneto- und Elektrooptik (Teubner 1908). Neben den alten Rätseln der Dispersion und Absorption, des Faradayeffekts (magnet. Drehung der Pol.-Ebene) u. a. bot die Elektronentheorie den Weg zu einer ganzen Reihe neuer wichtiger Phänomene, vor allem dem Zeemaneffekt, deren Studium bald ganze Scharen von Physikern anzog. Doch auch hier blieb das wichtigste aller Probleme des Lichts, das der Lichtemission, ungelöst. Die heute sogenannte klassische Theorie (i. e. die durch die Elektronenhypothese erweiterte Maxwellsche Theorie) konnte weder die Gesetze der Linienspektren, noch die des kontinuierlichen Spektrums, vor allem nicht das Gesetz der Energieverteilung im Spektrum des „schwarzen Körpers“, befriedigend ableiten.

In diese Lücke trat die Plancksche Quantentheorie, mit der wir in das gegenwärtig letzte, sechste Stadium der Lichttheorie eintreten. Ihr Schöpfer PLANCK führte die Grundannahme der Quanten zunächst ein zur Ableitung des ebenerwähnten Gesetzes der spektralen Energieverteilung (1900). An diesen ersten großen Erfolg reihten sich sofort weitere auf dem Gebiete der Wärmetheorie, wie z. B. EINSTEINS Untersuchungen über die spezifische Wärme, sowie die Erkenntnis, daß die Quanten auch bei anderen Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie, vor allem beim photoelektrischen Effekt eine entscheidende Rolle spielen. Den Schlußstein aber setzte erst NIELS BOHR im Jahre 1913 durch die Ableitung des Gesetzes der Serienspektren. Auf die weitere bewundernswerte Entwicklung seiner Theorie in der Hand von SOMMERFELD u. a. braucht hier nicht eingegangen zu werden. Gegenwärtig dreht sich die Erörterung in erster Linie um die zwischen der „klassischen“ und der Quantenlehre vorhandenen Widersprüche, deren restlose Beseitigung bislang keineswegs gelungen ist. —

Diese kurze geschichtliche Übersicht sollte nur ein Gerippe geben, an das unsere didaktische Erörterung nunmehr anzuknüpfen hat. Es genügt ein Blick in unsere verbreitetsten Schullehrbücher, um zu zeigen, daß günstigstenfalls ganz flüchtig das vierte Stadium, die Maxwellsche Theorie, zumeist aber noch nicht einmal diese, dort Berücksichtigung findet. Wie weit der Unterricht an manchen Orten über das vom Lehrbuch Gebotene hinausgeht, wie weit er aber andererseits auch vielfach sogar noch dahinter zurückbleiben mag, entzieht sich der Kenntnis. Ich fürchte aber, allzu erfreulich würde das Ergebnis einer statistischen Feststellung nicht werden.

Nun höre ich schon einen stets in solchen Fällen bereiten Einwand. Man wird fragen: warum sollen denn die Schüler überhaupt von all diesen Dingen so viel

erfahren? Gehört ein solches Streben nicht zu dem falschen, von der jetzigen „Reform“ mit Recht abgelehnten Ideal der „Allgemeinbildung“, das auf ein Vollstopfen mit möglichst vielem interessanten Stoff hinausläuft. Hierauf antworte ich zunächst: Es läßt sich gewiß darüber streiten, ob unsere Schüler 1. überhaupt Physik, 2. insbesondere Optik, 3. insbesondere theoretische Optik „durchnehmen“ sollen. Es läßt sich m. E. aber nicht darüber streiten, daß, wenn sie einmal Lichttheorie treiben, dann auch die Lichttheorie von heute und nicht die von vor 30 oder 50 oder gar 100 Jahren ihnen vorgesetzt werden soll. Nun bezweifle ich sehr, ob irgendein Physiklehrer ganz auf dieses Kapitel in den Oberklassen verzichten wird. Ich habe auch noch kaum ein Lehrbuch gefunden, in dem nicht zum wenigsten die bekannten Darlegungen über NEWTON und HUYGENS, der Foucaultsche Versuch als Entscheidung gegen NEWTON u. a. dgl. standen. Es scheint also doch wohl, daß man allgemein Lichttheorie als solche für erwünscht und notwendig hält. Dann aber sage ich: wenn schon, denn schon! Dann auch wirklich das, was man heute mit einiger Sicherheit darüber weiß, und nicht eine Weisheit von anno dazumal. Also Einführung in die moderne Theorie. Das Allermindeste, was zu verlangen wäre, ist dies, daß die Schüler ein klares Bild des Zusammenhanges zwischen der Optik und der Elektrik mit hinausnehmen. (Das wäre also immer erst das vierte Stadium, MAXWELL!) Aber nicht einmal das wird, wie ich leider aus vielfacher Erfahrung annehmen muß, heute an der Mehrzahl der Schulen erreicht. — Wie nun dem Ziele näher kommen?

Die erste Forderung muß auch hier wieder heißen: Sichtung und starke Kürzungen des bisherigen Lehrstoffs. Nach der neuerdings vom Ministerium beliebten „Reform“ (lies: Beschneidung des realen Unterrichts zugunsten der armen benachteiligten Sprachen) ist diese Forderung dringender als je. Ich habe sie hier wiederholt erhoben, muß aber immer wieder darauf zurückkommen. Heraus muß vor allem die ausführliche Behandlung der geometrischen Optik, sowie die nur zu leicht zu reiner Mathematik degenerierende Mechanik der starren Körper. Heraus müssen die rein technischen Ausführungen, soweit sie nicht das Allerwichtigste und Notwendigste betreffen. Wer wochenlang am Ohmschen Gesetz mit seinen sämtlichen Verzweigungen in der Technik herumunterrichtet, hat natürlich keine Zeit für weiterführende Theorien. So gut und nützlich solche Dinge an sich sein mögen, sie sind m. E. von einer empiristischen Zeitströmung über Gebühr in den Vordergrund geschoben worden. Man hat darüber vergessen, daß Physik doch in erster Linie Wissenschaft, d. h. Einsicht, gedanklicher Aufbau, Logisierung der Wirklichkeit ist, und daß ihr Bildungswert nicht in erster Linie darin besteht, daß sie uns unsere technischen Lebensbedingungen kennen lehrt, sondern darin, daß sie wie kein anderer Zweig der Schularbeit die Bewältigung der Wirklichkeit durch den Gedanken vor Augen führt und zugleich damit ein überwältigendes Weltbild vor den erkenntnishungrigen Geist hinstellt. Physikstunden in den Oberklassen müssen, wenn auch nicht immer, so doch oft genug, die Schüler auf Höhen führen, von denen sie eine ungeahnte Fernsicht über das ganze große Gebiet der „Welt“ genießen. Das erfordert zwar etwas Kletterei, aber diese Kletterei lohnt sich auch, und schließlich ist die Jugend uns dafür doch noch mehr dankbar, wenn wir sie auf solche Höhen führen, als wenn wir sie immer nur durch die fruchtbaren Niederungen der „Anwendungen“ geleiten, die ohnehin schon einen hinreichend breiten Raum einnehmen müssen.

Die dritte Vorbedingung — und das ist die wichtigste — heißt: klare methodische Einstellung des gesamten Unterrichts auf das Ziel, anders gesagt: Konzentration. In dieser Hinsicht läßt der Unterricht am leichtesten zu wünschen übrig. Die ungeheure Fülle des an sich interessanten und wissenswerten Stoffes verleitet uns Lehrer der Physik auf Schritt und Tritt dazu, über dem Einzelnen das Ganze aus dem Auge zu verlieren. Das kostet nicht nur quantitativ Zeit, sondern führt vor allem dazu, daß die Wege, die vom einzelnen Punkte zum Gipfel hinauf weiterführen, nicht klar ins Auge gefaßt werden. Oft liegt der Schaden an ein paar Kleinigkeiten, an einer

unglücklichen, nicht falschen, aber für diesen Zweck nicht brauchbaren Formulierung der Sätze, am Auslassen einer scheinbar nebensächlichen Erwägung, die doch einen Riesenschritt nach oben bedeutet oder dgl. Es sei ein Beispiel angeführt, das auf unserem Gebiet etwa die Rolle spielt, wie die früher¹⁾ erwähnte Behandlung des Faradayschen Gesetzes der Elektrolyse für die moderne Korpuskulartheorie. Ich meine die Behandlung der Induktionsgesetze und weiterhin der elektromagnetischen Feldgesetze überhaupt.

Gemeinhin findet man noch heute in Lehrbüchern die Versuche, in einer Spule Induktionsstrom durch Bewegen eines Magneten oder durch Unterbrechung oder Schließung eines „Primärstromes“ zu erzeugen, neben einander gestellt als „Magneto- und Elektroinduktion“. Dann folgt eine „Zusammenfassung“ und die Feststellung der Richtung des Induktionsstromes etwa in der Fassung der sog. Lenzschen Regel. Das ist ein Typus für die rein phänomenologische Darstellungsweise, die freilich dem Ideal der Physik, wie es Mach gezeichnet hat, entspricht, ihre Unzulänglichkeit aber gerade dadurch beweist, daß sie geradezu systematisch jeden Ausblick nach oben verbaut, auch da, wo er sich ganz ungezwungen ergibt. Sie gleicht einem Führer, der seinen Schutzbefohlenen, damit er nur ja nicht vom Wege abkommt, andauernd zwischen zwei hohen Bretterwänden einherführt, sicher ein Mittel, um ein „Irrlichtelieren hin und her“ zu verhindern, ob aber gerade eines, das den Weg erfreulich macht? Ein paar fast unmerkliche Veränderungen, und das Ergebnis sieht völlig anders aus. Man stelle im Physikunterricht nicht erst die „Magneto- und Elektroinduktion“ neben einander, sondern mache zuerst nur den Versuch mit dem Magneten und formuliere den so: Veränderung des Magnetfeldes in der Umgebung der Spule erzeugt in dieser einen Strom. So ergibt sich sofort die Frage, ob man das dann nicht auch erreichen kann durch Schließen und Öffnen eines Stromes, der ja ein Magnetfeld um sich hat. Versuch mit positivem Ergebnis, wie erwartet. Die Regel wird dadurch nicht geändert, und es sind immer noch nicht zwei, sondern nur eine Erscheinung, deren Identität hier keine „Zusammenfassung“, sondern eine Selbstverständlichkeit ist. Man soll den Unterschied der beiden „Arten“ gar nicht erst machen, dann braucht man ihn auch nicht in einer Zusammenfassung wieder aufzuheben. Wichtiger aber noch als diese von vornherein einheitliche Auffassung des ganzen Erscheinungskomplexes ist es, daß man nun auch nicht bei dem Induktionsstrom stehen bleibt, sondern zu der Faraday-Maxwellschen Auffassung der Sache als eines Vorgangs im elektromagnetischen Felde vordringt. Das Endziel muß hier die Gewinnung des zweiten Maxwellschen Grundgesetzes sein: Zeitliche Veränderung eines Magnetfeldes bedingt wirbelförmig dasselbe umschließende elektrische Kraftlinien. Diese allgemeine Form ist für Schüler durchaus faßlich, man kann mit guten Jahrgängen, wie ich mehrfach ausprobiert habe, sogar auch die quantitative Formulierung, die sog. Maxwellschen Gleichungen, ableiten, aber das ist nicht zum Verständnis des Ganzen unbedingt nötig. Nötig ist dagegen, daß dem Schüler klar wird: der Strom in der Spule ist nur die Folge der erzeugten Spannung, d. h. des erzeugten elektrischen Feldes. Wo man diese Verallgemeinerung ansetzen will, mag dem einzelnen überlassen bleiben. Ich pflege sie bereits am Anfang anzudeuten, um so auch die Selbstinduktion sogleich als selbstverständliche Folgerung erscheinen zu lassen. Die Schüler verstehen dann auch sofort den inneren Grund, warum bei der bekannten elementaren Ableitung des quantitativen Gesetzes (Spannung gleich Zahl der durchschnittlichen Kraftlinien mal 10^{-8}) die Stromstärke aus der Rechnung herausfällt. Jedenfalls müssen sie schon hier soweit kommen, daß sie in dem Strom nur eine sekundäre Folge der Spannung erkennen, welche letztere auch dann vorhanden ist, wenn gar keine Sekundärspule da ist, welche durch diese Spannung mit Strom versorgt wird. Die endgültige Formulierung des

¹⁾ Diese Zeitschr. XXIX, 1916, Heft 4 S. 175.

allgemeinen Satzes behalte ich mir vor für den Anfang des Kapitels „Elektrische Wellen“. Hier stelle ich die beiden allgemeinen Sätze nebeneinander (den obigen und den umgekehrten ersten, sich aus der Verallgemeinerung des Ørsted'schen Versuches mit Zuhilfenahme des Maxwell'schen „Verschiebungsstromes“ ergebenden). Darauf baut sich dann die Theorie der elektromagnetischen Wellen und die Lichttheorie ohne weiteres auf.

Bei genügender Stundenzahl möchte ich dringend empfehlen, die Ableitung der Maxwell'schen Gleichungen durchzuführen. Es ist dazu nicht nötig, wie es in den Lehrbüchern der theoretischen Physik zumeist geschieht, den Stokesschen Satz und andere Theoreme der höheren Mathematik heranzuziehen. Man kann vielmehr auf eine ähnliche elementare, aber erheblich vereinfachte Weise, wie es in MÜLLER-POUILLET-KAUFMANN Bd. IV geschieht, die Gleichungen gewinnen. Für das erste Tripel (Ørsted-Ampere) gebraucht man den vorher als Hilfssatz abzuleitenden Satz, daß die beim Herumführen eines Magnetpoles um einen Strom geleistete oder gewonnene Arbeit $= 4\pi \cdot im$ ist. Außerdem ist vorher zu zeigen, daß der „Verschiebungsstrom“ gleich der zeitlichen Ableitung der elektrischen Feldstärke zu setzen ist. Man führt dann den Magnetpol senkrecht zu dem als wachsend ($\parallel Z$) gedachten elektrischen Felde entlang den Seiten eines unendlich schmalen Rechtecks $y \cdot dx$ herum. — Für das zweite Gleichungstripel gebraucht man nur das Induktionsgesetz, das auf ein ebensolches Rechteck anzuwenden ist. — Aus den beiden Maxwell'schen Gleichungssystemen läßt sich sofort durch eine ganz einfache Elimination eine Gleichung gewinnen, welche die zeitliche Fortpflanzung von Feldstörungen mit der Geschwindigkeit $C/\sqrt{\epsilon\mu}$ ausspricht. Daraus ergibt sich dann wieder unmittelbar die bekannte Folgerung daß, da μ zumeist nahe gleich 1 ist, der Brechungsexponent gleich der Quadratwurzel aus der Dielektrizitätskonstante sein müßte. Diese Folgerung gilt bekanntlich nahe für manche gute Isolatoren und für alle Stoffe in Wellenlängengebieten, die diesseits aller Eigenschwingungen (Absorptionsstreifen) liegen. Wie weit man in diesen Dingen gehen will, sei dem einzelnen überlassen.

Auf alle Fälle aber muß m. E. ein Schüler, der drei Jahre in den Oberklassen Physik getrieben hat, ein deutliches Bild des kontinuierlichen Zusammenhanges der elektrischen mit den Wärme- und optischen, sowie den ultravioletten und Röntgenstrahlen haben. Die bekannte Lebedew'sche Wellenskala dürfte heute nicht mehr, wie es leider noch immer vielfach der Fall ist, in einem Physiklehrbuch fehlen. Ein Physikunterricht, der dies nicht leistet, steht nach meinem Gefühl ungefähr einem Geschichtsunterricht gleich, der seine Schüler ohne jegliche Kenntnis etwa des Einflusses der Entdeckung Amerikas auf die europäische Welt entließe. Es handelt sich hier nicht um Einzelheiten, die man nach Belieben mitnehmen oder weglassen kann, sondern um die Grundlagen unserer ganzen Physik überhaupt. Läßt man die weg, dann hinterbleibt nichts als eine zusammenhangslose Summe einzelner Begriffe und Sätze.

Aus diesem selben Grunde trete ich nun aber auch an dieser Stelle abermals für eine ausgiebige Behandlung der Elektronentheorie ein. Früher Gesagtes¹⁾ will ich hier nicht wiederholen, sondern nur auf dasjenige hinweisen, was mit der Lichttheorie zusammenhängt. Der weitere Ausbau der letzteren gehört ohne Zweifel hinter das Kapitel: Korpuskularstrahlen, das seinerseits, wie a. a. O. erwähnt, naturgemäß an die Elektrolyse anzuschließen ist. Nach Erledigung der Kathodenstrahlen und Kanalstrahlen, evtl. auch noch der Röntgenstrahlen, die aber auch zurückgestellt werden können, ist ein besonderes Kapitel: „Licht und Materie“ einzusetzen. Hier ist dann zuerst auf dem Boden der „klassischen“ Theorie die einfache Lorentz'sche Ableitung des Zeemanphänomens zu geben (sie erfordert nur die Lösung einer gewöhnlichen quadratischen Gleichung durch ein Annäherungsverfahren). Die verhältnismäßig sehr geringe Mühe, die man hierauf verwendet, lohnt sich überreichlich.

¹⁾ Diese Zeitschr. 19, Heft 4 und 34, Heft 6.

Bilder des Zeemaneffekts sind leicht aufzutreiben und der Eindruck, den die Übereinstimmung des aus ihnen berechneten Wertes e/m mit dem Kathodenstrahlwert macht, ist ein außerordentlicher. Man glaubt hier geradezu mit Händen greifen zu können, auf welchen Wegen der Menschegeist in das Innere der Dinge eindringt, und es tut diesem Eindruck auch die Kritik keinen Abbruch, die wir von unserem heutigen, durch die Quantenlehre veränderten Standpunkte aus an jener einfachen Lorentz'schen Theorie üben müssen. Ich glaube nicht, daß ein Lehrer, der einmal diese Dinge im Unterricht behandelt hat, je wieder darauf verzichten wird.

Auf weitere magneto- und elektrooptische Erscheinungen einzugehen, ist für die Schule allerdings wohl überflüssig, um so eher aber darf man fordern, daß nun auch der letzte Schritt zur Quantenlehre getan werde, und die Schüler damit wirklich in die moderne Theorie des Lichts eingeführt werden.

Die Quantenlehre spielt schon heute in der Physik eine so fundamentale Rolle, ja sie reicht sogar so weit in philosophische Prinzipienfragen hinein, daß unsere Schüler wohl erwarten dürfen, nicht ganz ohne Belehrung über diese Dinge, von denen heute so viel die Rede ist, hinauszugehen. Aber wieviel, was, und wie? In den schon öfter erwähnten früheren Aufsätzen habe ich ebenso wie in meinem „Grundriß der Atomistik“ in der herkömmlichen Weise die Einführung der Quantenlehre auf dem Planckschen Wege ins Auge gefaßt. Es ist mir mittlerweile zweifelhaft geworden, ob nicht auch dabei ein etwas bequemer Historismus eine zu große Rolle gespielt hat. Die Plancksche Ableitung des Strahlungsgesetzes mittels der statistischen Mechanik¹⁾ ist für die Schule und für den Laien, der eingeführt werden soll, überhaupt ausgeschlossen. Man kann nun natürlich trotzdem, da dieses Problem einmal den Anlaß zu der neuen Lehre gegeben hat, von ihm ausgehen, muß dann aber das Resultat angeben, ohne es begründen zu können. Das ist an sich zwar nicht so schlimm, wie es manchem erscheint, da es anderswo auch geschieht (wie z. B. beim Newton'schen Gesetz und der Planetenbewegung), aber wenn es vermieden werden kann, so ist ein solcher Weg natürlich vorzuziehen. Das ist nun in der Tat möglich, man muß nur anstatt vom Strahlungsgesetz vom photoelektrischen Effekt ausgehen. Dieser hat vom Standpunkte des Schulunterrichts aus den weiteren großen Vorzug, daß er mit sehr einfachen Mitteln zu demonstrieren ist. Den einfachen sog. Hallwachsversuch kann man mit jedem Elektroskop und einer Zinkplatte anstellen. Wer ein Überflüssiges tun will, kann sich eine ELSTER-GEITEL-Zelle oder dgl. anschaffen und dann sogar quantitative Versuche machen. Hat es nun auch keinen Zweck, dies in der Ausführlichkeit anzustellen, wie es für die Begründung des Grundgesetzes nötig wäre, so kann man doch dieses hinreichend vorbereiten, um es völlig verständlich zu machen. Einige Diagramme aus den Arbeiten von DUANE und HUNT u. a., die sich in vielen populären Darstellungen finden, lassen unmittelbar erkennen, daß die Energie der ausgesandten Elektronen linear von der Schwingungszahl des erregenden Lichtes abhängt, sowie daß der Steigungsfaktor der Linien unabhängig von der Art des Metalls immer derselbe ist. Er ist nichts anderes als die Plancksche Konstante, denn nach der Einsteinschen Gleichung ist $E - E_0 = h \cdot n$, wenn E_0 die „Ablösungsarbeit“, die von der Art des Metalls abhängt, bedeutet. Die auf diesem Wege gewonnenen Werte von h übertreffen zur Zeit an Genauigkeit die aus der Strahlungsformel erhaltenen.

Daß weiter diese Konstante h nun nicht nur für den lichtelektrischen Vorgang die Bedeutung einer universellen (stoffunabhängigen) Konstanten hat, sondern überhaupt für alle Umsetzungen von Strahlungsenergie in Energie der Materie und umgekehrt maßgebend ist, ist eine Verallgemeinerung, die hier ziemlich naheliegt, deren Richtigkeit aber natürlich nur durch die weiteren Anwendungen der Quantenlehre erwiesen

¹⁾ Eine vortrefflich klare Darstellung findet man z. B. im zweiten Band des Lehrbuches der theoretischen Physik von Haas. (W. de Gruyter, 1921.)

werden kann. Da wir auch hier vor jedem Zuviel uns hüten wollen, so kommen von diesen Anwendungen m. E. überhaupt nur die Plancksche Strahlungstheorie und die Bohrsche Atomtheorie in Betracht. Über die Reihenfolge, in der dieselben im Unterricht am zweckmäßigsten durchgesprochen werden, läßt sich reden. Die Strahlungsformel voranzustellen empfiehlt sich nicht nur wegen der historischen Entwicklung, sondern auch deshalb, weil für sie keine weiteren Hilfsannahmen erforderlich sind. Dagegen spricht der schon oben angeführte Übelstand, daß der eigentliche Beweis zu schwierig ist, die Schüler aber um so eher geneigt sein werden, auch einmal ein solches nicht vollständig durchschautes Gesetz hinzunehmen, wenn sie die anderen überaus fruchtbaren Anwendungen derselben Theorie schon kennen. Da aber diese, nämlich die Bohrschen Ergebnisse, sich leichter auch zu weiteren Erörterungen fortführen lassen — man wird z. B. ungerne auf die Geschichte der Entdeckung des Hafniums und überhaupt BOHRs Theorie des periodischen Systems ganz verzichten — so scheint mir doch das zweckmäßigste schließlich die Reihenfolge PLANCK-BOHR, nicht umgekehrt.

Sollte aber jemand nun auch die ganze Plancksche Strahlungsformel aus der Schule verbannen wollen, so möchte ich doch unbedingt daran festhalten, daß deshalb nicht auch die Bohrsche Theorie das gleiche Schicksal treffen darf. Man hat oft BOHR als den „Newton der Spektroskopie“ bezeichnet. Dies Wort ist nicht nur in dem Sinne wahr, daß die Verhältnisse innerhalb des Atoms nach BOHR tatsächlich weitgehende Ähnlichkeiten mit denen in einem Sonnensystem aufweisen, sondern auch insofern, als die Lösung dieses Problems des Mikrokosmos an Wichtigkeit sich mit Fug und Recht der berühmten Newtonschen Leistung in Hinsicht auf den Makrokosmos zur Seite stellen darf. Wenn es auch im Drange der politischen und wirtschaftlichen Nöte nur wenigen Deutschen heute zum Bewußtsein kommen mag, so sollen doch unsere Schüler etwas davon merken, daß wir in einer Zeit leben, die sich getrost neben jener großen „klassischen“ Periode der Physik sehen lassen darf und die mit Recht von einem ihrer hervorragendsten Führer, RUTHERFORD, kürzlich als das „heroische Zeitalter“ der Physik bezeichnet worden ist. Es ist gar kein Zweifel, daß man von unseren Tagen dereinst in Hinsicht auf die Probleme des Baues der Materie ebenso sprechen wird, wie wir heute von den Tagen des KOPERNIKUS, KEPLER und NEWTON in Hinsicht auf die Astronomie sprechen. Ein Physikunterricht, der dies den Schülern nicht zum klaren Bewußtsein bringt, geht m. E. an seiner wichtigsten Aufgabe vorbei.

Es ist noch nicht allzulange her, daß man in mechanischen Vorgängen das Wesen aller Naturerscheinungen überhaupt sehen zu dürfen glaubte. Heute wissen wir, daß diese Vorstellung zu eng war, daß vielmehr die Elektrizitätslehre den Wurzeln der Dinge mindestens ebenso nahe, wenn nicht näher kommt als die Mechanik, vermutlich aber die endgültige Gestalt des physikalischen Weltbildes eine Synthese beider in einer höheren Einheit vorstellen wird, die noch nicht gefunden ist. Bei dieser Lage der Dinge darf man nicht nur, sondern muß man m. E. nunmehr klar ins Auge fassen, daß wir unsere Schüler auf den Gipfel der Erkenntnis, den die Bohrsche Theorie vorstellt, mit demselben Rechte führen dürfen und müssen, wie auf den der Kepler-Newtonschen Himmelsmechanik. Über die Notwendigkeit dieses letzteren herrscht meines Wissens kein Streit. Ich kenne auch kein Physikbuch für die Oberstufe, das dieses Kapitel nicht enthielte. Ich scheue mich darum nicht, es hier auszusprechen: **Was Kepler und Newton recht ist, ist Rutherford, Planck und Bohr billig.** Ihre Leistungen müssen ein zweites richtunggebendes Ziel des gesamten Physikunterrichts sein, auf das die gesamte Optik und ein großer Teil der Elektrik von vornherein abzustellen sind. Das ist nur dann möglich, wenn wir viel stärker als bisher daran denken, daß wir auch in der Optik Physikunterricht und nicht angewandte Mathematik treiben sollen. Darüber zum Schluß ein kurzes Wort, das vielleicht einige

Mißverständnisse der hier erstrebten und, wie ich weiß, von zahlreichen Kollegen gebilligten Ziele beseitigen kann.

Die Mathematik spielt in der „theoretischen Physik“ zwei verschiedene Rollen. Sie hängen mit den zwei verschiedenen Bedeutungen des Wortes Theorie in diesem Gebiet zusammen. Es gibt ausführende und erklärende Theorien. Was darunter zu verstehen ist, lehren am einfachsten Beispiele. Muster ausführender Theorien sind z. B. die Thermodynamik (Energielehre), die Fouriersche Wärmeleitungstheorie, die zum Teil höchst verwickelten Theorien der optischen Instrumente u. a. In allen diesen Fällen handelt es sich um die weitere Ausführung und Anwendung eines oder einiger an sich höchst einfacher Grundsätze, in der Wärmeleitungstheorie z. B. des an sich einleuchtenden Satzes, daß der „Wärmestrom“ proportional dem Temperaturgefälle ist, in der geometrischen Optik um die des Reflexions- und Brechungsgesetzes, eventuell auch der Wellenlehre, in der Thermodynamik um die der beiden „Hauptsätze“ usw. Es ist bekannt, daß MACH in derartigen Theorien den einzigen wirklich erstrebenswerten Typus aller physikalischen Theorie überhaupt gesehen hat. Eben deshalb hat er die Atomistik, welche den Prototyp der anderen Art, der erklärenden Theorien, abgibt, so leidenschaftlich bekämpft. Diese Art von Theorien wollen nicht auf bereits feststehender Grundlage einen Bau aufführen und ausführen, sondern sie wollen eben diese Grundlagen selber erst schaffen. Das Ausführen geschieht bei ihnen mit dem steten Zweck, an der Hand dieser Ausführungen die Zulässigkeit der Grundlagen zu prüfen. Das Mittel, zu solchen Grundlagen zu gelangen, ist die wissenschaftliche Phantasie und Kombinationsgabe. Wäre BOHR nicht auf den wahrhaft genialen Gedanken verfallen, das Quantenprinzip PLANCKS auf das Innere des Rutherford'schen Atommodells anzuwenden, so wäre eben nicht er der „NEWTON der Spektroskopie“ geworden. In beiden Arten von „Theorien“ spielt nun die Mathematik eine wesentlich verschiedene Rolle. Im ersten Falle liefert sie sozusagen die Fäden des Gespinnstes, womit von einem gegebenen Standort aus der „Theoretiker“ ein Gebiet der Wirklichkeit überzieht, um es auch praktisch und in vielen Einzelfällen exakt beherrschen zu lernen. Hat man beispielsweise das elementare Gesetz der elektrostatischen Influenz der Leiter (Konstanz des Potentials auf der Leiteroberfläche), so ist es nur noch eine mathematische Aufgabe, nunmehr die Verteilung der Ladung auf einem Leiter gegebener Form im Felde einer gegebenen Ladung zu berechnen. Solche Dinge rechnet man auch zur „theoretischen Physik“, es leuchtet aber ein, daß man durch sie grundsätzlich nichts Neues lernt. Eine ganz andere Bedeutung hat dagegen die mathematische Formulierung in einem solchen Falle, wie etwa dem Planck'schen Strahlungsgesetz. Hier hängt der ganze Erkenntnisfortschritt gerade an dieser Formulierung. Das Problem, das es zu lösen galt, war: zu zeigen, aus welchen Gründen die Strahlungsfunktion gerade diese und keine andere Form hat. Ganz ebenso liegt es mit der Bohrschen Theorie der Spektre. Die zuerst von BALMER ermittelte Serienformel ist als solche das eigentliche Objekt der physikalischen Untersuchung. Es soll nicht nur begründet werden, warum überhaupt Licht emittiert wird, sondern warum es gerade nach diesem Gesetz emittiert wird. In solchen Fällen bildet die Mathematik sozusagen die Leiter, auf der allein eine neue Stufe physikalischer Erkenntnis erklommen werden kann.

Welche Bedeutung haben nun diese beiden verschiedenen Arten von Theorie für den Unterricht? Da zu der ersten alle diejenigen theoretischen Entwicklungen gehören, durch die wir bekannte Erscheinungen des täglichen Lebens oder der wissenschaftlichen Beobachtung, insbesondere auch astronomische, geographische usw. in den Zusammenhang des theoretischen Gebäudes einreihen — man denke etwa an die Erklärung der Passate oder der Buys-Ballotschen Windregel oder an die Thermodynamik der Niederschläge oder die Erklärung von Ebbe und Flut und dergl. — so ist es klar, daß ein gewisses Maß solcher Theorien auch auf der Schule seine Stelle haben muß. Denn das Verständnis der uns umgebenden Erscheinungen ist zweifelsohne ein

wesentliches Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts überhaupt. Dennoch muß vor einem Zuviel gerade nach dieser Richtung immer wieder gewarnt werden. Alles Wissenswerte können wir doch nicht bringen; was wir bringen, muß notwendig stets nur eine kleine Auswahl bleiben. Darum kommt es wirklich nicht darauf an, ob das eine oder das andere noch mit aufgenommen wird oder nicht. Ganz besonders gilt dies von einer Abart dieser Theorien, denjenigen nämlich, welche weniger zur Erklärung bereits bekannter Erscheinungen, als vielmehr eigens zu wissenschaftlichen Zwecken entwickelt werden, wie beispielsweise von der Theorie des physischen Pendels oder der Gaußschen Methode zur Messung magnetischer Momente usw. In diese Kategorie sollte m. E. die Schule grundsätzlich höchstens an einer oder zwei Stellen einmal hineinleuchten, um den Schülern einmal einen Begriff von wissenschaftlicher Meßtechnik zu geben. Solche Dinge sind im übrigen Angelegenheiten des Fachmannes, aber nicht Sache des Schulunterrichts. Aber auch jene theoretischen Entwicklungen, die zum Verständnis von Beobachtungsstatsachen angestellt werden — in der Optik z. B. die Theorie des Regenbogens, der Farben dünner Blättchen u. a. m. sind im Notfall entbehrlich, sofern sie weder lebenswichtige Fragen betreffen, noch zugleich eine prinzipielle Bedeutung für den Aufbau des Systems besitzen, noch (wie etwa die Theorie der Beugungsgitter) zum Verständnis der in der Schule selber gebrauchten Apparate unentbehrlich sind. Im einzelnen Falle kann natürlich eine theoretische Entwicklung mehreren dieser Zwecke zugleich dienen, wie eben das Beispiel der Beugungsgitter zeigt, deren Theorie ja nicht nur den eben genannten Zweck erfüllt, sondern zugleich so bekannte Erscheinungen wie die bei halbem Zudrücken der Augen im Sonnenlichte entstehenden farbigen Streifen usw. erklärt und außerdem eine der schlagendsten Bestätigungen der Wellenlehre des Lichts überhaupt liefert. Wenn man einmal sich die Mühe gibt, darüber nachzudenken, was unter diesem Gesichtspunkte noch alles aus dem üblichen Pensum gestrichen werden könnte, so wird man erstaunt sein, wie wenig schlechthin Unentbehrliches schließlich übrig bleibt.

Dazu rechne ich nun aber alle diejenigen theoretischen Entwicklungen, die dem Aufbau des Systems der Physik dienen. Daß an diesen so oft gespart wird, was dafür jenen unnötigerweise zugesetzt wird, das ist m. E. ein Grundfehler unseres gegenwärtigen Unterrichtsbetriebs. Wir müssen uns klar machen, daß, wer einen Berg besteigen und von seinem Gipfel aus die umfassende Aussicht über das ganze Gelände genießen will, bei beschränkter Zeit davon absehen muß, auf jeden kleinen Aussichtspunkt besonders hinaufzusteigen, von dem aus man diesen oder jenen kleineren Teil des fraglichen Landes vor sich liegen sieht. Gewiß lernt man nur so das Land wirklich ganz kennen. Wenn nun aber einmal die Zeit nicht für alles langt, dann bleibt doch wohl nichts anderes übrig, als alle Kraft und alle Gedanken auf das eine Ziel, die Spitze, zu konzentrieren. Mögen dann nachher manche Einzelheiten im Nebel verschwunden sein. Wer einmal das beglückende Gefühl kennen gelernt hat, wirklich ganz oben gestanden zu haben, der tauscht das, was er da sah, nicht gegen noch so viele kleine Ausschnitte ein. Und darauf haben auch unsere Schüler ein Anrecht.

Sieht man den Unterricht in der Optik unter diesen Gesichtspunkten an, so wird man unschwer zu dem Ergebnis kommen, daß unsere Lehrbücher wie unser Unterricht gerade auf diesem Gebiete größtenteils auf völlig falscher Fährte sind. Es ist nicht zu viel behauptet, wenn ich sage, daß mehr als ein Drittel der Zeit und des Platzes in vielen Lehrbüchern von bloßen Anwendungen des Reflexions- und Brechungsgesetzes eingenommen wird, ja in manchem Unterricht werden diese noch heute mehr als die Hälfte der Zeit beschlagnahmen. Dagegen ist das Kapitel Theorie des Lichtes ganz außerordentlich dürftig weggekommen (einige Bücher, wie z. B. das von POSKE, ausgenommen). Ich gebrauche für den Hohl- und Konvexspiegel eine, höchstens zwei Stunden, für die Linsen eine, für Fernrohre und Mikroskope auch eine, Lichtstärke und Beleuchtungsstärke müssen sich zusamt dem (in den

Büchern leider nicht stehenden) Absorptionsgesetz (Exponentialfunktion!) ebenfalls mit einer Stunde begnügen. Dagegen gönne ich mir ausführlich Zeit für das Brechungsgesetz als solches wie für die Grunderscheinungen der Dispersion, während wieder die praktischen Anwendungen der letzteren in achromatischen Prismen und Linsen, in der Theorie des Regenbogens u. a. sich mit einer flüchtigen Erwähnung begnügen müssen. Auf diese Weise gewinne ich Zeit, um so grundlegende Dinge wie den Fresnelschen Spiegelversuch, die Methoden zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit, die Theorie der Beugung am Spalt oder Gitter, die Zusammensetzung polarisierter Wellen usf. ausführlich zu erörtern, während ich mir auch auf diesem Gebiete die nähere Ausführung einzelner Erscheinungen, wie z. B. der Newtonschen Ringe oder dergl. schenke, diese vielmehr nur experimentell vorführe. Ausführlich Zeit nimmt dann wieder die Spektralanalyse, die Fortsetzung des Spektrums nach beiden Seiten und dergl. in Anspruch, womit der späteren allgemeinen Strahlungslehre vorgearbeitet wird. Daß diese selbst, ebenso wie die Erklärung der Spektralerscheinungen erst nach der Elektrik (in OI) drankommen kann, versteht sich von selber. Die richtige Stoffverteilung auf der Oberstufe ist bekanntlich bis heute eine unentschiedene Streitfrage. Ich persönlich bin der Ansicht, daß die auf der realgymnasialen Studienanstalt vorgeschriebene die beste ist, vorausgesetzt, daß der unerträgliche Fehler beseitigt wird, daß die Schülerinnen im zweiten halben Jahre der UII nicht Galvanismus (propädeutisch), sondern Wärmelehre treiben sollen, wozu sie auf dieser Stufe gar nicht reif sind, während eine vorläufige Kenntnis der wichtigsten Erscheinungen des elektrischen Stromes nachher auf Schritt und Tritt fehlt. Auf alle Fälle aber wird man gezwungen sein, die Optik in die angegebenen beiden Stufen zu teilen. Sie ergeben sich naturgemäß daraus, daß man zunächst innerhalb des rein optischen Gebietes bleibt, dann aber den Zusammenhang dieses Sondergebietes mit dem übrigen, d. h. die Einreihung der Optik in die Elektrik, zu vollziehen hat. Da dies letztere zugleich den Aufstieg zu den höchsten bisher erreichten Höhen physikalischer Erkenntnis bedeutet, so gehört es naturgemäß an das Ende des gesamten Schulunterrichts, also in die Prima. Wo es nicht wegen zusammengelegter Primen unbedingt anders gemacht werden muß, lege man diese Dinge in die Oberprima, indem man die Unterprima dem anderen Hauptgebiete, der Mechanik, widmet.

Über das Zelenysche Oszillationselektroskop und seine Anwendung im physikalischen Unterricht.

Von Dr. Victor F. Hess, Universitätsprofessor in Graz.

Professor JOHN ZELENY, derzeit an der Yale-Universität in New Haven (Conn., U.S.A.) hat im Jahre 1911 ein Elektroskop konstruiert¹⁾, das sich ganz besonders zur Demonstration der verschiedenen ionisierenden Agenzien und der Eigenschaften der verschiedenen Ionisatoren eignet und auf einem eigenartigen Prinzip beruht. Gelegentlich eines Vortrages, den ich im April 1923 vor dem physikalischen Klub der Yale-Universität hielt, lernte ich dieses Instrument kennen und habe mit einer im physikalischen Institut der Universität Graz angefertigten Kopie desselben so gute Erfahrungen bei Vorlesungen und bei populären Vorträgen gemacht, daß ich glaube, eine Beschreibung des Apparates und einiger teils von ZELENY, teils von mir erdachter Experimente hier veröffentlichen zu sollen, insbesondere da das Instrument in Europa fast unbekannt geblieben ist und da es sich auch für den Gebrauch im Physikunterricht der Oberstufe unserer Mittelschulen eignet.

Während bei einem gewöhnlichen Elektroskop die Ionisation durch die Entladungsgeschwindigkeit der Blättchen gemessen wird, ist das ZELENYSCHE Elektroskop

¹⁾ J. Zeleny, Phys. Rev. (2) 32. 581—584. 1911.

so konstruiert, daß es, nachdem es einen kleinen Teil seiner Anfangsladung verloren hat, sich automatisch immer wieder zur anfänglichen Spannung auflädt. Je stärker die Ionisation, in um so kürzeren Intervallen tritt Entladung und Wiederladung ein: das Blättchen oszilliert und die Zahl der Oszillationen pro Minute gibt ein Maß für die Stärke der Ionisation.

Ein besonderer Vorteil des ZELENYSCHE Instrumentes bei Vorlesungen u. a. besteht darin, daß es ganz automatisch, sich selbst überlassen, durch die Zuckungen des Blättchens die jeweilige Ionisation registriert. Der Experimentator kann also alle Experimente durchführen, ohne sich um das sonst so lästige Wiederaufladen des Elektroskops kümmern zu müssen. Andererseits ist jede Änderung in der Zahl der Zuckungen pro Minute für den Zuschauer sehr merklich und eindrucksvoll, während die Beurteilung einer Änderung der Wanderungsgeschwindigkeit der Blättchen für nicht geübte Zuschauer schwierig ist.

Die nebenstehende Figur 1 gibt eine schematische Ansicht des Instruments. In einem gewöhnlichen Elektroskopgehäuse (6 cm Durchmesser) ist an einer Bernsteinisolation der Blättchenträger *A* in der üblichen Weise befestigt. Ein etwa 6 cm langes Aluminiumblättchen ist, nach oben etwas verjüngt, in einen 2 mm breiten Endstreifen auslaufend zugeschnitten und wird dann durch zartes Umbiegen an der verengten Stelle so verdreht, daß sein oberer, schmaler Rand um 90° gegen die untere Fläche des Blättchens *B* absteht. In dieser Stellung wird das Blättchen mittels einer Spur von Gummi arabicum oder noch besser von Hahnfett oder Vaseline an der Einkerbung von *A* befestigt (s. Figur). In dem Gehäuse befindet sich, gerade gegenüber dem Blättchen und mit seiner Fläche senkrecht zur Ebene des Blättchens eine sorgfältig polierte rechteckige Platte *C*, welche aus einer Lichtbogenkohle durch Abschleifen hergestellt wird. *C* ist an einem Metallstab *D* befestigt, der mittels eines Ebonitgriffes beliebig aus- und eingeschoben werden kann (zur Einstellung größerer oder kleinerer Empfindlichkeit). Das Gehäuse samt dem Ständer des Elektroskops und der zwischen dem Bernstein und Ebonit *H* befindliche Schutzring werden bei *E* dauernd mit der Erde verbunden.

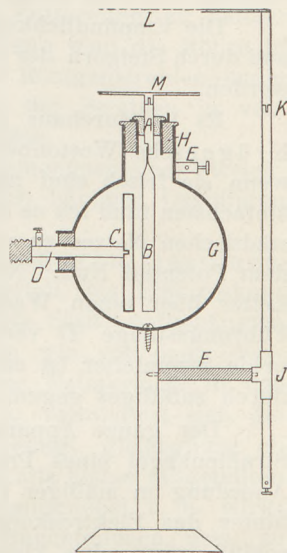


Fig. 1.

Ein vertikaler, in der Hülse *J* verschiebbarer Messingstab ist durch den Ebonitstift *F* vom Gehäuse isoliert und kann nach Bedarf mit einer Batterie verbunden oder geerdet werden.

Die auf den Blättchenträger *A* aufgeschraubte Kreisplatte *M* mit dem gegenübergestellten kreisförmigen Netz *L* bildet den Plattenkondensator, dessen Luftraum nun durch verschiedene Quellen ionisiert werden kann.

Der Apparat funktioniert in folgender Weise: Die Kohlenplatte wird dem vertikal herabhängenden Aluminiumblättchen bis auf etwa 3–5 mm genähert und dann der Stab *D* mittels der Klemmschraube mit einer Spannungsquelle von etwa 40–150 Volt verbunden, deren zweiter Pol geerdet ist. Sobald die Kohlenplatte geladen ist, wird das Blättchen infolge Influenzwirkung zu ihr hingezogen, berührt sie und ist so zum gleichen Potential aufgeladen. Dann ist der Apparat gebrauchsfertig.

Wird irgend ein Ionisator, z. B. das glimmende Ende eines ausgeblasenen Streichholzes der Platte *M* genähert oder in den Raum zwischen *M* und *L* eingebracht, so verliert das Blättchen, das mit *M* ja direkt zusammenhängt, rasch seine Ladung. Sobald seine Spannung um einen gewissen Betrag, z. B. 10 Volt gesunken ist, überwiegt schon wieder die Influenzwirkung der gegenüberstehenden Kohlenplatte, das

Blättchen nähert sich, berührt und läßt sich wieder, z. B. auf 100 Volt, worauf das Spiel von neuem beginnt.

Die Oszillationsdauer des Blättchens ist ein Maß für den Ionenstrom, der auf M zufließt. Die Schwingungen gehen bei minimaler Luftreibung vor sich, da sie in der Ebene des Blättchens erfolgen.

Die einzige Schwierigkeit, von der ZELENY berichtet, kam von der Tendenz des Blättchens, bei seiner Berührung an der Gegenplatte zu adhären. Dies tritt aber nicht oder nur sehr selten ein, wenn, wie angegeben, die Platte aus einer Lichtbogenkohle¹⁾ hergestellt und ihre Fläche sehr glatt poliert wird. Ein Steckenbleiben des Blättchens gefährdet übrigens jetzt das Instrument in keiner Weise. Leichtes Klopfen mit dem Finger bringt das Blättchen sofort wieder los.

Die Empfindlichkeit des Instrumentes kann durch Annähern der Platte C an B und durch Steigern der Spannung sehr erheblich (etwa im Verhältnis von 1:20) erhöht werden.

Es ist durchaus nicht nötig, zur Aufladung eine Akkumulatorenbatterie oder Krügersche Westonbatterie zur Verfügung zu haben. Zambonische Säulen werden, wenn sie frisch sind und wohl isoliert gehalten werden, ebenfalls ausreichen. Am einfachsten fand ich es aber, zur Aufladung die Licht-(Gleichstrom-)Leitung des hiesigen städtischen Netzes zu verwenden. Der Mittelleiter des Dreileiters ist (annähernd) auf dem Potential Null. Nach Bedarf wurde dann der positive oder negative 150 Volt-Leiter über einen Wasserwiderstand mittels eines dünnen Drahtes direkt mit der Führungsstange D verbunden. Die Vorschaltung H eines Wasserwiderstandes für beide Stromleiter ist empfehlenswert, um beim Wechseln der Drähte jeden Kurzschluß durch zufälliges gegenseitiges Berühren unmöglich zu machen.

Der ganze Apparat wird auf einem passenden Stativ so in den divergenten Strahlenkegel eines Projektionsapparates gestellt, daß das Schattenbild der ganzen Anordnung in mäßiger Vergrößerung dem ganzen Auditorium sichtbar ist. Dann wird hinter das Elektroskopgehäuse (das vorne und rückwärts eine Glasplatte als Verschuß trägt) eine kleine Linse von etwa 30 cm Brennweite so gestellt, daß das Blättchen und die Gegenplatte scharf (natürlich in umgekehrter Lage) auf dem Schirm zur Abbildung gelangen, und zwar in solcher Größe, daß dieses Bild innerhalb des direkten Schattenrisses des Elektroskops zu liegen kommt.

Diese Anordnung ist besonders empfehlenswert, da die Zuschauer auf dem Schirm gleichzeitig die Zuckungen des Blättchens und im direkten Schattenbild die Hantierungen des Experimentators, die Lage der Ionisationsquelle usw. beobachten können. Jeder mittelstarke Projektionsapparat gibt genügend helle Bilder, um die ganzen Vorführungen ohne Abdunklung des Hörsaals zu ermöglichen. Mit dem Elektroskop können folgende Demonstrationen ausgeführt werden (ein großer Teil von ihnen ist schon von ZELENY erwähnt):

1. Ionisation durch Becquerel-Strahlen: ein flaches Metallschälchen, mit einem dünnen gut haftenden Belag von Uranerzrückständen, wird auf M aufgelegt: sofort tritt lebhaftere Oszillation des Blättchens auf (Wirkung der α -Strahlen). Überdecken der Schicht mit einem Blatt Papier schneidet die Wirkung fast vollständig ab. Bei schichtweisem Auflegen von dünner Aluminium- oder Goldfolie oder Seidenpapier kann die Absorption der α -Strahlen studiert werden. Als Maß der Ionisationsstärke wird die Zahl der Oszillationen pro Minute genommen²⁾.

Die Wirkung der β - und der γ -Strahlen kann mit kleinen zugeschmolzenen Radiumpräparaten ($1/2$ mg genügt) demonstriert werden, ebenso deren Abschirmung

¹⁾ Nach einer freundlichen brieflichen Mitteilung Prof. Zelenys. In seiner Veröffentlichung gibt er an, daß eine mit Tusche überstrichene Metallplatte sich ebenfalls bewährt.

²⁾ Dabei ist aufmerksam zu machen, daß auch bei Spannungen von 100—200 Volt noch nicht vollständig Sättigungsstrom erreicht wird.

durch Umhüllen des Röhrechs mit Metallröhren. Zweckmäßig wird dabei das Präparat seitlich von LM in etwa 5 cm Entfernung auf einem Stativ befestigt.

Sehr eindrucksvoll ist der folgende „Ionenwolken“-Versuch: Man hält das α -Strahlen liefernde Schälchen (offenes Uranerzpräparat) seitlich in einiger Entfernung: das Elektroskop zeigt keine Ionisation an, da die Entfernung größer ist als die Reichweite der α -Strahlen. Richtet man aber die Mündung eines Blasrohres (kurzes Glasröhchen) über dem Präparat gegen das Elektroskop, so tritt sofort lebhaftes Zucken ein, wenn man die stark ionisierte Luft in den Raum ML hineinbläst. Der vertikale Träger JK und das Netz L bleiben bei allen diesen Versuchen geerdet.

2. Ionisation durch Röntgenstrahlen ist ebenso leicht zu zeigen, wenn man eine Röntgenröhre im gleichen Zimmer in Betrieb setzt. Dabei ist es zweckmäßig, den Röntgenapparat und die Röhre in einigen Metern Entfernung zu halten, um elektrostatische Wirkungen möglichst klein zu machen. Wenn man die Röhre in einen mit Lochblende verschlossenen Kasten einbaut und das Röntgenstrahlenbündel gegen das Elektroskop richtet, läßt sich auch die Absorption der Strahlen in vorgesetzten Schirmen (Aluminiumblechen u. dgl.) sehr schön zeigen.

3. Ionisation von Flammen. Das Hinblasen der Flammgase einer Streichholzflamme gegen das Elektroskop genügt, um außerordentlich häufiges Oszillieren des Blättchens zu bewirken.

4. Adsorption (Verminderung der Beweglichkeit) von Gasionen. Auf M wird das Uranerzschälchen aufgesetzt und der Oberteil des Elektroskops (samt K , L und M) mit einem in umgekehrter Lage an einem Stativ aufgehängten Becherglase überdeckt. Das Blättchen zeigt gleiche Oszillation wie vor dem Überdecken. Wird nun mittels eines umgebogenen Glasröhrechs Tabakrauch in das Becherglas eingeblasen (in der Projektion deutlich sichtbar), so vermindert sich die Zahl der Oszillationen ganz außerordentlich. Der Versuch gelingt, gleichgültig ob das Elektroskop positiv oder negativ geladen ist, wie überhaupt alle bisher mitgeteilten Versuche vom Vorzeichen der Ladung unabhängig sind. Salmiaknebel u. a. wirkt ähnlich. Die stärkere Adsorption von negativen Ionen an Rauchteilchen usw. zu zeigen gelingt schon aus dem Grunde nicht, da man den Rauch bei zwei aufeinanderfolgenden Versuchen nie gleich dicht herstellen kann. An diesen Versuch knüpft sich zweckmäßig eine allgemeine Erörterung der Stromleitung in Gasen.

5. Ionisation durch glühende Körper. Wie schon eingangs erwähnt, bringt schon die Annäherung des glimmenden Endes eines ausgeblasenen Streichholzes starke Oszillation des Blättchens hervor. Noch stärker wirkt eine brennende Zigarre u. dgl. Man zeigt, daß die Wirkung bei positiver und negativer Ladung ungefähr gleich stark ist.

Die Ionenemission glühender Metalle wird durch einen kleinen Zusatzapparat gezeigt. Das Netz L wird durch Abschrauben des oberen Stabendes bei K entfernt und anstatt dessen ein in Figur 2 abgebildeter Aufsatz mit einem kurzen Stück dünnen Nichromdrahtes (oder Eisendrahtes) aufgeschraubt. Der Draht wird auf Rotglut durch ein paar Akkumulatoren erhitzt, deren einer Pol geerdet bleibt. Auf M wird eine kleine Kreisplatte aufgesetzt, deren Ebene senkrecht zur Ebene von M und parallel zur Ebene des Heizdrahtes gerichtet wird, so daß zwischen Heizdraht und Aufsatzplatte ein definiertes elektrisches Feld besteht.

Frische (d. h. mit Oxyd bedeckte) Heizdrähte liefern Ionen beider Vorzeichen. Nach wiederholtem längeren Glühen läßt sich aber zeigen, daß bei Rotglut überwiegend positive Ionen abgegeben werden (unipolare Leitung). Zweckmäßig wird bei diesen Versuchen eine Stromwippe eingeschaltet, die abwechselnd negative und positive Aufladung des Elektroskops ermöglicht. Die reine Elektronenemission würde sich erst bei Weißglut und im Vakuum zeigen.

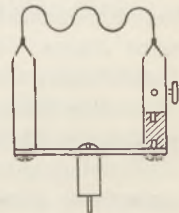


Fig. 2.

Ein zwischen Glühdraht und Aufsatzplatte des Elektroskops gehaltenes Netz schirmt die Wirkung fast vollständig ab. Die dann auftretenden, seltenen Oszillationen sind durch Ionen bewirkt, welche durch das Netz hindurch gewandert sind. Dies kann im Unterricht zur Besprechung der Ionendiffusion benützt werden.

6. Der lichtelektrische Effekt. Die Aufsatzplatte A ist so konstruiert, daß auf der einen Seite eine amalgamierte, wohl polierte Zinkplatte aufgesetzt werden kann. Der Heizdraht samt seinem Träger wird entfernt; man kann an seiner Stelle ein parallel zu A orientiertes Drahtnetz auf K aufstecken. Wird nun eine Quelle ultravioletter Strahlen, z. B. eine kleine Kohlenbogenlampe oder eine Quecksilberlampe in einiger Entfernung vom Elektroskop eingeschaltet, so entsteht bei negativer Ladung desselben ein sehr lebhaftes Zucken entsprechend der Elektronenauslösung durch den Hallwachseffekt, sobald der Lichtkegel auf die amalgamierte Zinkplatte auffällt. Dreht man die Messingseite der Aufsatzplatte dem Lichte zu, so bleibt der Effekt aus. Bei positiver Ladung können die Elektronen natürlich die Zinkplatte nicht verlassen.

Man kann auch zeigen, daß die photoelektrisch wirksamen Lichtstrahlen in einer dünnen Glasplatte absorbiert werden, indem man bei negativer Ladung und dem Licht zugewendeter Zinkfläche eine große Glasplatte vor die Lichtquelle hält.

Es lassen sich mit dem Elektroskop noch viele Versuche zeigen, deren Vorführung im allgemeinen physikalischen Unterricht zu weit führen würde. Hier sind nur die Experimente erwähnt, die sich ohne besondere Hilfsmittel leicht ausführen lassen und die allgemeines Interesse haben. Ein Teil derselben wird auch im Mittel­schulunterricht der Oberstufe seinen Platz finden.

Das Zelenysche Elektroskop mit allen Zusatzteilen und mit einem Uranrückstand-Präparat wird vom Mechaniker Friedrich Schippeck im Physikalischen Institut der Universität Graz, Universitätsplatz 5, angefertigt. Das Instrument ist transportfähig, wenn der Blättchenträger samt montiertem Blättchen in einer innen mit Tusche überstrichenen zylindrischen Büchse verpackt wird. Der Preis des kompletten Elektroskops ist auch für physikalische Kabinette mit sehr bescheidenen Mitteln erschwinglich.

Ein einfacher abstimmbarer Demonstrationsapparat für die Vorgänge bei der gedämpften Wellentelegraphie.

Von Prof. Schneider in Iglau (Mähren).

Wohl nicht mit Unrecht machen die Radioamateure der Schule den Vorwurf, daß sie der drahtlosen Telegraphie und Telephonie viel zu wenig Aufmerksamkeit schenkt und dem allgemeinen Bedürfnisse nach Einführung in die Vorgänge, die sich bei der drahtlosen Nachrichtenübertragung abspielen, zu wenig Rechnung trägt. Meist wird dieses Versäumnis mit Zeitmangel entschuldigt, zumal auch die Verfasser von Lehrbüchern dieses Kapitel mit einigen kurzen Bemerkungen abtun zu müssen glauben.

Der Hauptgrund dürfte aber darin liegen, daß es meines Erachtens nach an geeigneten Demonstrationsapparaten fehlt, welche in objektiver Weise alle bei der Radiotelegraphie und -telephonie sich abspielenden Erscheinungen leicht und sicher zu zeigen gestatten. Man ist gezwungen, die Erklärungen an der Hand von Lichtbildern, Zeichnungen oder Versuchen aus der Akustik zu geben, die zwar ein wichtiges Hilfsmittel sind, aber nie das direkte Experiment ersetzen können. Im folgenden will ich nun kurz die Herstellung eines Demonstrationsapparates beschreiben, der durch seine Einfachheit, Übersichtlichkeit und exakte Wirkungsweise zur Vorführung im Unterrichte, in den Schülerübungen, bei Vorlesungsversuchen und volkstümlichen Vor­trägen ganz hervorragend geeignet ist.

a) Galvanische oder direkte Koppelung.

Figur 1 zeigt den Aufbau des Senders bei galvanischer oder direkter Koppelung. I ist ein Induktor, L eine Leidener Flasche (etwa 1200 cm), F eine verstellbare Funkenstrecke (vom Tesla-Instrumentarium), W eine stetig veränderliche Selbstinduktion nach Art des Wheatstoneschen Walzenrheostaten, die man auf folgende Weise leicht herstellen kann: Auf einem Grundbrette B_1 (30×15 cm) sind zwei 9 cm hohe Holzsäulen H_1 und H_2 von trapezförmigem Profil angebracht, die als Lager für die Metallachse eines Zylinders aus hartem Holze dienen ($l=17$ cm, $\varnothing=12$ cm). Er ist mit blankem, 2—3 mm starkem Kupfer- oder Messingdraht schraubenförmig mit etwa 0,5 cm Ganghöhe bewickelt und besitzt etwa 20 Windungen. Das linke Drahtende ist mit der Zylinderachse fest verlötet, das rechte Ende isoliert in das Holz versenkt. Um den Draht auf der Walze zu befestigen, bohrt man mit einem Drillbohrer an einigen Stellen kleine Löcher durch den Draht, treibt Nägel hindurch, verlötet die Enden mit den Drähten und feilt die Stelle wieder glatt, damit das Rädchen R leicht darüber hinweggleiten kann. Die linke Zylinderachse bewegt sich in einer Metallhülse, die durch einen Messingstreifen mit der Klemme K_3 verbunden ist. Seitwärts (in der Figur der Deutlichkeit halber unterhalb gezeichnet), etwa in der Höhe der Zylinderachse, ist parallel zu dieser ein starker Messingdraht (5—7 mm \varnothing) geführt, der von zwei stärkeren, etwas federnden Messingblechen F_1 und F_2 getragen wird. Längs des Drahtes ist eine Messingrolle R (2,5 cm \varnothing , 0,5 cm dick), die am Umfange eine Nut besitzt, in welche die Drahtwindungen der Walze eingreifen, mittels einer Hülse beim Drehen des Zylinders längs desselben leicht verschiebbar aufgesetzt.

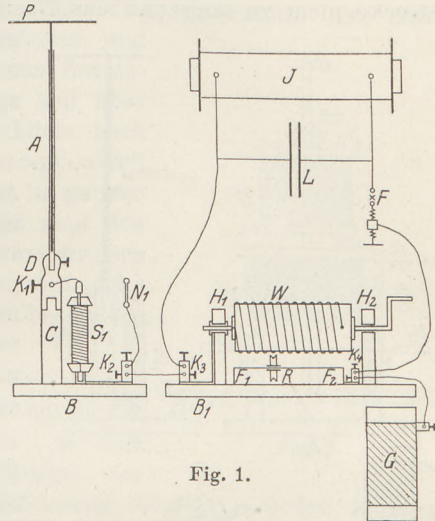


Fig. 1.

Als Antenne dient ein etwa 1 m langes Messingrohr A (0,5 cm innerer \varnothing), in welchem ein am unteren Ende gespaltener Messingdraht mit Reibung bewegt werden kann. Er trägt oben eine Zinkblechscheibe P (26 cm \varnothing) zur Vergrößerung der Kapazität. B ist eine Messingkappe, C ein Holz- oder Glasfuß (15 cm hoch), S_1 die Luftdrahtverlängerungspule, ein Preßspanzylinder (4 cm \varnothing , 13 cm lang), dicht mit isoliertem Kupferdrahte umwickelt (0,3 mm \varnothing , etwa 290 Windungen), dessen Enden zu zwei Steckern führen, die in Holzstöpseln sitzen. [Es ist auch vorteilhaft die Selbstinduktion (S.I.) veränderlich zu machen, indem man nach 9 cm, 11 cm und 13 cm den Draht knickt, ein Stück verdreht und durch das Innere der Spule zu Steckbüchsen führt.]

Als Indikator dient das kleine Neonröhrchen N_1 (Bezugsquelle Robert Goetze, Leipzig), das einpolig an K_2 angeschlossen wird und infolge seiner großen Leuchtkraft einer Glimmlampe oder anderen leicht ansprechenden Geißlerröhren vorzuziehen ist.

Das Gegengewicht G ist ein 42 cm hoher Pappzylinder (16 cm \varnothing), der rings bis auf einen 6 cm breiten oberen und unteren Rand mit Stanniol beklebt ist. (In der Figur schraffiert.)

Der geschlossene Schwingungskreis (Leidener Flasche L — gerade eingeschaltete Windungen der S.I. — Rädchen — Funkenstrecke) hat mit dem offenen Schwingungskreis (Antenne — Verlängerungsspule — Selbstinduktion — Gegengewicht) die Windungen der S.I. gemeinsam, oder wie man zu sagen pfl egt, sie sind direkt oder

galvanisch gekoppelt. Die Koppelung ist um so fester, je mehr Windungen der S.I. beide Schwingungskreise gemeinsam haben.

Hat man die Funkenstrecke auf etwa 3 mm eingestellt und die S.I. fast ausgeschaltet, so leuchtet das Neonröhrchen N_1 nicht. Dreht man nun langsam an der S.I., so wird bei einer bestimmten Stelle das Neonröhrchen zu leuchten anfangen, beim Weiterdrehen nimmt die Helligkeit zu, erreicht ein Maximum — Resonanz — und nimmt hierauf wieder ab, bis es endlich erlischt. Ein vor das Gegengewicht eingeschaltetes empfindliches Hitzdrahtamperemeter zeigt bei Resonanz ein gewaltiges Anwachsen der Stromstärke. Es läßt sich leicht die Resonanzkurve aufnehmen (Stromstärke als Funktion der Viertelumdrehungen der Walze). Ist die Koppelung sehr lose, d. h. sind nur wenig Windungen beiden Schwingungskreisen gemeinsam, die Funkenstrecke nicht zu lang und das Neonröhrchen in der Nähe des Spannungsknotens ein-

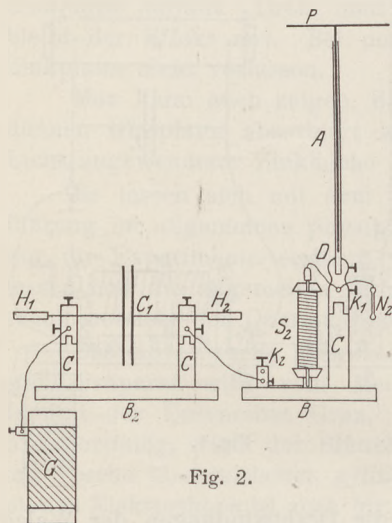


Fig. 2.

Der Empfänger (Figur 2) wird in etwa 2 m Entfernung aufgestellt und besitzt eine gleich gebaute Antenne und ein ebensolches Gegengewicht wie der Sender. Die Luftdrahtverlängerungsspule S_2 ist aber 15 cm lang (2 cm länger als die des Senders) und besitzt etwa 320 Windungen.

C_1 ist ein veränderlicher Plattenkondensator, der aus der Tesla-Funkenstrecke leicht hergestellt werden kann, indem man an Stelle der Kugeln zwei Zinkplatten (24 cm \varnothing) befestigt. Durch Verschieben der Platten erreicht man bald, daß das Neonröhrchen N_2 , welches man jetzt näher beim Spannungsbauche bei K_1 angeschlossen hat, größte Helligkeit zeigt. Die Resonanz ist scharf und eine geringe Verschiebung der Platten, eine Änderung der Antennenkapazität durch Ausziehen des Drahtes oder Vergrößerung der Kapazität durch Annäherung der Hand genügt, um das Röhrchen zum Erlöschen zu bringen.

Wenn man den Primärkreis des Induktors im Takte der Morsezeichen schließt und unterbricht, so leuchten bei richtiger Abstimmung beide Röhrchen auf, so daß man die Telegramme direkt aus dem Aufblitzen ablesen kann.

b) Induktive oder magnetische Koppelung.

Figur 3 zeigt einen kleinen Transformator mit veränderlicher S.I. und Koppelung für induktiven Empfang. Die Primärspule Sp_1 ist ein Preßspanzylinder (9 cm hoch, 15 cm \varnothing) der mit etwa 110 Windungen isolierten Kupferdrahtes (0,8 mm \varnothing) bewickelt ist. Nach je 10 Windungen wurde der Draht in der Mitte geknickt, ein wenig verdrillt, und mit den seitwärts auf einem Brettchen in 2 Reihen angebrachten Steckbüchsen verlötet (12 Büchsen aus Messingblech).

geschaltet, so ist die Resonanz sehr scharf. Es genügt bereits eine halbe Umdrehung, um das Röhrchen zu maximalem Leuchten und wieder eine halbe Umdrehung, um es zum Erlöschen zu bringen.

Vergrößert man die Antennenkapazität durch Ausziehen des Drahtes, so ist die Resonanz gestört und es muß die S.I. durch Drehen des Zylinders verkleinert werden.

Bei dieser Anordnung wird bei der Abstimmung auch die Koppelung geändert. Will man dies verhindern, so verwende man 4—5 feste Koppelungswindungen und stimme mit der veränderlichen S.I. einen der beiden Kreise auf den anderen ab.

Schaltet man an Stelle des Neonröhrchen N_1 den Zinkblechring des Schwingungsprüfers (*ds. Zeitschrift* 37, 103), so sieht man, daß man es mit stark gedämpften Schwingungen zu tun hat, welche für die Radiotelephonie unbrauchbar sind.

Die Sekundärspule Sp_2 (9 cm hoch, 11,5 cm \varnothing) besitzt 108 Windungen (0,5 mm \varnothing) und kann längs eines Stäbchens enger und loser mit Sp_1 gekoppelt werden. K_5 wird direkt mit K_1 der Antenne (ohne S_2), K_6 mit dem Plattenkondensator und Gegengewicht verbunden.

Als Detektor wird eine Glimmlampe (110 Volt Wechselstrom) mit einem Telephon hintereinander an die Stecker St_1 und St_2 angeschaltet. Die Lautstärke beim Empfang wird noch erhöht, indem man parallel zum Telephon einen Kondensator (etwa 0,002 MF aus Stanniol und paraffiniertem Papier hergestellt) schaltet.

Beim Sender wird als Luftdrahtverlängerungsspule S_2 statt S_1 verwendet und abgestimmt. Hierauf wird der Antennenkreis des Empfängers bei sehr loser Koppelung in Resonanz gebracht bis das Neonröhrchen N_2 hell leuchtet. Schiebt man nun Sp_2 in Sp_1 hinein, so leuchtet auch der Detektor und das Telephon ertönt. Bei einer bestimmten Koppelung ist die Tonstärke ein Maximum, und das Telephon schreit förmlich, wenn man noch eine Zusatzspannung in den Detektorkreis einschaltet. Diese soll aber so bemessen werden, daß sie die Glimmlampe allein noch nicht zum Leuchten bringt. Versieht man das Telephon mit einem Schalltrichter, so kann man die Morsezeichen im ganzen Saale hörbar machen. Bei enger Koppelung muß man den Antennenkreis infolge der Rückwirkung des Induktionsstromes im Telephonkreise nachstimmen. Da der Detektorkreis nahezu aperiodisch ist, so erhält man in diesem keine besondere Abstimmung.

Der große Vorteil der ganzen Anordnung besteht darin, daß die Resonanz und Abstimmung aller Kreise durch die Neonröhrchen sehr augenfällig dargestellt wird, ja daß sogar der Detektor aufleuchtet und die Vorgänge von allen Schülern gleichzeitig, auch aus großer Entfernung, verfolgt werden können.

Für induktive Gebeschaltung kann man einen ähnlich gebauten Transformator, wie ihn Figur 3 zeigt, anwenden, nur besteht die Primärspule Sp_1 bloß aus 15 Windungen eines starken (3 mm \varnothing) gut gummi-isolierten Kupferdrahtes. Nach jeder Windung ist eine Abzweigung zu einer Steckbüchse geführt, welche in zwei Reihen angeordnet sind. Der Antennenkreis besteht dann aus: Antenne (ohne S_1) — Sekundärspule Sp_2 — Gegengewicht, der geschlossene Schwingungskreis aus: Leidner Flasche L — einigen Windungen von Sp_1 — Funkenstrecke. Bei loser Koppelung werden die beiden Kreise aufeinander abgestimmt, indem man die S.I. der Spule Sp_1 durch Stöpseln ändert (4–6 Windungen einschalten).

Bei fester Koppelung tritt Zweiwelligkeit auf, die man sehr schön demonstrieren kann, wenn man die Empfängerschaltung Figur 2 benutzt. Bei zwei Stellungen des Kondensators C_1 leuchtet das Neonröhrchen N_2 auf, während es in der Zwischenstellung erlischt. Auch die verschiedene Intensität der beiden Wellen läßt sich erkennen.

Dieser Versuch gelingt sicher, erfordert aber einige Fertigkeit im Einstellen; denn ist die Koppelung des Senders zu eng, so liegen die beiden Wellen so weit auseinander, daß der Änderungsbereich des Kondensators C_1 nicht mehr hinreicht, in beiden Fällen Resonanz zu erzielen. Man wird daher zunächst sehr lose koppeln, die Resonanz im Empfänger ist scharf, dann allmählich fester, die Resonanzkurve wird breiter (d. h. der Kondensator C_1 muß immer mehr verkleinert werden bis das Röhrchen erlischt), bis schließlich Zweiwelligkeit auftritt. Eventuell regle man noch die Funkenstrecke (2–3 mm, knallende, aber nicht zischende Funken) und die Entfernung des Senders vom Empfänger, oder vergrößere die Antennenkapazität durch Ausziehen des Drahtes.

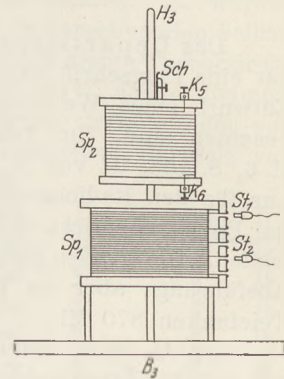


Fig. 3.

Ersetzt man jetzt bei unveränderter Koppelung die Knallfunkenstrecke durch eine Löschfunkenstrecke, so verschwindet sofort die Zweiwelligkeit, auch wenn man noch stärker koppelt. Am Schwingungsprüfer erkennt man die bedeutende Vermehrung der Funkenzahl.

Erwähnen möchte ich nur noch, daß man statt der Platten *P* in Figur 1 und 2 auch Zimmerantennen, bestehend aus zwei parallelen Drähten (*T*-Antennen, je 4 bis 8 m lang) anschalten und zur Abstimmung bringen kann. Um größere Reichweiten zu erzielen, ersetzt man die Glimmlampe durch einen Kontaktdetektor oder eine Verstärkerlampe.

Die Herstellung eines Wellenmessers.

Von P. Nickel in Berlin.

Das Department of Commerce des Bureau of Standards in Washington hat eine Flugschrift veröffentlicht mit Angaben über die wichtigsten Punkte, die beim Entwurf eines Wellenmessers für einen Bereich von 100—570 m Wellenlänge zu beachten sind. Im Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie und Telephonie, Bd. 21, H. 6, S. 403, ist von H. EALES ein Auszug aus diesem Rundschreiben gegeben. Nicht nur für den Radioamateur ist der Wellenmesser das wichtigste Meßinstrument, auch im Physikunterricht auf der Oberstufe wird man ihn nicht mehr gern entbehren wollen. Die großen Firmen für drahtlose Telegraphie liefern Apparate in vorzüglicher Ausführung; aber ein Wellenmesser KW 61, Wellenbereich 150—7000 m, kostet bei Telefunken 870 Mk.

Dr. G. SEIBT liefert einen Wellenmesser mit einem Bereich von 150—24000 m für 390 Mk. Die meisten Anstalten dürften nicht in der Lage sein, eine solche Ausgabe zu machen, sondern werden sich auf die Herstellung eines einfachen Instrumentes angewiesen sehen. Im folgenden soll ein selbstgebauter Wellenmesser mit 150—2400 m Wellenbereich kurz beschrieben werden.

Als Vorlage für den Schulwellenmesser diente ein wegen seiner Handlichkeit und Übersichtlichkeit ausgezeichneter Apparat Type KW 36 von Telefunken, 75—350 m Bereich, der schon lange im Demonstrationsunterricht, nach Entfernung des Bodens, gute Dienste geleistet hatte. Die Anwendung dieses Instrumentes durch Hinzufügung neuer Spulen zu erweitern, wurde verschmäht, weil es dadurch gelitten hätte; bequem ließ sich der Meßbereich bis auf 470 m bringen durch Ankleben eines Blockkondensators, der parallel zum Drehkondensator des Instrumentes liegt.

Der Resonanzwellenmesser stellt ja einen variablen Schwingungskreis dar, der gewöhnlich, wie auch bei den angeführten Instrumenten, aus einer stetig veränderlichen Kapazität und einer sprungweise veränderlichen Selbstinduktion besteht; er muß mit den nötigen Anschlüssen versehen sein, um ihn mit einem Resonanzanzeiger wie Glimmlampe, Glühlampe, Hitzdrahtstrommesser, Thermoelement, Bolometer oder auch Kristalldetektor verbinden zu können. Die stetig veränderliche Kapazität ist am besten durch einen Luftdrehkondensator von ca. 1000 cm Kapazität gegeben, wie er jetzt billig im Handel zu haben ist. Beim Einkauf achte man sehr darauf, daß die Platten des festen und drehbaren Systems nicht zu dünn sind, und daß die Drehungsachse gut gelagert ist. Ebenso kauft man einen gut passenden Stellgriff, der auf der Achse des Drehkondensators durch eine Schraube sicher festzuklemmen ist. Dieser Griff kann eine Teilung 0—180° selbst tragen, oder er spielt mit einem Index auf einer (auch käuflichen) Teilung aus zelluloidähnlicher Masse. Nun sind die Drehkondensatoren so eingerichtet, daß sie sich mit 3 oder 4 Halteschrauben an einem Brett oder einem Stück Hartgummi befestigen lassen. Zu diesem Zweck drückt man die vorgesehenen Bohrungen auf Papier ab, überträgt sie auf die Platte und bohrt an diesen Stellen und für die Achse Löcher, am besten mit einem Spiralbohrer.

In unserem Falle diente als Tragplatte für den Drehkondensator und für die Spulen ein Brett $14,5 \times 24$ cm aus gut trockenem Eichenholz von 11 mm Stärke, das auf der Oberseite schwarz gebeizt und lackiert wurde. Dieses Brett konnte mit 4 Schrauben auf einem Kasten $14 \times 23,5 \times 11$ cm ohne Boden aus 10 mm starken Kieferholzbrettern, die außen ebenfalls schwarz gebeizt waren, befestigt werden. Der Kasten schützt Drehkondensator und Spulen, gleichzeitig bleibt wegen des fehlenden Bodens der Apparat leicht zugänglich.

Wegen der viel zu schwierigen Herstellung einer Schaltwalze, die bei den käuflichen Apparaten gestattet, bequem verschiedene fest im Kasten des Wellenmessers montierte Spulen mit dem Drehkondensator zu verbinden, wurde von vornherein eine Anordnung gewählt, bei der sich mehrere mit Steckern versehene Spulen leicht gegeneinander austauschen lassen. Natürlich wird man da zunächst an die käuflichen Honigwabenspulen mit 25, 35, 50, 75, 100 usw. Windungen denken. Es wurden aber einlagige Zylinderspulen wegen des in diesem Falle gut zu berechnenden Selbstinduktionskoeffizienten vorgezogen. Für die Herstellung der Spulen diente Turbonitrohr 80×86 mm, welches in Stücken von ca. 1 m Länge von Jaroslaw, Erste Glimmerwarenfabrik, Weißensee, Streustraße, zu erhalten ist. Es wurden drei Zylinder von 10 cm Länge abgetrennt, an einem Ende runde Teller aus trockenem Hartholz von 16 mm Stärke eingesetzt und mit drei Messingschraubchen festgelegt. In der Mitte der Holzscheiben in 2 cm gegenseitigem Abstand wurden Stecker eingezogen, die man entweder selbst aus 4 mm starkem Messingdraht anfertigen oder auch im Handel als Steckerteile für Platteisen erhalten kann. Bei der Herstellung hat der Verfasser es bequem gefunden, den einen Draht mit einem langen von C bis D reichenden Gewinde zu versehen (Fig. 1), damit sich das Ende der Windungen bei D leicht festschrauben läßt. Muttern und Unterlagscheiben erhält man in Spezialgeschäften für Schrauben (z. B. Lehmann, Berlin, An der Spandauer Brücke 9). Der aufzuspulende Draht wurde durch eine schräge Bohrung bei L gesteckt, unter die Mutter bei A gelegt und die Muttern bei B festgezogen. Dann wurden die Windungen unter gegenseitiger Berührung möglichst fest auf den Pappzylinder gewickelt, das Ende durch drei Löcher bei L' gezogen und bei D festgelegt. Von den drei hergestellten Spulen enthält die erste 29 Windungen Kupferdraht 1,6 mm Durchmesser (Wickellänge 6,1 cm), die zweite 72 Windungen, 0,8 mm Stärke (Wickellänge 8,7 cm), die dritte 145 Windungen von 0,35 mm starkem Kupferdraht (Länge 8,8 cm), der doppelt mit Baumwolle umspinnen ist. Er ist bezogen von der Fabrik isolierter Drähte vorm. C. J. Vogel, Adlershof. Die fertigen Spulen wurden mit einem Firnisanstrich versehen.

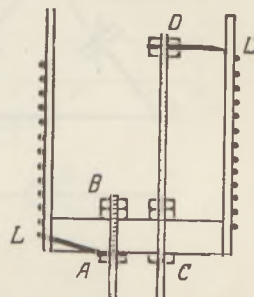


Fig. 1.

Zur Berechnung der Selbstinduktion von einlagigen Zylinderspulen dient die Formel von LORENZ $L = rN^2 Q$, wo r der Halbmesser der Windung, N die Windungszahl, l die Länge ist. Q ist eine mittels elliptischer Integrale berechenbare Funktion von $\frac{2r}{l}$, siehe KOHLRAUSCH, Lehrbuch der praktischen Physik, 14. Aufl., S. 637, wo die Werte von Q für $\frac{2r}{l}$ von 0,2—4,0 angegeben sind.

Für die Spule mit 29 Windungen und 6 cm Länge ist $L_1 = 4,4 \cdot 29^2 \cdot 17,4 = 64\,400$ cm

Für die Spule mit 72 Windungen und 8,7 cm Länge ist $L_2 = 4,35 \cdot 72^2 \cdot 13,64 = 308\,000$ cm

Für die Spule mit 145 Windungen und 8,3 cm Länge ist $L_3 = 4,33 \cdot 145^2 \cdot 13,94 = 1,27 \cdot 10^6$ cm

Für Honigwabenspulen kann man nach KORNDÖRFER die Selbstinduktion finden aus $L = 10,5 N^2 \cdot D$, wo N die Anzahl der Windungen und D ihr Durchmesser ist, und

das Verhältnis des Umfanges des Wicklungsraumes zum Durchmesser 1 beträgt. Siehe KOHLRAUSCH und auch REIN-WIRTZ, Radiotelegraphisches Praktikum, 3. Aufl., S. 127.

Für die Wabenspulen mit kleiner Windungszahl trifft dieses Verhältnis zu. Für drei gekaufte Spulen mit 50, 75 und 150 Windungen ergab die Formel: 139 000; 313 000 und 1 250 000, während eine Messung: 150 000; 320 000 und 1 400 000 cm lieferte.

Die Spulen lassen sich in zwei Steckbuchsen einstecken, die in die Deckelplatte des Apparates eingesetzt sind, und die einerseits mit dem Drehkondensator, andererseits mit zwei großen Anschlußklemmen auf der Oberseite des Deckels verbunden sind. Für Schulzwecke reicht diese einfache Einrichtung meist wohl aus, für Messungen mit dem Hitzdrahtstrommesser müßte man einige Windungen der Spulen zu einem dritten Stecker führen und drei Buchsen und drei Klemmen anbringen.

Soll nun für die verschiedenen Stellungen des Drehkondensators in Verbindung mit einer der Spulen eine Wellenlängenangabe möglich sein, so ist der Kondensator zu eichen. Zu diesem Zweck ist ein zweiter fester Vergleichskondensator erforderlich, dessen Kapazität bekannt ist. Solche Kondensatoren für Meßzwecke sind zu beziehen

z. B. von Siemens & Halske und von Hartmann & Braun. Beide Kondensatoren werden in eine Brücke geschaltet (Fig. 2), die einen Meßdraht

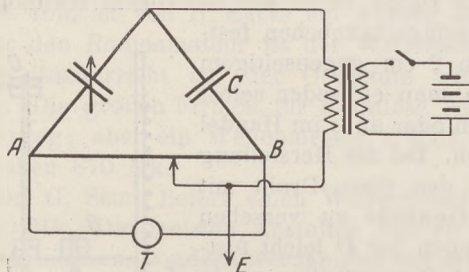


Fig. 2.

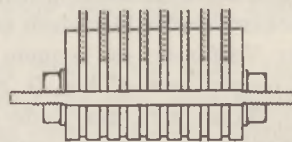


Fig. 3

(*AB*) aus 0,1 mm starkem Konstantan von 1 m Länge enthalten möge. Betrieben wird die Brücke mit Hilfe eines Summers, der in der Primärspule eines kleinen Telephontransformators den Strom ca. 500 mal pro Sekunde unterbricht; die Sekundärspule ist an die Brücke geschaltet.

In unserem Falle war die Maximalkapazität des Drehkondensators (gekapselter Kondensator von Telefunken) bekannt, sie beträgt 1160 cm. Man kann dann rückwärts *C* finden, und es genügt für *C* am besten ein Luftkondensator, den man sich selbst herstellen kann. Verfasser fertigte sich zwei Luftkondensatoren an, der eine war aus 8 Platten 11,5 × 14 cm von 0,8 mm starkem gut ebenen Zinkblech gebildet, die an den 4 Ecken durch Halter aus Turbonitplättchen nach Fig. 3 in 2,2 mm Abstand gehalten wurden. Die Platten waren abwechselnd durch angelötete Drähte miteinander verbunden. Noch einfacher ist ein hübscher Luftkondensator aus zwei Messingzylindern von 1 mm Wandstärke, die in unserem Falle 60 und 64 mm Durchmesser hatten, zu erhalten. Ineinander gestellt, erlauben die beiden Zylinder einen Luftabstand von 1 mm herzustellen, der an den beiden offenen Enden von je 4 Turbonitstreifen von 1 mm Stärke gehalten wird, die gleich als Isolationsfüße dienen können. Die Röhren sind 18,2 mm lang und bezogen von M. Cochius, Messinghof, Berlin, Alexandrinenstr. 35. Eine solche Anordnung ist auch bequem zur Bestimmung der Dielektrizitätskonstanten von Flüssigkeiten. Drei Röhren, von denen die mittelste verschiebbar und gegen die beiden anderen durch Mikanit isoliert ist, ergeben einen Abstimmkondensator. Zur Not kann der Zweirohr-Luftkondensator auch als Normale dienen. In unserem Beispiel ist nach der Formel $L = \frac{1}{2} \frac{l r}{a}$ die Kapazität 272 cm, während eine Messung 278 ergab.

In der untenstehenden Figur 4 und in der Tabelle sind die Meßwerte für den Kondensator wiedergegeben:

30°	60°	90°	120°	150°	180°
207	405	600	790	965	1160 cm

Die Figur zeigt, daß die Kapazität ziemlich genau dem Drehwinkel proportional ist.

Für die angegebenen Werte lassen sich nun bei den drei gegebenen Spulen die zugehörigen Wellenlängen bestimmen nach der KIRCHHOFF-THOMSONSchen Formel:

$$\lambda \text{ cm} = 2 \pi \sqrt{C \text{ cm} \cdot L \text{ cm}}.$$

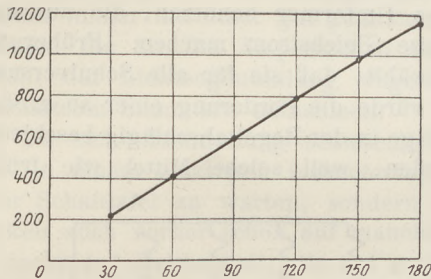


Fig. 4.

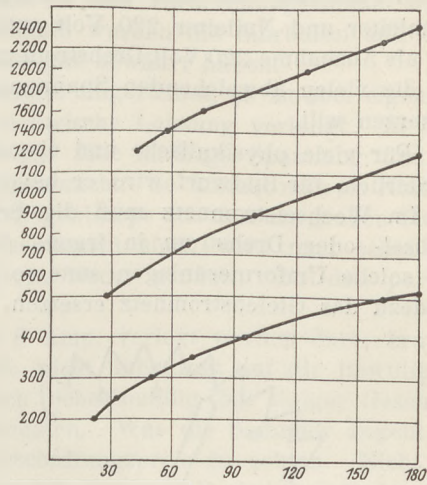


Fig. 5.

	30°	60°	90°	120°	150°	180°
I.	230	322	394	450	497	545
II.	503	704	860	983	1090	1190
III.	1020	1425	1735	1990	2200	2410

In die Figur 5 sind die Werte eingetragen, welche sich bei einer Eichung des Wellenmessers mit einem Wellenmesser KW61 von Telefunken ergaben. Es ist ersichtlich, daß die aus der Kurve abzulesenden Werte nicht erheblich von den berechneten abweichen.

Man kann also mit hinreichender Genauigkeit Kurvenblätter für einen Wellenmesser berechnen, wenn die Gelegenheit zur Eichung fehlt.

Die elektrische Anlage in der Schule.

Von Wilhelm Volkmann in Berlin-Steglitz.

(Mitteilung der Staatlichen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht, Berlin.)

Elektrischer Strom wird in der Schule nicht nur zur Raumbeleuchtung, die hier nicht besprochen werden soll, sondern auch zum Bildwurf und zu physikalischen und chemischen Versuchen gebraucht.

Ältere Elektrizitätswerke geben Gleichstrom von 110 Volt ab, jetzt ist für Gleichstrom die üblichste Spannung 220 Volt. Neuere Werke, insbesondere solche, die große Gebiete zu versorgen haben, liefern Wechselstrom, der meist 100 mal in der Sekunde seine Richtung umkehrt, oder, wie man sagt, 50 Perioden hat. Die meisten dieser Werke erzeugen dreifach verketteten Wechselstrom, der kürzer Drehstrom genannt wird. Hierbei laufen auf drei Drähten drei Wechselströme so, daß der Strom auf dem zweiten Leiter um ein Drittel und der auf dem dritten Leiter um zwei Drittel einer Periode hinter dem Strom auf dem ersten Leiter zurückbleiben. Als

gemeinsame Rückleitung dient ein vierter Draht, der durch die Überlagerung der drei Wechselströme dauernd nahezu spannungslos bleibt oder auch durch Erdung ganz spannungslos gehalten wird und Nulleiter heißt. Es kann aber auch auf eine Rückleitung verzichtet werden, da die beiden anderen Leiter instande sind, die Rückleitung des Stromes zu übernehmen. So hat man Drehstromnetze mit drei und mit vier Leitern und die Bezeichnung Dr 4, 50, 380/220 bedeutet ein Drehstromnetz mit 4 Leitern und 50 Perioden, bei dem man zwischen zwei Außenleitern 380 Volt und zwischen Außenleiter und Nulleiter 220 Volt entnehmen kann. Außer diesen Spannungen sind noch als Ausnahme 220 Volt Drehstrom und 128 Volt Wechselstrom zugelassen, während man die vielen abweichenden Spannungen, die sich zur Zeit noch finden, allmählich ausmerzen will.

Für viele physikalische und chemische Versuche ist nun Gleichstrom unbedingt erforderlich, für Bildwurf wird er bevorzugt, obgleich auch Wechselstrom verwendbar ist. Im Wechselstromnetz muß die Schule also Umformer benutzen, die aus dem Wechsel- oder Drehstrom in irgend einer Weise Gleichstrom machen. Früher hat man solche Umformeranlagen stets so groß gewählt, daß sie für alle Schulversuche geradezu das Gleichstromnetz ersetzen. Heute würde die Forderung einer so großen Anlage in der Regel abschlägig beschieden werden, weil solche Mittel wie früher

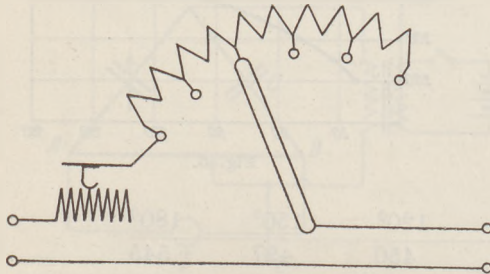


Fig. 1.

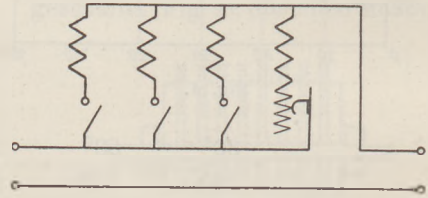


Fig. 2.

nicht mehr zur Verfügung stehen. Es ist deshalb die Frage dringlich geworden, ob nicht auch auf billigere Weise eine den gerechten Ansprüchen der Schule genügende elektrische Anlage geschaffen werden kann. Die vor 10 Jahren zur Beratung der preußischen Schulen geschaffene Amtsstelle, die Staatliche Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht hat deshalb eingehende Versuche angestellt und ist nun in der Lage, eine wesentlich billigere und zugleich handlichere Einrichtung vorzuschlagen. Es seien in diesem Zusammenhang zunächst auch einige Erfahrungen über Gleichstromanschluß mitgeteilt.

Im Gleichstromnetz hat man vor allem einen veränderlichen Vorschaltwiderstand nötig, um die Stromstärke jederzeit auf den gewünschten Betrag einzustellen. Er kann entweder nach Figur 1 eingerichtet sein, so daß von hintereinanderliegenden Widerständen eine größere oder kleinere Zahl eingeschaltet wird, oder nach Figur 2, so daß zu einem ständig benutzten Widerstand Nebenschlüsse gelegt werden. Die erste Anordnung, die z. B. bei den Schalttafeln von Gebr. Ruhstrat in Göttingen angewendet wird und wohl überhaupt die gebräuchlichste ist, hat den Vorteil, daß man den Widerstand bis zu Null herab vermindern kann (falls nicht absichtlich ein unveränderliches Stück vorgeschaltet ist), aber den Nachteil, daß bei Unachtsamkeit der Widerstand überlastet werden kann und dann Schaden leidet. Die zweite Anordnung ist bei richtiger Bemessung der Teile unüberlastbar und nimmt die Aufmerksamkeit des Experimentierenden daher gar nicht in Anspruch. Sie kann deshalb auch dem Ungeübten anvertraut werden. Gelegentlich aber ist es unbequem, daß der Widerstand nicht unbegrenzt vermindert werden kann. In dieser Weise ist der tragbare Experimentierwiderstand von LEPPIN und MASCHÉ eingerichtet, der sich durch niedrigen Preis und geringes Gewicht auszeichnet.

Früher wurde der Widerstand wohl stets als feste Wandschalttafel in das Unterrichtszimmer eingebaut. Da man in älteren Schulen außer dem Tisch im Unterrichtszimmer überhaupt keinen zum Ausführen von Versuchen und zum Vorbereiten geeigneten Platz hatte, war das auch angemessen. Gesteht man aber der Schule das durchaus nötige Vorbereitungszimmer zu, so muß es auch für die elektrischen Versuche ausgerüstet sein; für diese ist es ja ganz besonders nötig, weil ihre Vorbereitung am meisten Zeit kostet. Eine zweite Schalttafel für das Vorbereitungszimmer dürfte nur ganz ausnahmsweise bewilligt werden, deshalb wurden die fahrbaren und tragbaren Widerstände ersonnen, die sich auch sehr gut bewährt haben.

In der Regel wird die Schalttafel für 25 Amp. eingerichtet, es ist aber eigentlich nur der elektrische Ofen, der eine so große elektrische Leistung verlangt. In allen anderen Fällen wird bei großer Stromstärke nur eine niedrige Spannung und bei hoher Spannung nur eine mäßige Stromstärke gebraucht. So kommt man im Klassenzimmer immer mit einer gut gebauten 5 Amp.-Bogenlampe aus und die großen Stromstärken, die für die Ampereschen Versuche erwünscht sind, wird man schon der Gefahr der Lichtbogenbildung wegen nicht vom Netz, sondern von den parallel geschalteten Sammlern entnehmen.

Da keine Lichtleitung schwächer als für 6 Amp. verlegt werden darf, braucht man in einem elektrisch beleuchteten Gebäude nicht unbedingt auf die Bewilligung einer Schalttafel zu warten, sondern kann sich behelfsmäßig bei einiger Geschicklichkeit auch vorher schon auf mancherlei einrichten. Was die Sammler angeht, so ist mehr auf Haltbarkeit, als auf geringen Anschaffungspreis zu achten. Nicht nur die Platten, sondern auch die Art des Einbaues ins Traggestell sind von Bedeutung. Die Hauptstelle hat schon vor Jahren diese Dinge eingehend geprüft und mit der Varta-Akkumulatoren-Gesellschaft vereinbart, was als „Schulsammler der Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht“ gelten soll¹⁾.

Sehr beliebt ist die Abzweigung kleiner Spannungen vom stromdurchflossenen Widerstand nach Figur 3. Oft wird dieser Widerstand in die Schalttafel eingebaut, verständlicher für den Schüler ist es, wenn der mit etwa 15 Amp. belastete Schiebewiderstand von höchstens einem Ohm gesondert auf dem Tisch steht. Man kann auf diese Weise z. B. den Funkeninduktor betreiben, erreicht aber nie dieselbe Leistung, wie bei Erregung mit dem Sammler, weil im Augenblick der Unterbrechung die Spannung wächst und den Unterbrechungsfunken, auf dessen schnelle Löschung alles ankommt, vergrößert.

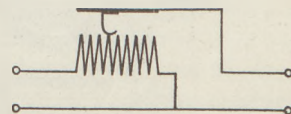


Fig. 3.

Im Fall des Wechselstromnetzes verfuhr man früher so, daß man einen dreipferdigen oder noch etwas stärkeren Elektromotor aufstellte, der eine Dynamomaschine für 110 Volt Gleichstrom trieb, die bis zu 20 oder 30 Amp. hergeben konnte. Sehr oft wurden statt 110 Volt nur 65 Volt genommen, weil in der Elektrotechnik 45 Volt als Bogenspannung für elektrische Lampen und 20 Volt für den Beruhigungswiderstand als ausreichend gilt. Für eine Straßenbeleuchtungslampe, deren Kohlen senkrecht übereinander stehen, trifft das auch zu. Eine gute Bildwurflampe, deren positive Kohle wagrecht, deren negative senkrecht steht, braucht aber eine wesentlich höhere Bogenspannung. Auch die Überschuß-Spannung, die im Beruhigungswiderstand verbraucht wird, muß an sich größer sein, soll aber nicht auf das knappste zulässige Maß beschränkt werden, damit ein längerer Brand ohne Nachstellen der Kohlen erzielt wird. Andernfalls sind länger dauernde optische Versuche in ungebührlicher Weise erschwert. Man könnte wohl mit 100 Volt auskommen, es ist aber besser, durch Zugabe von noch 10 Volt zu einer gebräuchlichen Spannung zu kommen, für die Elektromotoren, Glühlampen usw. regelmäßige Handelsware sind. Die weitere Ausrüstung besteht dann aus einer Schalttafel wie im Gleichstromnetz.

¹⁾ Abbildungen im „Musterverzeichnis von Einrichtungen und Lehrmitteln für den chemischen Unterricht“, Leipzig 1924, Quelle & Meyer, S. 24.

In ihrem 1918 erschienenen Musterverzeichnis von Einrichtungen und Unterrichtsmitteln für den physikalischen Unterricht (Verlag Quelle & Meyer), hat die Staatliche Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht bereits eine wesentliche Vereinfachung vorgeschlagen, nämlich eine Maschine für 110 Volt, 5 bis 10 Amp. für die Bogenlampe und eine für 16 Volt 25 Amp. für die Versuche. Die kleineren Maschinen, die von einem gemeinsamen Motor getrieben werden, kosten immerhin weniger, sie machen aber auch weniger Geräusch als die große Maschine. Ferner wird die Zuleitung zum Physikzimmer schwächer, und die Schalttafel fällt weg, da man bei der geringen Spannung mit einigen Schiebewiderständen auskommt, die man ohnehin in der Sammlung haben muß.

Eine weitere Vereinfachung kann nun auf Grund von Versuchen vorgeschlagen werden, die dadurch ermöglicht wurden, daß die Lorenz A.-G. in Tempelhof einen kleinen Umformer, die Körting und Mathiesen A.-G. in Leipzig-Leutzsch einige Transformatoren, die Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft in Berlin Wechselstrommeßinstrumente und Gebr. Siemens in Berlin-Lichtenberg Bogenlampenkohlen verschiedener Art zur Verfügung stellten. Allen diesen Helfern sei hiermit öffentlich Dank ausgesprochen.

Die Lorenz A.-G. in Berlin-Tempelhof hatte vor einiger Zeit eine kleine tragbare Umformermaschine auf den Markt gebracht, die zur Aufladung der Beleuchtungsbatterie von Automobilen bestimmt war. Die mit schärfster Beanspruchung durchgeführte Prüfung ergab, daß sie für Schulzwecke vorzüglich geeignet ist. Mit der Fabrik ist daraufhin vereinbart worden, daß diese Maschine für

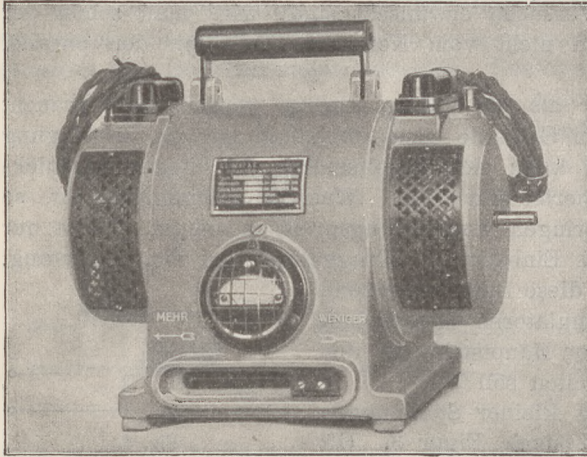


Fig. 4.

Schulzwecke mit beiderseits vorragender Achse und Schnurscheibe und für 12 Volt 15 Amp. geliefert wird; sie wiegt etwa 15 kg, so daß sie an ihrem Griff leicht überallhin getragen werden kann, der Anker ist mit größter Sorgfalt ausgeglichen, so daß trotz der Drehgeschwindigkeit von 3000 Umläufen in der Minute nur wenig Geräusch und keine störende Erschütterung erzeugt wird. Der Umformer kann in den meisten Fällen ohne Nachteil auf den Experimentiertisch selbst gestellt werden. Der Anker hat zwei Wicklungen, die eine endet an zwei Schleifringen, die andere an Kollektorsegmenten. Angelassen wird die Maschine mit einem eingebauten Schalter über zwei Zwischenstellungen, während man gleichzeitig auf einen Knopf drückt. Dabei geht der Wechselstrom zunächst über einen Widerstand in die Gleichstromwicklung und bringt den Anker schnell auf die nötige Geschwindigkeit, nachher geht der Wechselstrom durch die Schleifringe in die Wechselstromwicklung, und der Anker macht nun für jede Periode des Netzstromes genau eine Umdrehung. Im Fuß der Maschine ist ein elektromagnetischer Schalter verborgen, der dafür sorgt, daß der Gleichstrom in der angezeichneten Richtung die Maschine verläßt (denn die Polarität der Bürsten unterliegt dem Zufall), der ferner ausschaltet, sobald zu viel Strom entnommen wird oder der Wechselstrom aussetzt. Ferner ist in das Gehäuse ein Gleitwiderstand, eine Sicherung und ein Strommesser, der durch Druck auf einen Knopf zum Spannungsmesser wird, eingebaut. Die Maschine kann zum Aufladen der Sammler und als unmittelbare Stromquelle zu den Versuchen dienen, sie nimmt beim Anlaufen etwa 4 Amp., nachher etwa 1 Amp. aus dem 220-Volt-Netz, kann also von jeder Steckdose und im Notfall von einer Lampenfassung aus betrieben werden.

Mit dieser vorzüglichen Maschine ist für die überwiegende Mehrzahl der Schulversuche in auskömmlicher Weise gesorgt, aber für das Bogenlicht reicht die Spannung bei weitem nicht. Es wurden deshalb Versuche mit Wechselstrombogenlampen angestellt, um zu sehen, ob diese für Schulzwecke zu verwenden sind. Zur Verfügung stand eine Wechselstromleitung von 220 Volt, der nicht mehr als 5 Amp. entnommen werden durften. Ein Bogenlampentransformator, der bei Leerlauf 45 Volt und bei 15 Amp. 30 Volt gab, wurde mit Kohlen, die für Wechselstrom besonders empfohlen waren, und mit Reinkohlen geprüft. Dabei lag eine Kohle wagerecht, die andere senkrecht. Das Ergebnis befriedigte durchaus nicht, es zeigte sich aber bei Zuschaltung von etwas Widerstand zwischen Transformator und Lampe eine leichte Besserung. Weitere Versuche an einem Einankerumformer, der 85 Volt Wechselstrom liefert, bewiesen, daß mit 12 bis 15 Amp. ein brauchbares Wechselstrombogenlicht sowohl mit den Sonderkohlen, wie auch mit Reinkohlen möglich ist. Das letztere ist für die Schule wichtig, denn die Sonderkohlen geben kein kontinuierliches, sondern ein sehr reiches Linien-Spektrum. Auf Grund dieser Erfahrungen fertigte nun die Körting und Mathiesen A.-G. einen Transformator an, dessen Leerlaufspannung 60 Volt ist und dessen Spannung bei Abgabe von 15 Amp. auf 35 Volt abfällt. Der starke Spannungsabfall ersetzt den Beruhigungswiderstand, der bei einem Transformator mit geringem Spannungsabfall nötig wäre. Mit diesem Transformator wurden durchaus befriedigende Ergebnisse erzielt. Planiareinkohlen gaben noch ein genügend ruhiges Licht, noch ruhiger brannten Siemens-A-Kohlen, 13 mm Profil. Die Helligkeit konnte gesteigert und der Bogen noch mehr beruhigt werden, wenn als untere, senkrechte Kohle Siemens 301 schneeweiß 10 mm angewendet wurde. Für den Bildwurf ist dieser Vorteil nicht zu verachten, da aber der Helligkeitszuwachs vom Lichtbogen kommt und in der Physik in der Regel nur das Licht des Kraters verwendet werden kann, ist vor allem die Brauchbarkeit der beiden Reinkohlenarten von Bedeutung.

So wichtig der Nachweis ist, daß und unter welchen Bedingungen das Wechselstrombogenlicht für die Schule verwendet werden kann, so darf doch nicht verschwiegen werden, daß es nicht in allen Fällen dem Gleichstrombogenlicht gleichwertig ist. Bei rascher Bewegung des Auges erkennt man, daß das Licht intermittierend ist. Zu stroboskopischen Versuchen ist diese Lichtquelle also im allgemeinen nicht zu brauchen. Wird fünfzigmaliges Aufleuchten in der Sekunde gebraucht, so sind gröbere Versuche ohne weitere Hilfsmittel ausführbar, für feinere Versuche ist aber die Dauer des einzelnen Aufleuchtens zu lang. Das Spektrum der 15 Amp.-Lampe steht dem einer Gleichstromlampe von 5 Amp. kaum nach, bei Siemens-A-Kohlen steht bisweilen eine helle Natriumlinie auf dem kontinuierlichen Grunde, sowohl bei Gleich- wie bei Wechselstrom, Kohle 301 schneeweiß gibt ein so reiches Linienspektrum, daß man es fast mit einem von Fraunhoferschen Linien durchzogenen kontinuierlichen verwechseln kann. Mikroprojektion läßt sich gut ausführen, doch erreicht man nur knapp die Hälfte der Helligkeit wie bei Gleichstrom, da es nicht möglich ist, den großen Krater auszunutzen. Lästig ist auch das ziemlich starke Geräusch des Wechselstrombogenlichtes.

Die technische Bedeutung des Wechselstromes liegt in der Leichtigkeit, mit der er auf andere Spannungen gebracht werden kann; auch die Schule wird sich diesen Vorteil nicht entgehen lassen. Die gasgefüllten Glühlampen lassen sich für geringe Spannungen so einrichten, daß das Licht von einer sehr kleinen Fläche ausgeht¹⁾. Für die Physik kommen von diesen nahezu punktförmigen Lichtquellen besonders die Osram-Nitra-Lampen Nr. 7100 und 7222 in Betracht, von denen die erste bei 4 Volt 4 Amp. etwa 20 Kerzen, die zweite bei 8 Volt 6 Amp. über 90 Kerzen hergibt. Sehr häufig sind diese Lampen zu Versuchen ausreichend, bei denen man bisher die Bogenlampe zu verwenden pflegte. Zu ihrem Betrieb dient ein Transformator, dem 4 und 8 Volt abgenommen werden können, er ist im Gegensatz zum Bogenlicht-

¹⁾ Vgl. diese Zeitschr. 36, 26, 1923 über Fassung und Gehäuse zu diesen Lampen.

Transformator so eingerichtet, daß die Spannung von der Belastung möglichst wenig abhängt. Daher kann man mit ihm auch das Lämpchen Osram Nr. 3714 brennen, das als punktförmige Lichtquelle für Linsenversuche sehr geeignet ist, und nur 4 Volt 0,6 Amp. braucht. Ein solcher von Körting und Mathiesen zur Prüfung eingesandter Transformator erwies sich für die drei Lampen als sehr geeignet.

Für den Bildwurf vom Glasbilde ist der Wechselstrombogenlampe die gasgefüllte Glühlampe vorzuziehen, jedoch nicht eine für 220 Volt, sondern eine für 35 Volt, weil sie an Lichtausbeute und Lebensdauer weit überlegen ist. Für einen großen Klassenraum genügt eine Lampe für 500 Watt sehr reichlich, zu ihr kann der oben erwähnte Bogenlichttransformator passend gemacht werden. Für größere Räume kommen Lampen für 1000 und 1500 Watt für 50 Volt und entsprechende Transformatoren in Betracht.

Neuerdings hat die Ostrangesellschaft auch eine Wolframbogenlampe unter dem Namen Punktlichtlampe in den Handel gebracht. Für den Bildwurf kann sie mit Bogenlicht und gasgefüllter Lampe nicht wetteifern, aber für photographische Arbeit, besonders für Mikrophotographie ist sie ganz ausgezeichnet.

Aus dem Dargelegten ergibt sich die Möglichkeit, eine an Wechselstrom angeschlossene Schule billiger als man es bisher konnte in ausreichender Weise elektrisch zu versorgen. Als Vorteil für den Gebrauch kommt eine größere Beweglichkeit hinzu. Der Gleichrichter kann zum Gebrauch in jeden beliebigen Raum getragen und nach Gebrauch im Sammlungsschrank verschlossen werden. Auch der Bogenlampentransformator ist noch bequem tragbar und kann mit Bogenlampe oder Nitralampe in anderen Räumen benutzt werden, wenn nur eine kleine Steckdose vorgesehen ist. Der 50-Watt-Transformator und die kleinen Lampen erleichtern eine Menge von Versuchen ganz bedeutend und erlauben vielfach Versuchsanordnungen, die mit der schweren Bogenlampe in so übersichtlicher Form nicht ausführbar sind. Der besseren Übersicht wegen sei kurz noch einmal aufgezählt, was hier als Schulausrüstung für das Wechselstromnetz vorgeschlagen ist:

Tragbarer Lorenzumformer, 12 Volt 15 Amp. Gleichstrom,
2 Paar Bleisammler in Traggestellen, 4 Amp. oder 4 Sammler 12 Amp.,
Gleitwiderstände 3 Ø 20 cm oder größer für 12, 6, 3, 2, 1 Amp.,
Transformator 35 Volt 500 Watt, im Leerlauf 60 Volt,
Wechselstrombogenlampe 15 Amp., Kohlen 13 mm Siemens-A-Profil,
Transformator 4 und 8 Volt bei 1 bis 6 Amp.,
Osramlampen 7100, 7222 und 3714 mit Schraubsockeln,
Fassungen auf Stielen und Gehäuse dazu,
Osram-Nitra-Bildwurflampe 35 Volt 500 Watt.

Versuche zur Veranschaulichung und ungefähren Messung des Explosionsdruckes.

Von Prof. O. Ohmann in Berlin-Pankow.

Bei der umfassenden Bedeutung, die die Explosionsvorgänge in der Technik gewonnen haben — es sei besonders an die verschiedenartigen Explosionsmotoren erinnert —, ist es unterrichtlich erwünscht, diese immer von neuem fesselnden und etwas rätselhaft anmutenden Vorgänge nicht nur theoretisch, nach Kalorienentwicklung, Reaktionsgeschwindigkeit usw. klarzulegen, sondern ihnen auch experimentell, durch anschauliche, wenn möglich messende Versuche, irgendwie beizukommen. Für die genannten Motoren ist besonders eine Seite jener Erscheinungen ausschlaggebend: der auf den Kolben wirkende Explosionsdruck. Er liefert die Triebkraft, die das Automobilrad beflügelt und den Flugzeugpropeller beschwingt. Ihn zu veranschaulichen

und teilweise messend zu verfolgen, und zwar zunächst an explosiven Leuchtgas-Luft-Gemischen, ist die Aufgabe der folgenden Versuche.

Als geeigneter Träger der Explosion erweist sich wiederum die langhalsige oberste Kugel eines Kippischen Apparates, die als Explosionspipette zuerst von M. ROSENFELD empfohlen wurde. Für diese Pipette werden zwei Korke vorbereitet, K_1 (s. Figur S. 258), der leicht die Mündung des Halses schließt, und K_2 , der in den unteren Tubus paßt und mit einem kleineren Korkbohrer so durchbohrt wird, daß der Querschnitt $D \sim \frac{1}{2}$ qem beträgt. Der Inhalt der verwendeten Pipette beträgt in der Kugel genau $1\frac{1}{2}$ l, im ganzen 1640 ccm, ihr Gewicht war fast genau 1 kg. Zu einem Vorversuch wird die am Hals (s. Figur, *St*) fest in ein Bunsenstativ gespannte Pipette nur mit dem Kork K_1 verschlossen und durch Luftverdrängung mit Leuchtgas gefüllt, das nach Wegnahme von K_1 entzündet wird. Nach kurzer Zeit, $\sim \frac{1}{4}$ Minute, schlüpft die Flamme, indem sie sich teilt, abwärts und entzündet das inzwischen entstandene explosive Gemisch unter lebhaftem Gezisch und einer Leuchterscheinung von L bis L_1 , die bei der sehr empfehlenswerten Verdunkelung des Zimmers sich überraschend hell erweist. Füllt man nun von neuem und setzt den Kork K_2 ein, so vollzieht sich nach dem Entzünden das Mischen langsamer, das Gemisch wird gleichmäßiger und viel wirksamer als wenn man die Luft in das unverkorkte Lumen einströmen läßt. Bis die Explosion erfolgt, vergeht etwa eine Minute. Es ist auffällig, wieviel für die Lebhaftigkeit der Explosion von dieser Lumenverengung bzw. Verzögerung des Einströmens abhängt; man darf indessen in der Verengung nicht zu weit gehen, da sonst die Wirkung in ihr Gegenteil verkehrt wird.

Um nun die Druckgröße dieser verhältnismäßig lebhaften Explosion experimentell zu erkennen, brachte ich die mit Leuchtgas gefüllte Pipette zuerst über die Mitte der einen Platte einer Haushaltungs-Tafelwage, und zwar über diejenige mit aufgekippten Rändern, die eigentlich für die Gewichte bestimmt ist, derart, daß zwischen dem Tubuskork und der Platte nur 1 bis 2 mm Zwischenraum blieb, während auf die andere Platte ein Kilogrammgewicht gesetzt worden war. Bei der Explosion trat eine eigenartige starke Erschütterung der Wage ein: man hatte die unzweifelhafte Empfindung, daß die mit dem Gewicht belastete Platte emporgehoben wurde, konnte aber die Hebung selbst mit dem Auge kaum erkennen oder verfolgen, deutlich hörte man jedoch eine Art Aufstoßen. Als $1\frac{1}{2}$ kg aufgesetzt wurden, zeigte sich, etwas abgeschwächt, dasselbe, ebenso noch bei 2 kg und etwas darüber. Ich suchte bei den letzteren Versuchen bestimmte Kanten fest anzuvisieren, aber immer versagte im Moment der Explosion die Beobachtung. Trotzdem war ich nach der Gesamtwirkung fest überzeugt, daß eine Senkung bzw. Hebung der Schalen stattgefunden hatte, wenn auch der Erfolg mehr akustischer als optischer Natur war, und war von dem Ergebnis immerhin angenehm überrascht.

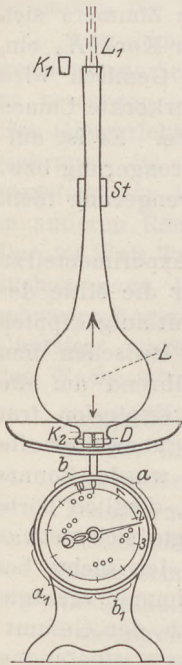
Weniger befriedigt über das Ergebnis hinsichtlich der Demonstrierbarkeit — ich hatte mir vorgestellt, die ganze Klasse müßte die Hebung und Senkung deutlich beobachten können —, kam ich auf den Gedanken, den Druck auf eine Zeiger-Wirtschaftswage, welche Drucke bis zu 10 kg zu messen gestattet, wirken zu lassen und hatte hier schließlich einen vollen Erfolg. Zwar wurde ich anfangs noch sehr enttäuscht: ich hatte gehofft, den Zeiger bei der Explosion bis zu den Teilstrichen jenseits 2 kg verfolgen zu können, sah aber wiederum nichts dergleichen; andere Hinzugerufene konnten ebenfalls von einer Zeigerbewegung nichts wahrnehmen. Fast wollte ich an einen Irrtum bei den vorherigen Beobachtungen an der Tafelwage glauben, sah aber bald die naheliegende Möglichkeit, dadurch zur Gewißheit zu gelangen, daß man die Zeigerwage als Registrierapparat benutzte, sei es, daß man das Zifferblatt leicht berußte und am Zeiger einen kleinen Wattebausch befestigte, sei es, daß man am Zeiger selbst eine leicht abfärbende Substanz anbrachte, oder anderswie. Ich griff einfach zum oft bewährten Plastilin und setzte allenthalben kleine rote Säulchen auf das Zifferblatt, zunächst rechts vom Nullpunkt des Zeigers

(s. Figur, bei a) und entsprechend links vom Gegengewichtszeiger bei a_1 , aber auch links vom Nullpunkt bei b und entsprechend bei b_1 , um zu kontrollieren, ob schon die Erschütterung allein die Säulchen abriß. Die Figur zeigt das Ergebnis des Versuches im Moment der Explosion: alle Säulchen bei a und a_1 waren weggerissen, alle übrigen waren unversehrt; die gezeichnete, in Wirklichkeit nicht beobachtbare Zeigerstellung ist aus dem Fehlen der Säulchen von 0 bis $\sim 2\frac{1}{4}$ kg erschlossen. Somit ist der Beweis erbracht, daß unter den gewählten Versuchsbedingungen die wirksame Teilgröße des Explosionsdruckes eines Leuchtgas-Luft-Gemisches von rund $1\frac{1}{2}$ l wirklich den Betrag von mehr als 2 kg erreicht.

Es fragt sich nun: Was wirkt eigentlich als Druck oder Stoß auf die Wage? Ist es die durch die Korköffnung dahinstürzende expandierte Gasmenge? Keineswegs diese allein. Vielmehr mußte ich mich bald überzeugen, daß der so dicht herangebrachte Kork K_2 , der zufällig überhaupt nur sehr locker saß, bei der Explosion herausgestoßen wurde, daß also dieser durch den Explosionsdruck hervorgerufene mechanische Stoß mitwirkte. Dieser spielt bei der ganzen Wirkung die Hauptrolle. Es ist geradezu auffällig, wie wenig von dem Explosionsdruck zur Geltung kommt, wenn man (wie beim Vorversuch) ohne Kork arbeitet und nur die expandierte Gassäule einwirken läßt. Hierbei reicht der Zeiger kaum bis zu $\frac{1}{2}$ kg. Als dritte Größe tritt zu den obigen noch hinzu der Explosionsstoß im engeren Sinne, ein Luftstoß, dessen wellenartiger Charakter von H. LE CHATELIER und H. B. DIXON (hauptsächlich bei dem Zerfall fester Explosivstoffe) festgestellt und dessen sonderbare Geschwindigkeitskurve zuerst von E. MACH am Jodstickstoff ermittelt wurde. Im vorliegenden Falle ist aber dieser Explosionsstoß, dem sonst bei starken Explosionen ganz eigenartige Fernwirkungen (Mit-Entzündung eines benachbarten gleichartigen Explosivstoffes, z. B. bei Minen, selbst unter Wasser) zuzuschreiben sind, kaum von Belang. Bei unseren Versuchen wird also von dem ganzen Explosionsdruck im wesentlichen nur der auf die obere Korkfläche wirkende Teildruck gemessen. Diese Erkenntnis führte zu einigen weiteren Versuchsreihen.

Um für diese Versuche gewisse gleichbleibende Bedingungen zu schaffen, wurde ein fest in den Tubus passender Kork (beiläufig 13 mm Durchmesser, 23 mm Höhe) verwendet, der eine Bohrung von 8 mm Durchmesser erhielt. Um diesen immer gleich tief, also in gleicher Pressung, in den Tubus hineinzubringen, wurde quer durch ihn, in 15 mm Höhe, ein mitten durch die Bohrung hindurchgehendes 8,5 cm langes Stück einer Stricknadel (mittlerer Stärke) gesteckt. Hierdurch wurde erreicht, daß — gleich langes Füllen vorausgesetzt — die Zeitdauer von der ersten Zündung bis zur spontanen Explosion sich im ganzen gleich blieb, sie schwankte nur etwa zwischen 1 Minute 17 Sekunden und $1'23''$. Hiermit erhielten auch die Explosionsdrucke der einzelnen Versuche im großen und ganzen dieselbe Größe. Auf diese Weise ließ sich die Abhängigkeit der Wirkung von der Entfernung, also in gewissem Sinne die Größe der Schußwirkung, ermitteln.

Bei größeren Entfernungen, z. B. bei 8 cm Abstand des Tubusrandes von der Schale, blieb die Wirkung erheblich unter 1 kg (der fortgeschleuderte Kork blieb meistens auf der Schale oder wurde nur wenige Dezimeter weit herausgeworfen). Bei 4 cm Abstand erreichte die Wirkung knapp 1 kg. Bei 2 cm Abstand dagegen war bei einer Zeitdauer von $1'20''$ der Zeiger bereits bis 2,5 kg vorgeschritten. — Für die folgenden, letzten Versuche dieser Reihe wurde (sicherheitshalber) noch eine kleine Asbestpappe in den vertieften Mittelteil der Schale gelegt. Als jetzt nach gehörigem Füllen (10 Sekunden langem Einströmen) der Kork bis zur Stricknadel eingedrückt und das Ganze dicht über die Asbestpappe, fast bis zur Berührung, gebracht wurde,



gab es bei der Explosion noch eine Überraschung: der Zeiger rasierte alle Säulchen bis jenseits 6 kg (in einem Fall bis 7 kg) weg. Das im Vergleich zu den obigen Versuchen so sehr viel günstigere Ergebnis ist auf Rechnung des festanschließenden Korkes zu setzen. Es ist erwähnenswert, daß die Korke durch die wiederholten Einwirkungen der heißen Explosionsprodukte allmählich oberflächlich angekohlt werden; bei dem ersten Korke K_2 war, nach einer reichlichen Zahl von Versuchen, die Verkohlung ziemlich weit auch auf den Zylindermantel vorgeschritten, so daß der Kork immer weniger gut schloß, infolge wovon die günstig lange Zeitdauer von der Entzündung bis zur Explosion immer mehr verkürzt wurde. Jedenfalls liegt das bemerkenswerte Ergebnis vor, daß durch die gewählte Versuchsanordnung von dem ganzen Explosionsdruck die erhebliche Teilgröße von 6 bis 7 kg nachgewiesen werden kann. Aus den ganzen letzten Versuchen läßt sich auch ersehen, wie schnell die Wirkung zunimmt, wenn man sich dem Explosionsherd immer mehr nähert.

Als ferner bei dem obigen, bei 2 cm Abstand vorgenommenen Versuch Leuchtgas eingefüllt wurde, das das eine Mal durch Benzol, das andere Mal durch Leichtbenzin karburiert war, erwies sich die Zeitdauer als deutlich verlängert (bis auf $1\frac{3}{4}$ Minuten), die Wirkung aber nicht erheblich verschieden.

Als dagegen die Pipette mit Wasserstoff gefüllt wurde, war die Wirkung, unter besonders starker Leuchterscheinung, so bedeutend, daß der Geltungsbereich der Wage (10 kg) überschritten wurde. Der Zeiger erhielt infolgedessen eine dauernde negative Mißweisung von ~ 5 Teilstrichen, die durch die Regulierschraube nicht rückgängig gemacht und erst durch Auflegen von 250 g ausgeglichen werden konnte. Vor diesem Versuche ist also zu warnen, aber nur im Interesse der Wagen mit dem angegebenen kleinen Geltungsbereich. Man darf ihn nicht in unmittelbarer Nähe der Schale, sondern erst in einiger Entfernung vornehmen, kann dann aber seine Wirkung mit den in derselben Entfernung durchgeführten Explosionen anderer Gemische vergleichen. Im übrigen ist zu betonen, daß sämtliche Versuche in der starkwandigen Explosionspipette (Gewicht, wie erwähnt, rund 1 kg) vollkommen ungefährlich sind. Man kann z. B. die Pipette während einer Explosion ruhig in der Hand halten. Es empfiehlt sich indessen zur Schonung des Pipettenhalses den oberen Glasrand, aus dem die Flamme über 1 Minute herausbrennt, von vornherein recht sauber zu halten und den Hals samt Mündung mit einem dünnen Leinwandstreifen öfters rein zu wischen und von den Kondensaten zu befreien; letztere schaffe man auch von Zeit zu Zeit aus der Kugel heraus.

Wenn nun diese Versuche und Messungen, schon wegen der durch die obere Öffnung der Pipette entweichenden Gasmengen, auch nicht gestatten, den Maximaldruck einer Explosion abzuleiten — beiläufig wurde dieser bereits von BUNSEN ermittelt und z. B. für ein Explosionsgemisch aus Kohlenoxyd und Sauerstoff in einem Zylinder von 1,7 cm Durchmesser und 8,15 cm Höhe zu 10,15 Atm. bestimmt — so vermitteln sie doch immerhin eine ungefähre Anschauung von der Größenordnung des Explosionsdruckes und bieten insofern etwas mehr als die sonst meist nur zum Eindruck gelangenden akustischen Wirkungen.

Die beschriebenen Explosionsversuche, besonders der Hauptversuch mit Wirkung von 6 bis 7 kg, lassen sich aber noch nach einer anderen Richtung hin verwerten. Sie vermitteln auch eine Vorstellung von der Größe der Triebkraft im Zylinder eines Gasmotors — dieser Zweck war der Leitgedanke der ganzen Untersuchung. Und zwar versinnlichen sie die dritte, energetisch wichtigste Phase (den dritten „Takt“) der „Arbeitsperiode“ eines Viertaktmotors, deren erster Takt das Ansaugen (der „Saughub“) ist, wobei der Kolben — senkrechte Stellung des Zylinders vorausgesetzt — herabgeht, während das Einlaßventil für das Gas-Luft-Gemisch offen, das Auspuffventil geschlossen ist; deren zweiter Takt (der „Kompressionshub“) das Komprimieren des Gemisches durch den wieder aufwärts gehenden Kolben ausführt, deren dritter Takt (der „Arbeitshub“), wie bereits angedeutet, die eigentliche Arbeitsleistung

darstellt, indem das bei höchster Stellung des Kolbens in den „Kompressionsraum“ gedrängte Gemisch durch den elektrischen Funken der Zündkerze explodiert und infolge des Explosionsdruckes, also infolge der starken exothermischen Wirkung des dabei stattfindenden chemischen Momentanvorganges, den Kolben mit Gewalt nieder treibt, und deren vierter Takt (der „Auspuflhub“) beim Wiederaufsteigen des Kolbens den Austritt der chemisch veränderten Luft ins Freie besorgt. — Von weiteren Ausführungen hierzu kann abgesehen werden, da die physikalische Seite der Gaskraftmaschinen in dieser Zeitschrift (34, 193/204) von Dr. R. REINCKE eingehend behandelt worden ist.

Was schließlich die Ursachen der oben erwähnten geringen optischen Wahrnehmbarkeit betrifft, so können diese meines Erachtens nach zwei Richtungen hin gesucht werden. Möglichenfalls sind nur die im Moment der erwarteten Explosion sicher auftretenden Reflexbewegungen im Auge für die Beeinträchtigung der Beobachtungsfähigkeit verantwortlich zu machen. Oder aber, bei Voraussetzung kontinuierlicher Beobachtungsfähigkeit, die Geschwindigkeit des Explosionsstoßes — und dementsprechend die momentan einsetzende und sofort aufgehörende Wirkung auf die Medien der Stoßübertragung (im Falle der Federwage: Schale, Tragstange, Feder, Zeiger) — ist so groß, daß die im Auge erzeugte Bildreihe der Zeigerbewegung, sogar das Bild des Nullpunktes der Bewegung, das der Zeigerumkehr, nicht ins Bewußtsein treten und daß auch irgend ein Nachbild nicht Platz greifen konnte, kurz, daß einer der Fälle vorliegt, wo die Grenze der Wahrnehmbarkeit, der Leistungsfähigkeit des Auges, überschritten wird. Beide Annahmen gehören in das Gebiet der Physiologie, vornehmlich der ophthalmologischen, und werden sich hoffentlich bei einer weiteren Analyse der Erscheinung zur Aufklärung bringen lassen.

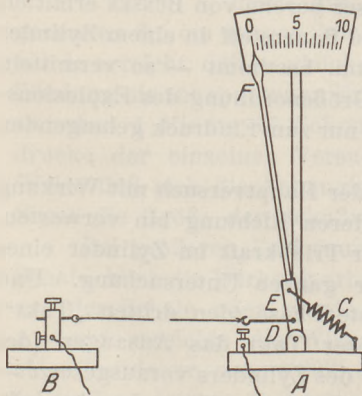
Die Explosionspipette ist von der Firma Dr. Rob. Muencke, Berlin N 4, Chausseestr. 8, zum Preise von 3 Mark zu beziehen.

Kleine Mitteilungen.

Eine einfache Methode zur Bestimmung der Wärmeausdehnungskoeffizienten der Metalldrähte.

Von Reinhold Westlin in Helsingfors.

Wenn man quantitative Wärmeausdehnungsversuche mit festen Körpern ausführen will, so ist bisher die gewöhnlichste Methode die, daß man Wasserdampf durch eine Röhre leitet und die Ausdehnung mit Mikrometer oder Hebelzeiger mißt. Für genauere und zugleich anschauliche Bestimmungen dieser Art habe ich einen besonderen Apparat konstruiert, wodurch der Versuch, besonders die Erwärmung und die Temperaturbestimmung, anders ausgeführt wird.



Ein dünner Metalldraht, dessen Ausdehnung man messen will, wird festgespannt zwischen dem eigentlichen Apparat A (siehe die Figur) und dem Befestigungsstück B. Sowohl A als B werden an den Tisch festgeklemmt. Der Apparat A wird so eingestellt, daß die Spitze F des Zeigers auf dem Anfangspunkt O der Skala steht. Die Spiralfeder C spannt den Draht kontinuierlich und sucht den Zeiger rechts zu drehen. Der Zeiger kann sich um D drehen, wobei das Verhältnis $FD:ED = 20:1$ ist. Dann bestreut man einige Stellen des Drahtes mit Schwefelblumen, die gelb und deutlich sichtbar sind, und leitet durch den Draht einen elektrischen Strom, dessen Stärke man mit eingeschaltetem Regulier-

widerstand allmählich vergrößert. Der Draht wird erwärmt und dehnt sich aus, was man durch Ablesen der Zeigerstellung bestimmen kann. Der Schmelzpunkt des Schwefels ist 115°C . Wenn der Draht diese Temperatur erreicht hat, schmilzt der Schwefel, was man an der scharfen Farbenänderung deutlich erkennen kann, und gleichzeitig beobachtet und notiert man die Zeigerstellung auf der Zentimeterskala. Sowohl die Temperatur als die Verlängerung wird auf diese Weise sehr genau bestimmt. Die Ausrechnung, um die wahre Verlängerung pro Grad und Meter zu bekommen, ist sehr einfach, besonders wenn die Zimmertemperatur 15° ist, so daß die Temperaturerhöhung 100° wird.

Als ich diesen Apparat zum erstenmal im physikalischen Verein in Helsingfors vorzeigte, bekam ich folgende Werte: Messing 0,0000188, Eisen 0,0000115. Der Apparat ist bereits an viele Schulen in Finnland geliefert worden.

Ein Glühlampenwiderstand.

Von Aladár Tóth in Pannonhalma (Ungarn).

Einen Glühlampenwiderstand gebrauchen wir im Unterricht, wenn wir aus einem Starkstromnetz einen schwachen Strom benützen wollen. Ein solcher Widerstand besteht aus mehreren parallel geschalteten Glühlampen. Der Strom wird desto stärker, je mehr Lampen wir einschalten, zu welchem Zwecke wir die Lampen in die Fassung einschrauben. Es ist möglich die Lampen mit einem Griff in Reihe zu schalten. In den folgenden Zeilen werde ich einen einfachen Lampenwiderstand beschreiben, in welchem die Parallelschaltung und auch die Reihenschaltung anwendbar ist. Vielseitigkeit und bequeme Schaltbarkeit dieses Lampenwiderstandes verdient Aufmerksamkeit.

1. Ich beginne mit dem einfachsten Fall. Nehmen wir drei Glühlampen mit entsprechenden Fassungen. Weiterhin zwei schmelzende Stöpselsicherungen mit drei geeigneten Fassungen. Von den jetzt gebräuchlichen Metallfadenlampen fand ich als beste zu unserem Gleichstromnetz mit 220 V Spannung die 100kerzigen Lampen. Von den verschiedenen Sicherungen sind die vorzüglichsten die Sicherungen mit Bajonettverschluß von Ganz & Co. in Budapest. Mit einem Griff sind sie herausnehmbar oder einsteckbar. Wir montieren die Lampen und die Sicherungen auf ein Holzbrett und schalten sie zusammen nach Fig. 1; *a*, *b* und *c* sind die Sicherungen, 1, 2 und 3 sind die Lampen und *A*, *B* Klemmschrauben.

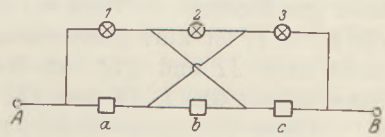


Fig. 1.

Die folgenden Schaltungsweisen sind möglich: a) wenn wir alle Sicherungen herausnehmen, sind die Lampen von selbst in die Reihe geschaltet. In 220voltigem Netz brennen die Lampen mit $\frac{1}{4}$ A Stromstärke. b) Stecken wir die *b*-Sicherung ein; die 2-Lampe ist dadurch kurzgeschlossen. Die 1 und 3 brennt in Reihe geschaltet. Die Stromstärke ist jetzt $\frac{1}{3}$ A. c) Wenn wir nur die *a*-Sicherung einstecken, dann ist die 1- und 2-Lampe kurzgeschlossen und nur 3 brennt. Die Stromstärke ist $\frac{1}{2}$ A. Die Wirkung ist die gleiche, wenn wir statt *a*- nur die *c*-Sicherung einstecken. Jetzt brennt nur die 1-Lampe. d) Stecken wir die *a*-Sicherung samt *c* ein. Alle drei Lampen brennen parallel geschaltet. Die Stromstärke ist 1,5 A. e) Lassen wir jetzt die *a*- und *c*-Sicherung eingesteckt, aber schrauben eine Lampe aus ihrer Fassung. Die anderen zwei Lampen bleiben parallel geschaltet brennen. Die Stromstärke ist 1 A.

Wir haben also fünf verschiedene Schaltungsweisen mit $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$, 1, 1,5 A Stromstärke. Die Sicherungen schalten nicht nur, sondern versichern auch. Zwei Stöpsel sind genug. Denn drei Stöpsel schließen den Lampenwiderstand kurz. Darum ist die größte Vorsicht ratsam. Dagegen ist mit nur zwei Sicherungen der Kurzschluß ausgeschlossen. Ganz ruhig können wir den Lampenwiderstand den Schülern überlassen,

2. Wenn wir einen stärkeren Strom benutzen wollen, dann müssen wir die Lampen vermehren. Ist die Lampenzahl 6, 9 schlechthin $3n$, dann können wir auch mit zwei Stöpselsicherungen parallel und in Reihe schalten. Für den Unterricht fand ich sechs Lampen genug. Diese montieren wir nach Fig. 2 auf.

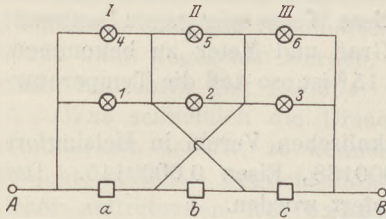


Fig. 2.

Hätten wir noch mehr Lampen, so bilden wir neue Reihen mit je drei Lampen. Diese schalten wir so zu den vorhandenen Reihen, wie wir die zweite Reihe zur ersten geschaltet haben.

Die in der Figur übereinander stehenden Lampen bilden Kolonnen. Bezeichnen wir diese *I, II, III*. Die Lampen dieser Kolonnen sind immer parallel geschaltet. Diese Kolonnen können wir jetzt mit den Sicherungen in Reihe, oder parallel schalten, ebenso wie die vorigen drei Lampen der Fig. 1.

Die Sicherungen schalten also Gruppen. Mit sechs Lampen ist die Stromstärke immer die zweifache. Also von $\frac{1}{2}$ bis 3 A.

Von den 4, 5, 6 Lampen können wir eine, zwei, oder alle drei von ihren Fassungen herausrauben. Wir bekommen hier mehr Abstufungen als mit drei Lampen. Wenn wir alle drei Lampen herausrauben, bleiben nur drei Lampen im Rheostat. Also der kompliziertere, sechslampige Rheostat enthält den einfachen mit drei Lampen. So ist es möglich die Stromstärke von $\frac{1}{4}$ A bis 3 A in genügend dichten Abstufungen zu verändern. Wenn die Lampenzahl $3n$ ist, dann von $\frac{1}{4}$ A bis $\frac{3n}{2}$ A.

Die wichtigsten Schaltungsweisen sind die folgenden: a) wenn wir alle Sicherungen herausnehmen, dann ist *I, II* und *III* Kolonne in Reihe geschaltet. b) Stecken wir die *b*-Sicherung ein, so brennt *I* und *III* Kolonne in Reihe geschaltet, die *II* ist kurz geschlossen. c) Falls wir den *a*-Stöpsel hineinstecken, so brennt die *III* Kolonne, die *I* und *II* ist kurz geschlossen. Wird der *c*-Stöpsel hineingesteckt, dann brennt *I*, nicht aber *II* und *III*. d) Wenn wir *a*- und *c*-Stöpsel gleichzeitig hineinstecken, dann brennt die *I, II* und *III* Kolonne parallel geschaltet.

Dieser Glühlampenwiderstand ist als Vorschaltwiderstand zu solchen Experimenten brauchbar, bei welchen kleine Stromstärke erforderlich ist und Stromunterbrechung nicht vorkommt. Z. B. kleine Glühlampen, kleine Bogenlampe, Elektrolyse, Galvanoplastik, Akkumulatorladung, Versuch von Oersted, kleiner Elektromagnet etc.

3. Bisher haben wir den Lampenwiderstand im Hauptstromkreis als Vorschaltwiderstand benutzt. Es ist möglich den Lampenwiderstand auch so weiter zu entwickeln, daß der *Ap* Apparat (Fig. 3) vom Nebenschluß den Strom bekomme. Parallel zur *AabcB*-Linie montieren wir dem anderen

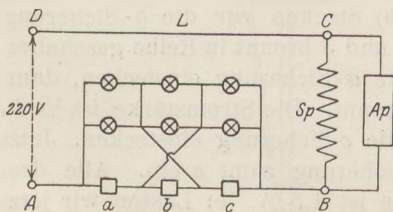


Fig. 3.

Rande des Holzbrettes den *L*-Leitungsdraht mit *C, D*-Klemmschrauben auf. Zur *A*- und *D*-Klemmschraube schalten wir das Netz. Zur *B*- und *C*-Klemmschraube aber eine entsprechende Widerstandsspirale. Zu dieser ist der *Ap*-Apparat parallel zu schalten. Dieser bekommt jetzt vom Nebenschluß den Strom mit niederer Spannung.

Zu meinen Demonstrationen war genügend eine Widerstandsspirale aus einem 0,8 mm dicken Konstantandraht mit etwa $4,5 \Omega$ Widerstand. Die Größe der Spirale ist so gewählt, daß wenn wir im Lampenwiderstand eine Lampe einschalten, die Spirale aus 220-voltigem Netz 2 V Spannung bekommt. Schalten wir mehrere Lampen in den Hauptstromkreis ein, so nimmt die Spannung auf der Spirale bei der Einschaltung jeder Lampe um 2 V zu. Also wir können bis 12 V hinaufgehen per 2 V. Die Lampen des Lampen-

widerstandes sind parallel zu schalten (*a*- und *c*-Stöpsel ist hineinzustecken). Außerdem können wir auch 1 V Spannung bekommen, falls wir nur drei Lampen in Reihe schalten.

Für den *Ap*-Apparat ist jetzt die Widerstandspirale die Stromquelle. Diese Stromquelle kann man mit Hilfe der Kirchhoffschen Gesetze charakterisieren. Die Spannung derselben ist gleich mit der auf die Spirale fallenden Spannung des Hauptstromes. Der innere Widerstand ist gleich mit jenem der Spirale. Also der Lampenwiderstand wirkt als Nebenschluß, wie eine sechszellige Akkumulatorbatterie, deren Spannung per 2 V zu regeln ist. Aber ihr innerer Widerstand ist groß.

Diese Schaltungsweise ist immer brauchbar, wenn wir einen niedrigspannigen Strom benötigen, in solchen Apparaten, in welchen Stromunterbrechung vorkommt. Z. B. elektrische Klingel, Mikrophon, Morsetaster, Morseschreibmaschine, kleine Elektomotoren, kleine Induktoren etc.

Versehen wir die *Sp*-Widerstandsspirale am einen Ende mit einem kleinen Auswechsler (in der Figur weggelassen), dann ist der Lampenwiderstand bequem nacheinander als Vorschaltwiderstand oder als Nebenschluß anwendbar.

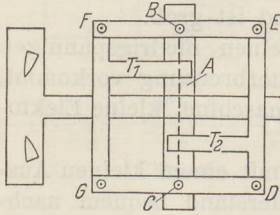
4. Der beschriebene Lampenwiderstand ist auch zum Wechselstromnetz brauchbar. Es ist auch möglich, mit Lampen und Nebenschlußspiralen einen Widerstand anderer Art und auch einen solchen anderer Netzspannung entsprechenden zu verfertigen. Der Widerstand ist sogar auch zu Messungszwecken verwendbar. So ließ ich die Lampen bleiben, aber statt der *Sp*-Spirale habe ich einen dicken Draht angewendet. Zwischen den Enden eines 0,8 mm dicken und 35 cm langen Konstantandrahtes war die Spannungsdifferenz nur 110 MV und zwischen den Enden eines 2 mm dicken und 40 cm langen Eisendrahtes aber nur 6 MV, wenn wir zum 220-voltigen Netz nur drei Lampen in Reihe schalten. Aber wir können auch einen entsprechenden Ruhstratschen Universalwiderstand benutzen, mit dessen zwei Gleitkontakten die Spannung grob und fein regulierbar ist. Diese kleinen Spannungen sind beim Unterricht sehr vorzüglich zu Meßzwecken, z. B. zur Wheatstones Brücke, Kompensationsmessungen etc. Aber seien wir vorsichtig, denn wenn im Netze Dynamos oder Motoren gehen, ist der Strom kein reiner Gleichstrom mehr, sondern Wellenstrom. Die Selbstinduktion und Kapazität der Widerstandsrollen wird fühlbar.

Zum Schluß bemerke ich noch, daß dieser Glühlampenwiderstand nicht mit der großen Schalttafel wetteifern will, sondern zweckmäßig Elemente, Akkumulatoren, kleinere Akkumulatorbatterien ersetzen kann. Im mehrjährigen Gebrauch des Verfassers hat er sich sehr gut bewährt.

Für die Praxis.

Über die Wirkung des Kristalldetektors. Von Dr. R. Danneberg in Dresden. Man kann die Wirkung eines Kristalldetektors durch folgende einfache Versuche erläutern. Man schalte ein feines Spiegelgalvanometer vorsichtig mit ca. 10 Volt und einem Kristalldetektor zu einem Stromkreis. Es erfolgt ein Ausschlag, also läßt der Detektor einen Gleichstrom hindurchgehen. Nun schalte man unter Vorschaltung einer 25–50-kerzigen Glühlampe die eine der Weinholdschen Induktionsspulen in den Stromkreis von 110 Volt (50 Periode) Wechselstrom. Die andere Induktionsspule liegt mit dem Detektor und dem Galvanometer in einem zweiten Kreis, der vom ersten induziert wird. Schaltet man den Detektor aus, so zeigt ja bekanntlich das Galvanometer den induzierten Wechselstrom nicht an. Nimmt man aber den Detektor in die Leitung, so zeigt sich ein Ausschlag, dessen Richtung verschieden ist, je nachdem die Spitze des Detektors mit der einen oder anderen Klemme des Galvanometers verbunden ist. Der Detektor muß also beim Durchgang des einen Stromstoßes die Entstehung des andern hemmen.

Zum Brewsterschen Stereoskop. Von S. Janß in Uetersen. Das Spiegelstereoskop von Wheatstone hat gegenüber dem Prismenstereoskop von Brewster den Vorteil, daß man mit ihm durch Änderung der Spiegelneigung die Konvergenz der Sehachsen als eine Bedingung der Tiefenauffassung direkt nachweisen kann. Die einfachen Stereoskope von Brewster, die mit der Hand gehalten werden und einen verschiebbaren Bilderhalter besitzen, lassen mittels einer einfachen Vorrichtung den entsprechenden



Versuch ebenfalls zu, der als Vorteil des Apparates von Wheatstone gilt. Man ersetzt den Bilderhalter durch ein in der Figur dargestelltes Parallelogramm. Der Stab *A* ist ganz ähnlich wie der Bilderhalter verschiebbar. Mit *A* ist durch Gelenke bei *B* und *C* das Parallelogramm *DEFG*, dessen Winkel geändert werden können, verbunden. Die Gelenke stellt man einfach dadurch her, daß man zur Verbindung der Leisten Nägel verwendet und vorher durch je eine Leiste mit einem etwas dickeren Nagel ein Loch schlägt. *DE* und *FG* tragen je eine Leiste *T₁* und *T₂*, an denen die beiden Bilder befestigt sind, deren Ort durch die gestrichelte Gerade bezeichnet wird. Man kann ein beliebiges Stereoskopbild durchschneiden, aber auch Zeichnungen einfacher geometrischer Körper verwenden. Macht man mit der Hand etwa den Winkel bei *G* kleiner, so werden die Bilder einander genähert, die Konvergenz der Sehachsen nimmt also zu, und man hat den Eindruck, daß die Gegenstände sich dem Auge nähern. Vergrößerung des Winkels bei *G* hat den entgegengesetzten Erfolg. Dadurch wird die Konvergenz der Sehachsen als eine Bedingung des räumlichen Sehens gleich anschaulich ermittelt wie mit dem Stereoskop von Wheatstone. (Durch die Winkeländerung wird zwar stets das eine Bild dem Auge genähert, das andere von ihm entfernt; die Verschiebungen sind aber unmerklich, wenn man *EF* und *GD* nicht zu kurz wählt.)

Zur Katalysatorwirkung. Von Dr. E. Mannheimer in Darmstadt. Um die katalytische Beschleunigung des Zerfalls von Kaliumchlorat durch Braunstein dem Schüler eindringlicher als durch die üblichen Versuche zu zeigen, lasse ich ihn folgende einfache Apparatur zusammenstellen: Ein Probierglas mit seitlichen Röhren nach REBENSTORFF (*ds. Ztschr.* 18, 225), ein vielseitig zu verwendender Apparatenteil für Schülerübungen, wird mit einem einfach durchbohrten, gutsitzenden Stopfen versehen. Durch die Bohrung geht ein kurzes Glasrohrstück. Mit seinem Außenende durch einen kurzen Gummischlauch mit Quetschhahn verbunden ist ein selbstgeblasenes Kölbchen, das mit 2 Federmesserspitzen pulverigem Braunstein beschickt wird (am besten künstliches MnO_2 von MERCK). Bei geschlossenem Quetschhahn wird das $KClO_3$ (Menge 1 Fingerbreite hoch, nicht mehr!) bis zur Sauerstoffabgabe erhitzt (O durch Gasableitungsröhre unter Wasser auffangen) und dann soweit erkalten gelassen, bis die O-Entwicklung aufhört. Nun sofort Quetschhahn öffnen: das Braunsteinpulver fällt in das $KClO_3$, die O-Entwicklung erneuert sich stürmisch unter bedeutender Temperaturerhöhung. — Es erscheint wesentlich, daß — gerade zum Zweck dieser im Lehrgang der Oberstufe ersten Festlegung des Begriffes „Katalysator“ — der Schüler den Braunstein nach der Reaktion untersucht. Er wird, vom KCl befreit und getrocknet, stark geglüht: Sauerstoff-Abgabe; oder (bezw. und) mit Salzsäure auf Chlorentwicklung geprüft.

Auch der durch MnO_2 oder Platin beschleunigte Zerfall des Wasserstoffperoxyds ist im gleichen Apparat zu zeigen. Will man Platin verwenden, so führt die Bohrung des Stopfens einen gutpassenden eingefetteten Glasstab, der unten hakenförmig umgebogen ist. Am Haken hängt eine Flocke Pt-Asbest. (Blinder Versuch mit nicht platinierter Asbest.) Auch hier ist der exotherme Charakter des Zerfalls „handgreiflich“ nachweisbar.

Berichte.

1. Apparate und Versuche.

Ein Versuch über Interferenz elektromagnetischer Strahlen. (Aus dem Lehrbuch der Physik von H. EBERT, II. Band, 2. Teil. Berlin, W. de Gruyter & Co., 1923.)

Man verwendet zwei größere, nebeneinander gestellte parabolische Metallzylinderhohlspiegel H_1 und H_2 ¹⁾. In die Brennpunktlinie des einen (H_1) setzt man als Geber G einen linearen Oszillator nach RIGHI (Messingkugeln in Petroleum), in den anderen (H_2) einen auf den Oszillator abgestimmten Empfänger, E , der aus einem Schwingungskreis mit sehr kleiner Selbstinduktion und einer regulierbaren kleinen Kapazität (Plattenkondensator) besteht und ein Thermoelement enthält, das mit einem Galvanometer verbunden ist. Die Brennweite der beiden Spiegel soll möglichst genau gleich einer Viertelwellenlänge der erzeugten Strahlen sein, weil dann die vom Spiegel reflektierten die vom Geber direkt ausgehenden Strahlen verstärken. Von H_1 geht dann eine ebene Welle aus, deren Front senkrecht zur Achse des Spiegels steht. Entsprechend wird an H_2 die Energie einer ebenen Welle, deren Front senkrecht zur Achse dieses Spiegels steht, möglichst vollkommen auf den Empfänger E übertragen. Den Spiegeln gegenüber wird eine ebene Metallwand (großes Blech auf Holzrahmen) vertikal aufgestellt. Der eine Teil dieser Wand (W_1) bleibt fest stehen, der andere (W_2) kann auf Rollen parallel mit sich selbst vorwärts- oder rückwärts um Strecken verschoben werden, deren Länge an einer am

¹⁾ Im Original auch ohne Figur.

Fußboden liegenden Skala abgemessen wird. Die Spiegel und die Wand sind so gegeneinander orientiert, daß das aus H_1 hervortretende Strahlenbündel nach der Reflexion an W_1 , W_2 gerade in H_2 hineinfällt.

Erregt man den Geber G , so zeigt das an das Thermoelement angeschlossene Spiegelgalvanometer einen großen Ausschlag. Schiebt man aber die Wandhälfte W_1 näher gegen die Spiegel, so vermindert sich der Ausschlag allmählich, bis bei einer Stellung 1 ein Minimum eintritt; bei weiterer Verschiebung vergrößert sich der Ausschlag wieder, erreicht bei einer Stellung 2 ein Maximum, dann bei einer Stellung 3 ein Minimum usw. Beim Ausmessen findet man, daß die einzelnen Stellungen um je $\frac{1}{4} \lambda$ voneinander entfernt liegen. Bei Stellung 1 beträgt also der Gangunterschied zwischen den von den Spiegelhälften W_1 und W_2 zurückgeworfenen Wellen gerade $\frac{1}{2} \lambda$, die von W_1 , W_2 kommenden Anteile löschen sich demnach, indem sie an Empfänger E interferieren (fast vollkommen) aus, bei Stellung 2 verstärken sie sich usw. Das Entsprechende beobachtet man, wenn man den Spiegel W_1 hinter W_2 zurückzieht.

Die Spiegel brauchen nicht aus Metallblech zu bestehen, es genügt vielmehr, eine Reihe von Metallstäben je von der Länge einer halben Wellenlänge längs eines Parabelbogens von der oben angegebenen Brennweite anzuordnen; diese Konstruktion hat den Vorteil, das sendende und das empfangende schwingende System von allen Seiten sichtbar zu lassen. P.

2. Forschungen und Ergebnisse.

Die Abweichungen bei der Zerstreuung harter Röntgenstrahlen von den Gesetzen der klassischen Elektromagnetik; eine Bestätigung der „Nadelstrahlung“ Einsteins. Orig.-Bericht von W. HILLERS.

1. Sekundärstrahlungen. Wenn ein abgegrenzter Röntgenstrahl — der Primärstrahl — auf ein Stück Materie fällt, so gehen von dieser allseitig in den Raum drei neue Strahlungen aus (1): Erstens die Fluoreszenzröntgenstrahlen mit bestimmter für die Art der Materie charakteristischer Wellenlänge, die nur durch Primärstrahlen kürzerer Wellenlänge erregt werden können und die bei chemischen Elementen kleinen Atomgewichtes, wie Kohle, ganz fehlen; zweitens die gestreuten Röntgenstrahlen mit wesentlich derselben Wellenlänge wie die der auffallenden Strahlen (so lange die primären Strahlen nicht zu hart sind); schließlich die photoelektrischen Elektronenstrahlen, deren größte Geschwindigkeiten dem Einsteinschen photoelektrischen Gesetz $\frac{m v^2}{2} = h \nu_0$, bzw. in relativistischer Rechnung

$$1) \quad m c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right) = h \nu_0$$

gehörten. Hierin ist $m = 9 \cdot 10^{-28}$ g die Elektronenmasse, v die beobachtbare Geschwindigkeit der schnellsten Elektronen, $h = 6,55 \cdot 10^{-27}$ erg · sec, die als Planck'sche Konstante bekannte universelle Zahl (1), ν_0 die Frequenz der auffallenden Primärstrahlung, $c = 3 \cdot 10^{10}$ cm · sec⁻¹ die Lichtgeschwindigkeit und $\beta = \frac{v}{c}$.

2. Klassische Theorie der Streustrahlung. J. J. THOMSON hat eine Theorie der Streustrahlung nach den Ansätzen der klassischen Elektromagnetik gegeben. Die Grundvorstellung ist dabei, daß die elektrischen Wellen der einfallenden Primärstrahlung die Elektronen der zerstreuen Materie zu erzwungenen Schwingungen in Richtung des einfallenden elektrischen Vektors veranlassen. Die Elektronen nehmen dabei Energie aus der einfallenden Strahlung auf und senden diese Energie als elektrische Wellen allseitig wieder in den Raum hinaus. Das ist die Streustrahlung. Sie muß nach THOMSON drei

Bedingungen genügen. Zunächst muß ihre Frequenz vollkommen gleich der der erregenden Primärstrahlung sein. Ist ferner E_s die durch ein einzelnes Elektron während der Zeiteinheit allseitig in den Raum hinaus zerstreute Energie, J_p die in gleicher Zeit durch die Raumeinheit hindurchwandernde Energie der Primärstrahlung, wobei die Raumeinheit das streuende Elektron umschließt, so soll gelten

$$2) \quad E_s = \frac{8\pi}{3} \cdot \frac{e^4}{m^2 c^4} \cdot J_p \quad (2),$$

worin noch e die Ladung des Elektrons ist. Bildet schließlich eine ins Auge gefaßte Richtung mit der Richtung des einfallenden Primär-

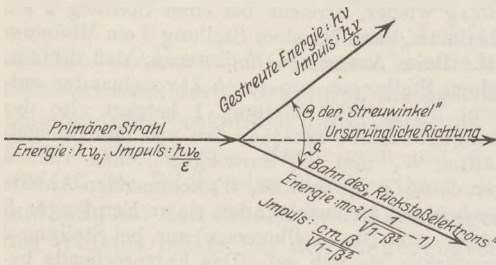


Fig. 1.

strahles den Winkel θ und ist J_θ die Intensität der in diese Richtung fallenden Streustrahlung, J_0 die Intensität der in die Richtung des durch die Materie hindurchgegangenen, geschwächten Primärstrahles fallenden Streustrahlung, so soll

$$3) \quad J_\theta = J_0 \cdot \frac{1 + \cos^2 \theta}{2}$$

sein. Es soll also insbesondere die Streuung in der Richtung nach „vorn“ ($\theta = 0$ oder $\theta = \varphi$, wobei φ ein kleiner Winkel ist) der Intensität nach gleich der Streustrahlung nach „hinten“ ($\theta = 180^\circ$ oder $\theta = 180 - \varphi$) symmetrisch gleich sein. Für weiche und mittelharte Röntgenstrahlen sind diese drei Forderungen wiederholt gut bestätigt worden, bzw. haben zu keinem Widerspruch geführt.

3. Beobachtete Unstimmigkeiten. Compton-Effekt. Für sehr harte γ Strahlen erweist sich nun Gleichung 2 als nicht erfüllt, da der gestreute Energiebetrag sich wesentlich kleiner ergibt, als er sein sollte. Ebenso findet die Streustrahlung im Widerspruch zu Gleichung 3 nicht symmetrisch gleich stark nach vorn und hinten statt; vielmehr erweist sich die Streustrahlung nach vorn als wesentlich stärker. Dazu kommt, daß in auffallender Weise die gestreute Strahlung „weicher“ ist — also größere Wellenlänge besitzt — als die einfallende primäre Strahlung, wie insbesondere FLORANCE (3) und ISHINO (4) nachgewiesen haben. Um letzteren Punkt weiter aufzuklären, unternahm A. H. COMPTON (5) experimentelle Untersuchungen auch mit Röntgenstrahlen von $\lambda = 0,12 \cdot 10^{-8}$ cm und

$\lambda = 0,50 \cdot 10^{-8}$ cm Wellenlänge. Er erlangte dabei die Überzeugung, daß durch den Streuvorgang selbst die Wellenlänge geändert wird. Die gestreuten Strahlen weichen in ihrer Frequenz desto auffälliger von der Frequenz der erregenden Primärstrahlung ab, je härter diese ist und um einen desto größeren Betrag, unter je größeren Streuwinkeln θ die zerstreute Strahlung beobachtet wird. Dieser „Compton-Effekt“ insbesondere ist mit den Grundvorstellungen der klassischen Thomsonschen Streuungstheorie gänzlich unvereinbar.

4. Die Nadelstrahlung. Für diese Unstimmigkeiten haben A. H. COMPTON (6) und P. DEBYE (7) unabhängig voneinander Deutungen auf quantentheoretischer Grundlage versucht. Sie ziehen dazu eine Vorstellung heran, die A. EINSTEIN (8) schon vor geraumer Zeit vorgeschlagen hat, um die Plancksche Strahlungsformel (9) aus dem Bohrschen Atommodell (10) abzuleiten. EINSTEINS Untersuchung führte zu der Überzeugung, „daß eine widerspruchsfreie Theorie der Strahlung nur aufgestellt werden kann, wenn die Elementarvorgänge der Strahlung als vollständig gerichtet aufgefaßt werden“. In anderer Ausdrucksweise heißt das: Den nach älterer Einsteinscher Auffassung (1905) als vollkommen voneinander unabhängigen, „diskreten“ Energieknoten anzusehenden Planckschen Energiequanten $h \cdot \nu$ des Lichtes (Lichtquanten, Quanten) (9, 10) ist auch eine bestimmte Bewegungsgröße (ein bestimmter Impuls) zuzuschreiben. Relativistische Rechnungsweise (10) verlangt als den Betrag dieser Bewegungsgröße (dieses Impulses) den Wert $\frac{h \cdot \nu}{c} \cdot g \cdot \text{cm} \cdot \text{sec}^{-1}$. In

einer sich bewegenden Wellenfläche der Lichtstrahlung beschreiben die Ortspunkte der Lichtquanten daher strichförmige Bahnen, längs derer allein Energie und Impuls von der Richtung der Bahn wandern. Von G. JOOS (11) sind nicht ganz erfolgreiche Versuche beschrieben worden, eine solche diskrete „Nadelstrahlung“ bei Szintillationen nachzuweisen, die durch α -Strahlen angeregt wurden.

5. Quantentheoretische Zerstreungstheorie. A. H. COMPTON und P. DEBYE bilden die Einsteinsche Vorstellung der gerichteten Lichtquanten nun in neuartiger Weise weiter aus. Bei einer Wechselwirkung zwischen Lichtstrahlen und Elektronen lassen sie nämlich eine Veränderlichkeit der Lichtquanten nach Energiebetrag und Impuls zu. Nach klassischer Vorstellungsweise erteilt ja ein Wellenzug, welcher über ein Elektron hinstreicht, diesem durch den Lichtdruck einen Stoß. (Durch das erzwungene Mitschwingen umgibt sich das Elektron mit einem magnetischen Felde, das von dem magnetischen Felde des Wellenzuges abgestoßen wird.) Der Übergang von Energie und Impuls auf das Elektron soll nun durch die klassischen Gesetze von der Erhaltung der Energie und des Impulses geregelt werden. Da aber Energie und Impuls des Lichtes in den voneinander getrennt wan-

dernden Lichtquanten angehäuft gedacht werden, muß sich der Übergang von Energie und Impuls aus dem Licht auf das Elektron genau nach Regeln vollziehen, die göltig sein würden, wenn man das Elektron und das Lichtquant als vollkommen elastische aufeinanderstoßende Kugeln betrachtet. Dabei tritt allerdings noch die Festsetzung hinzu, daß der absolute Betrag der Geschwindigkeit des Lichtquanten vor und nach seiner Wechselwirkung mit dem Elektron naturgemäß unverändert die Lichtgeschwindigkeit c sein soll.

6. Rechnerische Ansätze. Diese Vorstellungen genügen zu rechnerischen Ansätzen. Ein Lichtquant $h\nu_0$ der Primärstrahlung von der Frequenz ν_0 treffe auf ein ruhendes freies, oder wenigstens an einen übrigen Atomrumpf nur lose gebundenes Elektron. Das verlangt im allgemeinen Atome kleineren Atomgewichtes. Das Quant bringt den Impuls $\frac{h \cdot \nu_0}{c}$ (s. o.) mit. Nach vollzogener Wechselwirkung mit dem Elektron sei die ins Spiel getretene Lichtenergie, das Lichtquant, von seiner ursprünglichen Bewegungsrichtung abgelenkt, „gestreut“; seine neue Bewegungsrichtung schließe mit der ursprünglichen, also der Richtung des einfallenden Primärstrahles, den Winkel Θ ein (Fig. 1).

Da das Quant seinen Impuls geändert hat, verlangt der Impulssatz nach der Wechselwirkung eine entsprechende Impulsänderung des Elektrons; dieser möge daher nach dem „Zusammenstoße“ die Geschwindigkeit v unter dem Winkel ϑ gegen die Einfallrichtung des Primärstrahles haben. Da einem Elektron der Geschwindigkeit v — nach relativistischer Rechnung (10) — der Impuls

$$\frac{mv}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{cm\beta}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

und die Energie $mc^2 \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right)$ zukommt,

so muß nach dem Energiegesetz durch die Wechselwirkung die Energie des Lichtquants vermindert sein. Das kann nur einer Verminderung der Frequenz vom Betrage ν_0 auf einen kleineren Betrag entsprechen. Der Impulssatz fordert, daß die in der Richtung des Primärstrahls genommenen Impulskomponenten des gestreuten Quants und des in Bewegung gesetzten, „zurückgestoßenen“ Elektrons zusammen den ankommenden Impuls ausmachen. Das ergibt

$$4) \quad \frac{h\nu_0}{c} = \frac{h\nu}{c} \cos \Theta + \frac{mv}{\sqrt{1-\beta^2}} \cos \vartheta.$$

Weiter müssen sich die Komponenten der Impulse in Richtung senkrecht zum einfallenden Primärstrahle aufheben. Daraus folgt

$$5) \quad 0 = \frac{h\nu}{c} \sin \Theta + \frac{mv}{\sqrt{1-\beta^2}} \sin \vartheta.$$

Schließlich verlangt der Energiesatz

$$6) \quad h\nu_0 = h\nu + mc^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right).$$

Aus 4, 5 und 6 folgt

$$7) \quad \nu = \frac{\nu_0}{1 + 2 \frac{h\nu_0}{mc^2} \sin^2 \frac{\Theta}{2}},$$

oder mit $\nu_0 \lambda_0 = \nu \lambda = c$

$$8) \quad \lambda = \lambda_0 + \frac{2h}{mc} \sin^2 \frac{\Theta}{2}$$

oder in anderer Schreibweise

$$9) \quad \Delta \lambda = \lambda - \lambda_0 = \frac{2h}{mc} \sin^2 \frac{\Theta}{2} = 0,0486 \cdot 10^{-8} \sin^2 \frac{\Theta}{2} \text{ cm.}$$

Ferner ergibt sich

$$10) \quad \beta = \frac{v}{c} = \frac{2\alpha \sin \frac{\Theta}{2}}{1 + 2(\alpha + \alpha^2) \sin^2 \frac{\Theta}{2}} \cdot \sqrt{1 + (2\alpha + \alpha^2) \sin^2 \frac{\Theta}{2}}, \text{ wenn}$$

$$11) \quad \alpha = \frac{h\nu_0}{mc^2}$$

gesetzt worden ist. Schließlich gilt noch

$$12) \quad \text{tg } \vartheta = -\frac{1}{1 + \alpha} \cot \frac{\Theta}{2}.$$

7. Acht quantitative Forderungen der neuen Streuungstheorie. Gleichung 9 verlangt eine Zunahme der Wellenlänge in der gestreuten Strahlung gegen die der primären. Diese Zunahme ist nicht von der Natur der zersetzenden Körpers und nicht von der einfallenden Wellenlänge (Forderung I), sondern nur vom Streuwinkel Θ abhängig (Forderung II). Jede unter $\Theta = 90^\circ$ gestreute Strahlung soll also eine Vergrößerung der Wellenlänge um

$$\Delta \lambda_{90^\circ} = 0,0243 \cdot 10^{-8} \text{ cm}$$

erfahren. Die Vergrößerung macht bei gewöhnlicher Röntgenstrahlung nur wenige Prozente der Wellenlänge der ursprünglichen Strahlung, aber im Falle rückwärts gestreuter Strahlung ($\Theta = 180^\circ$) und für harte γ -Strahlen mehr als 200% aus.

Nach Gleichung 10 soll die Geschwindigkeit des „Rückstoßes“ auf das streuende Elektron zwischen Null bei vorwärts ($\Theta = 0$) gerichteter Streustrahlung und 80% der Lichtgeschwindigkeit liegen, wenn nämlich ein γ -Strahl unter großem Winkel ($\Theta = 180^\circ$) gestreut wird (Forderung III). Mit steigender Frequenz ν_0 — steigendem α nach Gleichung 11 — findet eine immer größere Bevorzugung der Elektronenenergie vor der Strahlungsenergie der Streustrahlung statt.

Mit härter werdender Primärstrahlung — wachsendem ν_0 und α nach Gleichung 11 soll nach Gleichung 12 ϑ kleiner und kleiner werden, d. h. bei ganz harter Primärstrahlung sollen die Rückstoßelektronen sich wesentlich in der Richtung der einfallenden Primärstrahlung bewegen (Forderung IV). Aber auch mit wachsenden Streuwinkeln Θ sollen sich die Rückstoßelektronen mehr und mehr in die Richtung der Primärstrahlung einstellen. Da bei der Streuung nach vorn diese Elektronen die größte Geschwindigkeit erlangen (s. oben), sollen die nach vorn laufenden

Rückstoßelektronen zugleich die schnellsten sein (Forderung V). Für sehr weiche Primärstrahlung — ν und α sehr klein, λ_0 groß — wird $\vartheta = 90^\circ + \frac{\Theta}{2}$, d. h. die Rückstoßelektronen laufen alle mit kleinen Geschwindigkeiten nach hinten.

Durch weniger strenge Überlegungen konnte A. H. COMPTON noch zeigen, daß die Gleichung 2 der klassischen Betrachtungsweise zu ersetzen ist durch

$$13) \quad \frac{E_0}{J_p} = \frac{8 \pi e^4}{3 m^2 c^4} \frac{1 + \alpha}{(1 + 2\alpha)^2}$$

(Forderung VI), die für weiche primäre Strahlung — λ_0 groß, ν_0 und α klein — in die klassische Formel 2 übergeht. Mit härter werdender Primärstrahlung soll also der zerstreute Energiebetrag mehr und mehr hinter dem nach J. J. THOMSON geforderten zurückbleiben (s. o.).

Schließlich leitet COMPTON an Stelle der klassischen Gleichung 3 ab

$$14) \quad J_{\Theta} = J_0 \frac{1 + \cos^2 \Theta + 2\alpha(1 + \alpha)(1 - \cos \Theta)^2}{2[1 + \alpha(1 - \cos \Theta)]^2}$$

(Forderung VII), die wiederum für weiche Primärstrahlung klassisch wird. Für härter und härter werdende Primärstrahlung konzentriert sich nach ihr die Streustrahlung mehr und mehr in die Richtung nach vorn (s. o.)

Trifft ein Lichtquant in ein Atom hinein, wo wir Elektronen dicht nebeneinander voraussetzen, so ist der Fall denkbar, daß es bezüglich eines Austausches von Energie und Impuls nicht mit einem einzigen Elektron in Wechselwirkung tritt, sondern daß ihm gleichzeitig sehr viele Elektronen nahe genug kommen, um sich an der Wechselwirkung zu beteiligen. Gibt das Lichtquant Energie und Impuls gleichzeitig an zwei, drei oder sehr viele Elektronen ab, so wird der Fall so liegen, als ob in Gleichung 11 m einen zwei-, drei- oder sehr viel mal größeren Wert hätte. Die Streustrahlung wird dann aber sich genau so wie bei nur einem einzigen Elektron und sehr viel weicherer Primärstrahlung — kleines α , also kleines ν_0 und großes λ_0 — verhalten müssen. Dann aber nähert sich, wie wir gesehen haben, das Verhalten dem klassisch verlangten an. Wir stellen daher die Forderung (VIII) auf: In jeder zerstreuten Strahlung darf sich ein Anteil bemerkbar machen, der den klassischen Gesetzen gehorcht, der also insbesondere den Compton-Effekt nicht zeigt.

8. Photoelektrische und Rückstoß-Elektronen. Das gut bestätigte Einsteinsche photoelektrische Gesetz 1 ist mit den Gleichungen 4, 5 und 6 unverträglich. Daher sind die Photoelektronen etwas grundsätzlich Verschiedenes von den Rückstoßelektronen. Durch Aufnahme der gesamten Energie eines Lichtquanten kann niemals ein freies oder lose gebundenes Elektron zu einem Photoelektron beliebiger Bewegungsrichtung werden, weil sonst der Impulssatz verletzt würde. Ein Photoelektron kann daher nur dann auftreten, wenn bei einer Wechselwirkung zwischen Quant und Elektron noch als dritter

Beteiligter der Atomrumpf hinzutritt, dem das Elektron zugehört. Dieser Atomrumpf hat nicht nur den gesamten Impuls des Lichtquants aufzunehmen, sondern auch den, der denjenigen des gebildeten Photoelektrons kompensiert. Das gipfelt in der Forderung, daß zu jedem Photoelektron ein Ion gehört, von dem das Elektron ausgegangen ist, und daß dieses Ion einen Rückstoß erfahren hat, dessen Impuls der geometrischen Summe der Impulse des Photoelektrons und des erregenden ursprünglichen Lichtquants entgegengesetzt gleich ist. — Bei auslösender mittelharter und weicher Röntgenstrahlung ist die Geschwindigkeit der Rückstoßelektronen nur ein geringer Bruchteil von dem der Photoelektronen; mit härter und härter werdender Primärstrahlung nehmen die Rückstoßelektronen aber mehr und mehr den Charakter der Photoelektronen an. In der sekundären Elektronenstrahlung müssen mithin im allgemeinen zwei der Entstehung und Elektronengeschwindigkeit nach verschiedene Anteile sehr wohl unterschieden werden (Forderung IX).

9. Experimentelle Bestätigung der aufgestellten Forderungen. Die in den beiden vorhergehenden Absätzen aufgestellten Forderungen konnten durch experimentelle Arbeiten von H. A. COMPTON (12, 13), C. T. R. WILSON (14), A. ROSS (15), W. BOTHE (16), D. SKOBELEZYŃ (14) im engen Anschluß an die Theorie innerhalb der nicht geringen Meßgenauigkeit bestätigt werden. DUANE und seine Mitarbeiter (17) haben allerdings den Compton-Effekt bisher nicht auffinden können; da sich bei ihren Beobachtungen aber auch sonst unerklärte Abweichungen von den Beobachtungen anderer Forscher ergeben haben, ist zu erwarten, daß ihr den Comptonschen Untersuchungen zuwiderlaufendes Ergebnis in unzweckmäßigen Versuchsanordnungen eine spätere Aufklärung finden wird. — Aus der Zahl der gut ausgearbeiteten experimentellen Belege für die Compton-Debyesche Theorie seien einige eindrucksvolle Bestätigungen angeführt.

10. Der Compton-Effekt nach der Ionisationsmethode. A. H. COMPTON bediente sich durchgängig bei seinen Untersuchungen der sehr empfindlichen Kristallreflexions-Ionisationskammer-Methode, um Intensität und Wellenlänge der Röntgenstrahlen zu messen (1). Er arbeitete hauptsächlich mit Graphit (1) (s. o. Kohle) als Streukörper und im wesentlichen mit der homogenen Molybdän- K_{α} -Strahlung (1). Seine Versuchsanordnung war folgende: Von der Molybdän-Antikathode einer Röntgenröhre her fallen Röntgenstrahlen auf den Streukörper. Spalte aus dickem Bleiblech werden so aufgestellt, daß ihre Verbindungslinie den Streukörper unter dem Winkel Θ gegen die Verlängerung der Verbindungslinie von der Antikathode mit dem Streukörper trifft. Auf diese Weise wird aus der Streustrahlung ein enges Bündel von Röntgenstrahlen ausgeblendet. Dieses fällt unter kleinem Neigungswinkel auf die Fläche eines Kalkspatkrystals und erfährt an ihr Kristallreflexion. Ein Spektrometertisch ist mit dem Kristall um eine

Achse drehbar, die durch den Treffpunkt des Röntgenstrahls mit dem Kristall hindurchgeht. An Stelle eines Spektrometerfernrohres ist um dieselbe Achse ein Arm drehbar, der weitere Bleispalte trägt, die so angebracht sind, daß ihre Durchblicksgerade auch durch die Drehachse zielt. Am Ende des Armes und dieser Geraden tritt der reflektierte Röntgenstrahl in eine Ionisationskammer, deren Ionisationszustand durch die entladende Wirkung auf ein empfindliches Elektrometer gemessen wird. Die größte Ionisationsstärke für eine bestimmte Stellung des Spektromertisches und -Armes legt den Glanzwinkel der Kristallreflexion und damit die Wellenlänge der in die Kammer eintretenden Strahlung fest (1). Die relative Intensität dieser größten Ionisation bei verschiedenen Winkeln θ ist ein Maß für die Intensität J_{θ} der Streustrahlung. Die Röntgenröhre mit den Spalten kann um den Ort des Streukörpers geschwenkt und damit θ geändert werden; nach Fortnahme dieses fällt für $\theta = 0$ die primäre Strahlung unmittelbar auf den Kristall auf und kann nach Intensität und spektraler Zusammensetzung mit sonst unveränderter Anordnung gemessen werden.

Sorgfältige Abbildungen durch Bleiplatten gewährleisteten den Ausschluß aller schädlichen Nebenstrahlungen. In Fig. 2 sind auf diese Weise erhaltene Ergebnisse zusammengestellt (12, 13). Sie enthält Spektren sowohl der primären als auch der sekundären Strahlen in Kurvendarstellung. Als Abszissen der Kurvenpunkte sind die Winkelablesungen des Spektrometers eingetragen; sie entsprechen von links nach rechts laufend wachsender Wellenlänge der Strahlung. Die Ordinaten der Kurvenpunkte sind die den Intensitäten proportionalen Ionisationen. Die linke Reihe der Kurven ist mit weiterer Spaltbreite, die rechte Reihe bei sonst gleicher Versuchsanordnung mit engerer gewonnen worden. Die obere Kurve gibt in dieser Weise das Spektrum des primären Strahles wieder, die Kurven darunter geben bei denselben Spalten die Spektren der Streustrahlen unter 45° , 90° und 135° Streuwinkel. In jedem Falle liegt eine Linie, die Mo-K α -Linie, an derselben Stelle wie beim primären Strahle (s. o. Forderung VII); daneben gibt es bei der

Streustrahlung aber noch eine zweite von größerer Wellenlänge (s. o. Forderung I), deren Abstand von der ersten mit dem Streuwinkel wächst (s. o. Forderung II). Die Linie T, welche in die Kurven eingezeichnet ist, gibt an, an welcher Stelle die nach der Quantentheorie, d. h. nach Gleichung 9, verschobene Streulinie liegen sollte. Die durch

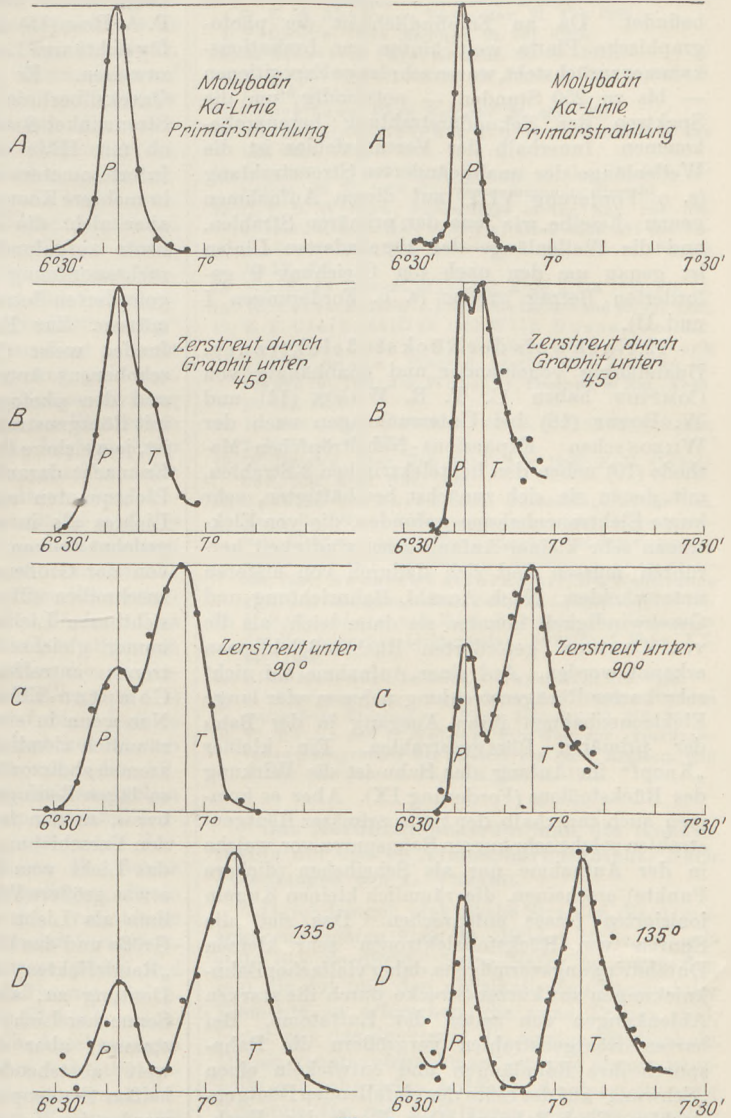


Fig. 2.

Von links nach rechts sind die „Glanzwinkel“ der an Kalkspat reflektierten Strahlung eingetragen. Von unten nach oben die relativen Intensitäten der Strahlung in der Ionisationskammer.

den Streuvorgang abgeänderte Wellenlänge fällt danach offensichtlich innerhalb der Meßfehler mit ihrem Maximum genau an die von der Theorie vorgeschriebene Stelle. Gesonderte Versuche (12) zeigen ferner, daß auch die Linien an denselben Stellen liegen bleiben, wenn statt Graphit die Stoffe Lithium, Natrium, Bor, Wasser, Aluminium oder Magnesium als

den Streuvorgang abgeänderte Wellenlänge fällt danach offensichtlich innerhalb der Meßfehler mit ihrem Maximum genau an die von der Theorie vorgeschriebene Stelle. Gesonderte Versuche (12) zeigen ferner, daß auch die Linien an denselben Stellen liegen bleiben, wenn statt Graphit die Stoffe Lithium, Natrium, Bor, Wasser, Aluminium oder Magnesium als

Streustrahler benutzt werden (siehe oben Forderung I).

11. Photographische Aufnahmen. Bestätigt (15) werden diese Ionisationsspektren durch photographische Aufnahmen der Röntgenstrahlenspektren nach der Drehkristallmethode (1), wobei nur der Kristall gedreht wird und an Stelle der Ionisationskammer sich die photographische Platte befindet. Da an Empfindlichkeit die photographische Platte weit hinter der Ionisationskammer zurücksteht, waren sehr lange Expositionen — bis zu 250 Stunden — notwendig, um die Spektren der Sekundärstrahlung herauszubekommen. Innerhalb der Versuchsfehler ist die Wellenlänge der unabgeänderten Streustrahlung (s. o. Forderung VIII) auf diesen Aufnahmen genau dieselbe wie jene der primären Strahlen, und die Wellenlänge der abgeänderten Linien ist genau um den nach der Gleichung 9 geforderten Betrag größer (s. o. Forderungen I und II).

12. Nachweis der Rückstoßelektronen. Unabhängig voneinander und unabhängig von COMPTON haben C. T. R. WILSON (14) und W. BOHRER (16) bei Untersuchungen nach der WILSONschen Expansions-Nebeltröpfchen-Methode (10) neben den lichtelektrischen β -Strahlen, mit denen sie sich zunächst beschäftigten, sehr kurze Elektronenbahnen gefunden, die von Elektronen sehr kleiner Anfangsgeschwindigkeit herrühren müssen und sich dadurch von ersteren unterscheiden. Nach Anzahl, Bahnrichtung und Geschwindigkeit konnten sie dann leicht als die von COMPTON geforderten Rückstoßelektronen erkannt werden. Auf einer Aufnahme bei nicht sehr harter Röntgenstrahlung nehmen vier lange Elektronenbahnen ihren Ausgang in der Bahn der primären Röntgenstrahlen. Ein kleiner „Knopf“ im Anfang der Bahn ist die Wirkung des Rückstoßes (Forderung IX). Aber es kommen auch innerhalb der Bahn primärer Röntgenstrahlen solche sehr kurzen Bahnspuren vor, welche in der Aufnahme nur als Scheibchen (dickere Punkte) erscheinen, die räumlich kleinen Kugeln ionisierten Gases entsprechen. Das sind die Spuren von Rückstoßelektronen sehr kleinen Durchdringungsvermögens, daher vielfacher Bahnknickungen auf kurzer Strecke durch die starken Ablenkungen von seiten der Luftatome. Bei harten Röntgenstrahlen vergrößern die Bahnspuren ihre Bahnlängen und entwickeln einen „Schwanz“ auf der Seite der einfallenden Röntgenstrahlen (Fisch-Bahnen). Der „Kopf“ der „Fischbahnen“ — das wegen zu gering gewordener Geschwindigkeit und daraus entspringenden vielen starken Richtungsänderungen durch die Luftatome auf kurzer Strecke verdickte Ende der Spuren — fällt immer in die Richtung der primären Röntgenstrahlen (s. o. Forderung IV). Eine Aufnahme mit langen und kurzen Bahnspuren führt die Tatsache vor Augen, daß die genau nach vorn gerichteten Fischbahnen länger sind, also von schnelleren Elektronen herrühren, als jene, welche sich in einem Winkel zum primären Strahl bewegen (s. o. Forderung IV und III).

13. Räumliche Ausdehnung der Lichtquanten? Bei der allgemeinen Bedeutung der Compton-Debyeschen Quantentheorie wäre es wichtig gewesen, auch von anderer Seite her experimentelle Belege heranzutragen. Da nach Gleichung 9 die Vergrößerung der Wellenlänge durch den Zerstreuvorgang von der Wellenlänge selbst unabhängig sein soll, wurde von P. A. ROSS (15) der Versuch unternommen, auch für sichtbares Licht den Compton-Effekt nachzuweisen. Er zerstreute Licht der grünen Quecksilberlinie ($\lambda = 5461 \cdot 10^{-8}$ cm) unter dem Streuwinkel $\Theta = 180^\circ$ an Paraffin und untersuchte, ob mit Hilfe eines Lummer-Gehrckeschen Interferometers eine Auflösung des Streulichtes in mehrere Komponenten zu erzielen sei. Es konnte aber nicht die erwartete langwelligere Komponente aufgefunden werden, trotzdem die Versuchsanordnung eine Wellenlängenänderung des geforderten Betrages hätte sicher erkennen lassen müssen. Zur Erklärung dieses negativen Befundes weist COMPTON (13) auf den „unverschobenen“ Anteil der Streustrahlung in seinen und den photographischen Versuchen von ROSS mit Röntgenstrahlen hin, der desto ausgeprägter ist, je weichere Primärstrahlung angewendet wird. Er macht darauf aufmerksam, daß man sich die Lichtquanten mit wachsender Wellenlänge des Lichtes als in steigendem Maße räumlich ausgedehnt denken, ihnen etwa Längenabmessungen von der Größenordnung einer Lichtwellenlänge zuschreiben (21) könne; dann muß ein Quant sichtbaren Lichtes beim Auftreffen auf Materie immer gleichzeitig außerordentlich viele Elektronen antreffen. Dadurch würde aber der Compton-Effekt (s. o.) ganz verschwinden (22). — Nur wenn in einem sehr verdünnten Gase freie, räumlich ziemlich weit getrennte, von den Gasatomen abdissoziierte Elektronen vorhanden wären, so lägen Bedingungen vor, bei denen auch sichtbares, an den freien Elektronen gestreutes Licht den Verschiebungseffekt zeigen müßte. Nun hat das Licht vom Rande der Sonne her stets eine etwas größere Wellenlänge der gleichen Spektrallinie als Licht von der Sonnenmitte her. Die Größe und das Vorzeichen dieses lange bekannten „Randeffektes“ lassen nach COMPTON (13) die Deutung zu, als ob das Licht vom Rande der Sonne her Licht ist, das aus dem Sonneninneren stammt, aber durch viele freie, voneinander weit abstehende Elektronen in der hohen heißen Sonnenphotosphäre rechtwinklig gestreut worden ist.

14. „Nadelstrahlung“ und Wellentheorie des Lichtes. Die „Nadelstrahlung“ ist mit der Vorstellung, daß das Licht sich in Kugelwellen ausbreitet, im Grunde unvereinbar. Denn wir brauchen mit der Strahlungsintensität nur mehr und mehr herabzugehen, dann würden in einer solchen Kugeloberfläche die Lichtquanten mehr und mehr auseinandertreten müssen; bei einer gewissen geringen angebbaren Lichtintensität könnte sich z. B. innerhalb einer Kugelschale von der Dicke einer Wellenlänge nicht mehr als ein einziges Lichtquant aufhalten. Dann versagt

die Vorstellung der „Welle“ aber vollkommen. Nun sprechen die angeführten Untersuchungen sehr zugunsten der „Nadelstrahlung“; die klassische Wellentheorie versagt für sie. Daher scheint die Physik gegenwärtig ernstlich der Frage nähertreten zu müssen, ob es möglich ist, die Wellentheorie des Lichtes überhaupt noch aufrecht zu erhalten. Eine Art Newtonscher Emissionstheorie würde der Quantenlehre sehr viel mehr entsprechen. In der Tat konnte A. SOMMERFELD, unser führender Theoretiker auf dem Gebiete der Strahlungslehre, an COMPTON schreiben, daß dessen Untersuchungen die Sterbeglocke der Wellentheorie des Lichtes läuteten (13). Zugunsten der Wellenlehre sprechen in immerhin noch durchschlagender Weise die Interferenzerscheinungen des Lichtes. Daher versuchen manche Forscher, z. B. DARWIN (13), N. BOHR, H. KRAMERS und S. C. SLATER (18) die Vorstellung zu retten, daß das Licht sich in Kugelnwellen ausbreitet und lehnen die „Nadelstrahlung“ ab. Dadurch sehen sie sich aber zu einer anderen höchst unangenehmen Schlußfolgerung gedrängt. Sie müssen nämlich für die Wechselwirkung zwischen der Energiestrahlung und den Elektronen sowohl das Energie- als auch das Impulsprinzip aufgeben. Beide Erhaltungsprinzipie sollen nach dieser Auffassung auf die „molare“ Welt beschränkt werden, sollen Mittelwertsätze sein, die nur für die Wechselwirkung einer ungeheuren Anzahl atomistischer Prozesse im Durchschnitt gültig sind, aber auf einen einzelnen Elementarvorgang nicht angewendet werden dürfen. Das Entropieprinzip wird heute ja auch in allgemein zugegebener Weise nur noch unter diesem Gesichtspunkt betrachtet (9). A. H. COMPTON (13) weist demgegenüber aber darauf hin, daß es keineswegs nur Sache des Geschmacks ist, ob man entweder die Wellenlehre oder die Allgemeingültigkeit der Erhaltungsprinzipie aufgeben will, sondern daß die Frage experimentell entschieden werden kann. Einen bestimmten Vorschlag in dieser Richtung machen W. BOTHE und H. FRIGER (24). Würde es gelingen, die in vorgeschriebenen Richtungen sich von einem Punkte des Streukörpers ausgehenden Streulichtquanten und Rückstoßelektronen zu zählen und würde sich dabei herausstellen, daß immer „gleichzeitig“ je ein Quant und ein Elektron nachweisbar ist, so würden dadurch die Anschauungen von BOHR und seinen Mitarbeitern unhaltbar geworden sein. — Zum Schlusse mag darauf hingewiesen werden, daß neuerdings W. DUANE (19) und in sehr vollkommener Weise EPSTEIN und EHRENSHAFT (20) eine Theorie der Lichtinterferenzen für paralleles Licht gegeben haben nur auf Grund der Nadelstrahlenauffassung ohne jede Benutzung der Wellenlehre; damit ist vielleicht eine verhängnisvolle Bresche in das widerstandsfähigste Bollwerk der Wellenlehre des Lichtes geschlagen worden.

Literaturverzeichnis.

1. Siehe z. B. Grimsehl, Lehrbuch der Physik, II. Bd. 5. Aufl. S. 490 ff.

2. J. J. Thomson, Conduction of Electricity through Gases, 2. ed., p 328, s. a. J. J. Thomson, Die Korpuskulartheorie der Materie. Braunschweig, 1908. S. 140 ff.
3. D. C. H. Florence, Phil. Mag. 28. 363. 1914.
4. M. Ishino, Phil. Mag. 33. 129. 1917.
5. Arthur H. Compton, Phil. Mag. 41. 749 und 770. 1921; Phys. Rev. 18. 96. 1921; Phys. Rev. 19. 267. 1922; G. E. M. Jauncey, Phys. Rev. 22. 233. 1923.
6. Arthur H. Compton, Phys. Rev. 21. 483. 1923; 21. 715. 1923; 22. 409. 1923 und Phil. Mag. 46. 897. 1923. s. a. G. E. M. Jauncey, Phys. Rev. 21. 477. 1923.
7. P. Debye, Phys. Zeitschr. 24. 161. 1923.
8. A. Einstein, Phys. Zeitschr. 18. 121. 1917.
9. u. 10. Grimsehl, Lehrb. d. Phys. I. Bd. 6. Aufl. u. II. Bd. 5. Aufl.
11. Georg Joos, Phys. Zeitschr. 24. 469. 1923.
12. Arthur H. Compton u. Y. H. Woo, Proceed. of the nat. acad. 10. 271. 1924.
13. Arthur H. Compton, Journal of the Franklin Institute 198. 70. 1924. Zusammenfassender Bericht.
14. C. T. R. Wilson, Proceedings of the Roy. Soc. 104. 1. 1923; s. a. D. Skobelzyn, Über eine Art der Sekundärstrahlung der γ -Strahlen. Zeitschr. f. Physik XLIV. 393.
15. P. A. Ross, Proceed. of the Nat. Acad. 9. 246. 1923; s. a. 13.
16. W. Bothe, Zeitschr. f. Phys. 16. 19. 1923 und 20. 237. 1923.
17. G. L. Clark, Stifler und Will. Duane, Proceed. of the Nat. Acad. 9. 413 und 419. 1923; G. L. Clark und W. Duane. Proceed. of the Nat. Acad. 10. 41, 148 und 191. 1924; s. a. Webster, Proceed. of Nat. Acad. 10. 186. 1924.
18. N. Bohr, H. A. Kramers und J. C. Slater, Zeitschr. f. Phys. 24. 69. 1924.
19. W. Duane, Proc. Nat. Acad. Apr. 1923; A. II. Compton, Nat. Acad. Nov. 1923.
20. Epstein und Ehrenhaft, Proceedings of the Nat. Acad. 10. 1924. — Weitere Literatur siehe: Lise Meitner, Über eine notwendige Folgerung aus dem Compton-Effekt und ihre Bestätigung. Zeitschr. f. Phys. XXII. 334. 1924; Helmuth Kulenkampff, Die Wellenlänge gestreuter Röntgenstrahlen. Zeitschr. f. Phys. XIV. 17. 1923.
21. L. S. Ornstein und H. C. Burger, Die Dimension der Einsteinschen Lichtquanten. Zeitschr. f. Phys. XX. 345. 1924.
22. Lise Meitner, Zeitschr. f. Phys. XIX. 310. 1923.
23. K. Försterling, Zerstreung der Röntgenstrahlen durch freie Elektronen. Phys. Zeitschr. 13. 313. 1924.
24. W. Bothe und H. Geiger. Ein Weg zur experimentellen Nachprüfung der Theorie von Bohr, Kramers und Slater. Zeitschr. f. Phys. XXIV. 44. 1924.

Das Nordlichtspektrum und die Konstitution der oberen Atmosphärenschicht. Nach Forschungen von L. VEGARD.

Durchdringen elektrische Strahlen die Atmosphärenschichten über 90–100 km Höhe, so entsteht das Nordlicht. Seine Natur zu ergründen und die Art und den physikalischen Zustand der Elemente zu erforschen, die seine Träger sind, bietet uns das Spektrum die einzige Möglichkeit. Dieses genau aufzunehmen, ist eine ebenso wertvolle wie schwierige Aufgabe, da einerseits seine Kenntnis für die Aufklärung vieler kosmischer Fragen von besonderer Bedeutung ist, andererseits seine Lichtschwäche die größten Anforderungen an die spektrophotographische Technik stellt. So kommt es, daß zwar schon viele ältere Wellenlängenbestimmungen seiner Spektrallinien vorliegen, sie aber alle zu ungenau sind, um eine einwandfreie Deutung des Spektrums zu gestatten.

Daher hat es der norwegische Forscher L. VEGARD in vielen Untersuchungen seit 1912, über die er in der Zeitschrift für Physik (Bd. 16, S. 367) ausführlich berichtet, unternommen mit den besten optischen Hilfsmitteln das Spektrum des Nord-

lichts photographisch festzuhalten. Dabei ergab sich aus seinen Aufnahmen, daß die wenigen Linien, die er aufgezeichnet fand, mit Ausnahme der schon früher bekannten gelbgrünen dem Nordlicht eigentümlichen Linie sämtlich dem negativen Bandenspektrum des Stickstoffs angehören. Für die Nordlichtlinie erhielt er dann 1921 aus Okularbeobachtungen Wellenlängen von 5578,4 und 5577,6 Å-E, was mit einer neueren Messung von SLIPHER gut übereinstimmt. Zur weiteren Aufklärung des Nordlichtspektrums wurden dann 1922 im geophysikalischen Institut von Tromsø die systematischen Untersuchungen fortgesetzt mit 4 Spektrographen, von denen der eine große Dispersion im ultravioletten Strahlenbereich, der zweite solche im sichtbaren, die beiden anderen größte Lichtstärke besaßen, sodaß mit den beiden

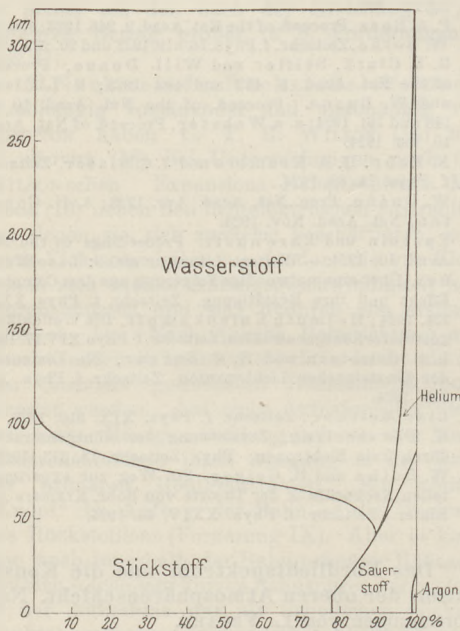


Fig. 1.

ersten Aufnahmen für genaue Wellenlängenmessungen, mit den anderen Höhenmessungen vorgenommen werden konnten.

Die Platten wurden teilweise bis $39\frac{1}{2}$ Nordlichtstunden belichtet und die so erhaltenen Aufnahmen ausgemessen. Auch hierbei ergab sich, daß die stärksten Linien sich im sichtbaren Gebiet mit sog. negativen, die ultravioletten mit positiven Stickstoffbanden identifizieren lassen bis auf 4 Linien, die grüne 5577,1—5578,4 und 4182,5, 3432,7, 3208,3 Å-E. Sie gehören auch nicht dem Wasserstoff oder Helium an. Vom Spektrum dieser Gase hat VEGARD selbst bei den längsten Expositionen nichts gefunden, während nach Laboratoriumsversuchen selbst bei nur wenigen Volumprozenten dieser Gase in Mischung mit Stickstoff ihre Linien auftreten müßten. Nach der bisher herrschenden Auffassung, wie sie Fig. 1 nach VEGARD wiedergibt, müßten in den Re-

gionen des Nordlichts von 100 bis 120 km Höhe die Atmosphäre hauptsächlich aus Wasserstoff (93%) und Helium (5%) bestehen. VEGARDS Spektraluntersuchungen haben aber gezeigt, daß eine solche Wasserstoff-Heliumschicht in diesen Höhen nicht vorhanden ist.

Die grüne Linie wurde früher einem unbekanntem leichten Gas „Geokoronium“ zugeschrieben. Aus VEGARDS Aufnahmen aber ergibt sich, daß ihre Intensität am unteren Rande ebenso groß ist wie am oberen, ja eher nach oben relativ zu den Stickstofflinien abnimmt. Nun nimmt VEGARD auf Grund dieser Spektralphotographien an, daß diese grüne Linie zum Stickstoff gehört, der in dieser Höhe in einem besonderen Zustand ist. Dann kann aber das „Geokoronium“ nicht existieren. Das Nordlichtspektrum ist also im ganzen ein Stickstoffspektrum, das für die in der Nordlichtregion vorhandenen ganz besonderen Erregungsbedingungen charakteristisch ist. Stickstoff muß nach diesen Erfahrungen ein Hauptbestandteil der Atmosphäre bis zu ihren äußersten Grenzen sein.

Wie ist nun das Vorhandensein von Stickstoff in den hohen Atmosphärenschichten zu erklären? Die Annahme, er werde durch höhere Temperatur in jenen Höhen gehalten, ist sowohl sehr unwahrscheinlich als auch theoretisch widerlegbar, wie VEGARD zeigt. So bleibt nur die Annahme, daß hier elektrische Kräfte vorhanden sind, die der Schwere entgegenwirken, da ein merklicher in gleicher Richtung wirkender Lichtdruck nicht vorhanden ist. Die theoretische Auswertung dieser Annahme ergibt, daß eine elektrisch geladene Atmosphäre in diesen Höhen nur denkbar ist, wenn der Stickstoff vielleicht um eine elektrische Ladung als Keim zu kleinen Tropfen oder Kriställchen kondensiert ist. Dies ist möglich, da der Stickstoff bei ca. 60° abs., welche Temperatur man in jenen Höhen annehmen kann, erstarrt. Demnach werden wir zu der Vermutung geführt, daß in den oberen Atmosphärenschichten wenigstens teilweise elektrisch geladener Stickstoffstaub schwebt.

Diese Annahme VEGARDS, in größeren Höhen befinde sich fester Stickstoff, bietet die Möglichkeit, einige kosmische Erscheinungen einfacher als bisher erklären zu können. Aus den Beobachtungen an Nordlichtern ergibt sich, daß bis ca. 90 km Höhe die Dichte der Atmosphäre schnell, dann bis 700 km nur ganz allmählich abnimmt. Hieraus gewinnt VEGARD eine Stoffverteilung in der Atmosphäre, wie sie Fig. 2 (nach VEGARD) veranschaulicht. Danach hat z. B. die Luft in 100 km Höhe 97% staubförmigen Stickstoff und nur 3% ebenfalls staubförmigen Sauerstoff; bei ca. 90 km bzw. 85 km Höhe wird der Stickstoff bzw. Sauerstoff gasförmig und letzterer nimmt von hier ab mit abnehmender Höhe allmählich an Menge zu. Erst unterhalb 16 km Höhe treten merkliche Mengen Kohlensäure und Argon hinzu.

Es liegt nun nahe, das Spektrum des Stickstoffs, das doch bei Zimmertemperatur viel mehr Linien aufweist als die Nordlichtspektren zeigen

und in dem doch die grüne Linie fehlt, mit sinkender Temperatur zu untersuchen. Derartige Forschungen, die im Laboratorium nur sehr schwer zu bewerkstelligen sind, sind seit mehreren

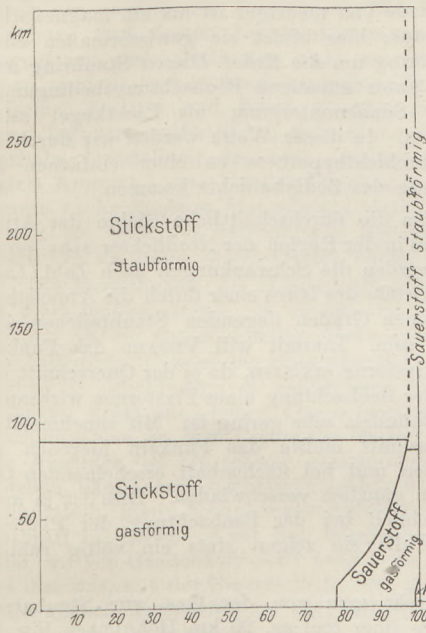


Fig. 2.

Jahren im Gange. Aus den früheren Ergebnissen ging schon hervor, daß mit sinkender Temperatur die Zahl der Stickstofflinien abnimmt und die Banden immer mehr zusammenschrumpfen. So bestand die Hoffnung, daß bei der Temperatur des festen Stickstoffs dieser im elektrisch geladenen Zustand der Träger der wenigen im Nordlichtspektrum beobachteten Bandenlinien und auch der grünen Linie ist.

Daß der Stickstoff in fester Form tatsächlich die grüne Nordlichtlinie aussendet, hat kürzlich VEGARD (*Proc. Roy. Soc. Amsterdam* 27, 113, 1924; vgl. *Die Naturw.* 12, 616, 1924) in sorgfältigen Untersuchungen, die er in dem Kälte-laboratorium von Prof. KAMERLINGH ONNES in Leyden ausführte, nachgewiesen. Er ging dabei von folgender Überlegung aus: Wenn die oberen Schichten der Atmosphäre aus festem Stickstoff bestehen, so muß sich die im Nordlicht beobachtete Erscheinung dadurch nachahmen lassen, daß man festen Stickstoff mit Kathodenstrahlen bombardiert. Sein für diese Versuche verwendeter Apparat ist in Fig. 3 skizziert.

Er besteht aus 2 mit Schliff ineinandergesetzten Teilen I und II. Teil II dient zur Erzeugung der Kathodenstrahlen. Die Wehneltkathode 10 wird von dem über 13 von der Batterie E_1 gelieferten Strom geheizt. Die Spannung zwischen Kathode und Anode 9 kann durch R_2 reguliert werden. Die durch die Anodenspannung beschleunigten Elektronen fliegen durch die Bohrung in 9, 8 und 7 auf die unter 45 geneigte

Antikathodenfläche 6, eine Kupferplatte, die das untere Ende von Teil I bildet. Sie dient dazu, die erforderlichen Tieftemperaturen herzustellen. Hierzu wird in das Kupfergefäß 2 flüssiger Wasserstoff geleitet, der den Kupferstab und damit die daran sitzende Fläche 6 stark abkühlt. 5 dient dazu, jede Wärmezufuhr von 6 fernzuhalten. Nach dem mehrfachen Evakuieren des Apparats wird durch das Vakuumgefäß Stickstoff geleitet, der sich auf 6 mit einer Temperatur von ca. 20° abs., in fester Form niederschlägt in einer auf 0,5–1 mm Dicke geschätzten Schicht. Dann wird durch die Kapillaren 16 und 17 der Stickstoffstrom abgedrosselt, bis der Druck in II einen für die Entladung günstigen Wert hat. Dabei wird der Raum über der Anode möglichst vollständig ausgepumpt. Nach einer Reihe vergeblicher Vorversuche gelang es schließlich, den Stickstoff zum grünlichen Leuchten zu bringen. Mit einem lichtstarken Quarzspektrographen wurde dann das Spektrum mehrfach photographiert. Die so gewonnenen Spektren zeigen eine weitgehende Ähnlichkeit mit dem Nordlichtspektrum, die sich nicht nur auf die Wellenlängen, sondern auch auf die Intensitätsverteilung, die VEGARD photometrisch gemessen hat, erstreckt. Interessant ist, daß der Stickstoff stark phosphoresziert in diesem grünen Licht nach Abschalten der Elektronenbestrahlung. Auch hierin ist eine Übereinstimmung mit dem Nordlicht zu erblicken; denn auch nach Aufhören des eigentlichen Nordlichts leuchtet die Stelle des Himmels noch einige Minuten in grünlichem Licht.

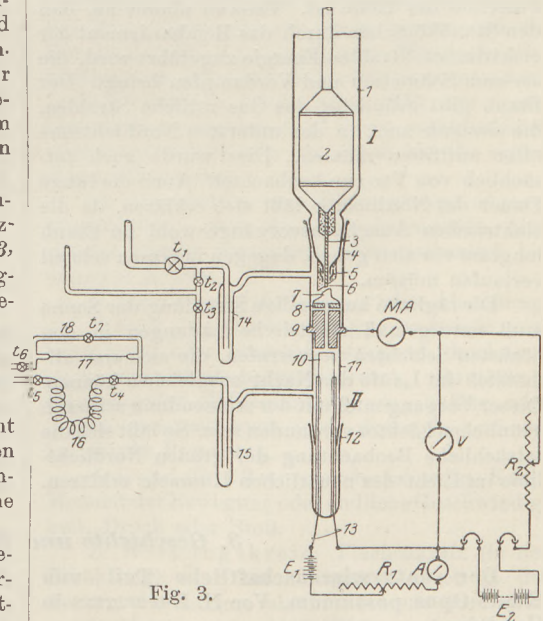


Fig. 3.

Es soll hier nicht unerwähnt bleiben, daß J. FRANCK und G. CARIO bei ihren noch im Gange befindlichen Untersuchungen, wie G. CARIO in einer Zuschrift an die Naturwissenschaften (12, 619, 1924) mitteilt, mit gasförmigem Sauer-

stoff, den sie elektrisch zum Leuchten anregen, Spektren erhalten haben, die den von VEGARD erhaltenen auf den ersten Blick zu gleichen scheinen. CARIO glaubt daher, daß dem Stickstoff bei VEGARD'S Versuchen vielleicht Spuren von Sauerstoff beigemischt waren als Verunreinigung. Dies verneint aber VEGARD in den Naturwissenschaften (12, 673, 1924); er hält seinen aus Bariumacid gewonnenen Stickstoff für ganz rein, zumal die spektrophotographischen Aufnahmen erst nach mehrfacher Spülung des zuvor evakuierten Apparats vorgenommen wurden. Diese Meinungsverschiedenheiten werden weitere beiderseitige Untersuchungen hoffentlich bald beseitigen.

Man hat beim Durchfliegen von Meteoroiden durch die Atmosphäre einen Farbenwechsel ihres Lichts vom weißlichen Grün zum Rötlichen beobachtet. Die Annahme des staubförmigen elektrisch geladenen Stickstoffs legt die Vermutung nahe, daß das grünliche Licht in diesem Stickstoffstaub entsteht. Allerdings darf man dann in dieser Schicht nicht eine thermische Strahlung des Meteoroiden annehmen, sondern eine elektrische, die durch Verdichten der Ladung am Bahnkopfe und darauffolgende Entladungen hervorgerufen wird. Erst in den tieferen dichteren Schichten der Atmosphäre geht dann die Strahlung in eine rein thermische über.

Auch die plötzlichen Farbenänderungen des Nordlichts selbst lassen sich mit dieser Theorie vereinbaren, ohne daß man zur Annahme einer Änderung der Strahlenart gezwungen wäre. Dabei ist zu beachten, daß diese Farbenänderung keine Funktion der Höhe ist. VEGARD nimmt an, daß den Staubkörnern durch das Bombardement der elektrischen Strahlen Energie zugeführt wird, die sie zum Schmelzen und Verdampfen bringt. Der Staub gibt grünliche, das Gas rötliche Strahlen, die deshalb auch in der untersten Nordlichtzone öfter auftreten müssen. Dies wurde auch tatsächlich von VEGARD beobachtet. Auch die lange Dauer der Nordlichter läßt sich erklären, da die elektrischen Ausgleichsvorgänge wohl im Staub langsam vor sich gehen, dagegen in Gasen schnell verlaufen müssen.

Die tägliche kurzwellige Strahlung der Sonne muß naturgemäß elektrische Ladungen in den höchsten Schichten hervorrufen, die sich erst allmählich im Laufe der Nacht ausgleichen können. Dieser Vorgang muß mit der Aussendung schwach grünlichen Lichtes verbunden sein. So läßt sich die tatsächliche Beobachtung der grünen Nordlichtlinie im Licht des nächtlichen Himmels erklären.

3. Geschichte und Erkenntnistheorie.

Der naturwissenschaftliche Teil von Kants *Opus postumum*. Von H. KEFERSTEIN in Hamburg.

Noch einmal soll in dem seinem Ende sich zuneigenden Kantjahr in dieser Zeitschrift auf Wunsch ihres Herausgebers der Bezielungen des großen Philosophen zur Naturwissenschaft gedacht werden durch eine kurze Würdigung

Mißt man die Höhe der Nordlichter an verschiedenen Punkten der Erde, so ergibt sich eine Zunahme der maximalen Höhe mit dem Polabstand. Daraus schließt VEGARD, daß die Staubschicht in der Richtung der magnetischen Achse der Erde viel niedriger ist als am magnetischen Äquator; hier bildet sie gewissermaßen einen Staubring um die Erde. Diesen Staubring muß man unter günstigen Beobachtungsbedingungen nach Sonnenuntergang als Lichtkegel sehen können. In dieser Weise werden wir durch die Staubschichthypothese zu einer einfachen Erklärung des Zodiakallichts kommen.

Da die durchschnittliche Dichte der Atmosphäre in der Region der Nordlichter sehr gering ist, werden die Schwankungen nach Zahl, Lage und Größe der längs einer durch die Atmosphäre gehenden Grad liegenden Staubeilchen sehr groß sein. Hiermit will VEGARD das Funkeln der Fixsterne erklären, da ja der Querschnitt des bei der Beobachtung eines Fixsternes wirksamen Lichtbündels sehr gering ist. Mit zunehmendem Querschnitt müßte das Funkeln hiernach abnehmen und bei flächenhaft erscheinenden Objekten gänzlich verschwinden. Dies ist ja auch tatsächlich bei der Beobachtung der Planeten der Fall; sie zeigen stets ein völlig ruhiges Licht.

Geht man von der Gas- zur Staubatmosphäre über (bei ca. 90 km Höhe nach Fig. 2), so ändern sich sowohl ihre elektrischen wie auch mechanischen Eigenschaften sehr schnell. An dieser Grenze werden also sowohl elektrische wie akustische Wellen reflektiert werden. Die Staubschicht bildet also möglicherweise die sog. „Heavisideschicht“, die für die Erklärung der Ausbreitung der elektrischen Wellen als leitende Hülle um die Erde angenommen wird. Sie vermag auch die beobachtete Schallverstärkung in großen Entfernungen von der Schallquelle zu erklären, wenn man annimmt, daß die Schallwellen an der unteren Grenze der Staubschicht reflektiert werden.

Nach dieser VEGARD'Schen Theorie muß der in der Atmosphäre vorhandene Wasserstoff die Erdhülle als positiv geladene Wasserstoffstrahlen verlassen, da sein Gefrierpunkt zu niedrig ist, als daß auch er schon bei der Temperatur der Staubschicht kondensiert sein könnte. Ausgeschlossen ist auch nicht, daß der Stickstoff den Wasserstoff gebunden in Form von Ammoniak enthält, jedenfalls stehen dem die Beobachtungen nicht entgegen.

A. Wenzel.

des nachgelassenen Manuskripts, soweit es sich mit dem „Übergang von den metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft zur Physik“ beschäftigt. Diese Handschrift, von der Kants Freunde und erste Biographen kurze Berichte gegeben haben, war Jahrzehnte hindurch vergessen und verschwunden, bis sie Ende der fünfziger Jahre des vorigen Jahrhunderts durch

Verkaufsangebote des Besitzers wieder in den Gesichtskreis der wissenschaftlichen Welt gerückt, durch teilweisen Abdruck in den Altpreußischen Monatsheften einigermaßen zugänglich gemacht und nach ihrem schließlichen Erwerb durch den verstorbenen Hauptpastor KRAUSE in Hamburg und dessen Veröffentlichungen zum Gegenstand einer erbitterten, nicht rein literarischen, sondern stark persönlich gefärbten Polemik zwischen KRAUSE und KUNO FISCHER wurde. Jetzt liegt eine umfängliche, äußerst sorgfältige kritische Darstellung des opus postumum von ERICH ADICKES¹⁾ vor. Da eine Drucklegung des ganzen nachgelassenen Manuskripts bisher nicht erfolgt ist, wird der nachfolgende Bericht sich wesentlich an dieses Standardwerk halten.

Die Bezeichnung der Handschrift als Opus ist stark euphemistisch, da es sich um nichts weniger als ein abgeschlossenes Werk, vielmehr um Anläufe zur Herstellung eines solchen handelt. Nichts ist druckfertig; in zahlreichen Wiederholungen kehrt das gleiche Thema wieder; die Stellungnahme zu den Problemen ändert sich; der Ausdruck ist oft schwer verständlich, der Satzbau häufig sehr nachlässig. Aber es wäre grundfalsch, hierin Symptome erlöschender Geisteskraft zu sehen. Kant hat mindestens seit 1796, wo von Greisenhaftigkeit noch keine Rede bei ihm war, mit der Niederschrift, und mit den gedanklichen Entwürfen zu der Arbeit sicher erheblich früher begonnen. Sie ist also nicht mit einer leichten Handbewegung beiseite zu schieben.

Was soll nun zunächst der Titel „Übergang von den metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft zur Physik“ besagen? Jene hatten an der Hand der Kategorientafel die a priori feststellbaren (nach Kants Überzeugung) Bestimmungen des empirisch gegebenen Begriffs der Materie und damit einen „reinen“ Teil der Physik abgeleitet. Dahin gehört die Zurückführung der Undurchdringlichkeit der Materie auf repulsive Kräfte, der Beweis für das notwendige Hinzutreten anziehender Fernkräfte, die unbegrenzte Teilbarkeit der Materie, die Erhaltung der Masse, das Trägheitsgesetz, das Gegenwirkungsgesetz. — Der eigentlichen Physik blieb die Erforschung der besonderen Kräfte vorbehalten, durch die sich uns nach Kant die Materie offenbart; so reihte sich ohne Verbindung ihr empirischer Teil an jenen reinen. Das bedeutete für den Systematiker Kant einen schwerwiegenden Mangel, und sein Nachdenken wandte sich der Aufgabe zu, die durch Beobachtung und Versuch erkennbaren Eigenschaften des Stoffs ebenfalls unter apriorische Begriffe zu bringen und damit eine Brücke von den metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft zur Physik zu schlagen. Nur so kann nach seiner Meinung die Physik zum System eines Ganzen der Erfahrung werden. Nur dadurch bleibt sie vor einem blinden Herumtappen, einer planlosen Anhäufung von

Einzelserfahrungen bewahrt, daß ihr ein aus unserer Geistesbeschaffenheit, insbesondere aus deren, Einheit in dem Mannigfaltigen des Gegebenen schaffenden, synthetischen Tätigkeiten (transzendente Synthesis der Apperzeption) abgeleitetes Schema zur Einordnung des gesammelten Materials zur Verfügung gestellt wird. Und dies muß in einer besonderen Wissenschaft, eben dem „Übergang“ geschehen.

Als ihr wesentlicher Inhalt wäre hiernach die Begründung und Aufstellung einer Topik der Kräfte bzw. Eigenschaften der Materie zu erwarten. In der Tat treffen wir lebhaft Bemühungen in dieser Richtung im Manuskript an. Sie nehmen verschiedene Ausgangspunkte. Der am meisten versprechende, wenn auch nicht gebende, dürfte die Bemerkung sein, daß den aktiven Kräften der gegenständlichen Welt reaktive Kräfte des wahrnehmenden Subjekts entsprechen müssen, die einerseits einer apriorischen Bestimmung zugänglich sind, andererseits den überhaupt erfahrbaren Kräftearten ihre Grenzen setzen. Man wird freilich sofort einwenden können, daß jene Reaktionswirkungen doch immer erst auf Grund der Objektwirkungen in die Erscheinung treten, daher nicht abzusehen sei, wie sie das Verlangte leisten sollen. Und auch bei einer Beschränkung auf „gewisse allgemeinste Gesichtspunkte, denen alle Kräfte unterworfen werden können“, fehlt die Möglichkeit, deren „erschöpfende Vollständigkeit... irgendwie zu verbürgen“ (ADICKES, a. a. O. S. 207 u. 208). Die tastenden, un abgeschlossenen Bemühungen Kants um Einteilungen der bewegenden Kräfte der Materie sind hierfür ein sprechender Beweis. Vor allem aber geht aus ihnen hervor, daß die Kategorientafel kein geeignetes Mittel zur Erreichung des erstrebten Zieles ist; kann man doch nach ADICKES (a. O. S. 208 u. 209) aus jenen Einteilungen mindestens 13 Paare zweigliedriger Gegensätze entnehmen, von denen hier die ersten 6 angeführt seien:

„1. Ursprung der Bewegung: eigene, ursprüngliche oder abgeleitet-bewegende, mitgeteilte Kräfte, dynamisch oder mechanisch bewegende Kräfte.

2. Richtung: Anziehung oder Abstoßung.

3. Ort der Bewegung: progressiv, ortverändernd oder innerlich bewegend, konkussorisch, undulatorisch, oszillatorisch, vibratorisch, Massen- oder Molekularbewegung, äußere oder innere, eventuell auch noch drehende und zirkulierende Bewegung.

4. Grad (Größe): tote oder lebendige Kraft, Moment der Bewegung oder endliche Geschwindigkeit, Druck oder Stoß.

5. Wirkungskreis: Flächenkraft (in der Berührung) oder durchdringende (auch in der Ferne); die letztere als in Substanz durchdringende Materie, oder bloß Wirkung der Materie, jene die Wärme, diese die Gravitation.

6. Subjekt der Bewegung: in Masse oder in Flusse“.

Welche allgemeinsten Eigenschaften der Materie, d. h. der Kräftekomplexe, nach Kant

¹⁾ Erich Adickes, Kants Opus postumum dargestellt und beurteilt. Berlin, Reuther und Reichard. 1920.

a priori erschließbar sind, darüber belehrt neben zahlreichen anderen folgende charakteristische Stelle (a. a. O. S. 317) der Handschrift: „Der Übergang zur Physik ist also die Vorherbestimmung (praedeterminatio) der inneren aktiven Verhältnisse des die Wahrnehmungen als zur Einheit der Erfahrung zusammenstellenden Subjekts, wobei die Vorstellung dieses Verhältnisses der Sinnesobjekte nicht empirisch ist, sondern ein Prinzip a priori der Zusammensetzung der bewegenden Kräfte zu einem System derselben in dem Begriffe einer Physik a priori bei sich führt, und zwar ein Prinzip der Einteilung a priori der bewegenden Kräfte nach dieser ihrem Verhältnisse als ponderabler oder imponderabler, koerzibeler oder inkoerzibeler, kohäsibeler oder inkohäsibeler, endlich exhaustibeler oder inexhaustibeler Materie mit ihren bewegenden Kräften, — als nach deren Leitfaden die Prinzipien der Naturforschung nach ihrem empirischen Inhalt systematisch aufzustellen sind: indem sie dem System der Kategorien folgen.“

Aber so umfänglich auch die Ausführungen des Opus postumum in dieser Richtung sind, sein Kern und Hauptstück sind nicht sie, sondern eine umfassende Äthertheorie. Und zwar will Kant sowohl einen unanfechtbaren Existenzbeweis für den Äther, als auch für zahlreiches Erfahrungsmaterial die Erklärung der Erscheinungen mit Hilfe des Äthers geben. Der Beweis für sein Dasein stützt sich auf die Unmöglichkeit der Erfahrbarekeit leerer Räume und Zeiten und vor allem auf die Voraussetzung, daß man es, streng genommen, nur mit einer allbefassenden Erfahrung zu tun habe, nicht mit Erfahrungen, die besser als Wahrnehmungen zu bezeichnen seien. Die Verknüpfbarkeit der Wahrnehmungen in einer einheitlichen Erfahrung setzt die Verknüpfung der Wahrnehmungsursachen, nämlich der bewegenden Kräfte der Materie, in einem Ganzen voraus; es muß daher „einen allbefassenden, allverbreiteten, alldurchdringenden, alles in Verbindung setzenden, kontinuierlich den Raum nicht nur einnehmenden, sondern auch erfüllenden, allbewegenden, sich selbst in allen seinen Teilen gleichförmig agitierenden und in dieser Bewegung endlos verharrenden (perennierenden) Stoff als ein Objekt der äußeren Erfahrung“ geben (a. a. O. S. 380—382). Der Stoff wird von Kant bald Urstoff, bald Elementarstoff, bald Äther, meist aber Wärmestoff genannt, jedoch unter ausdrücklicher Ablehnung einer Beziehung der letzten Bezeichnung auf das subjektive Gefühl.

Augenscheinlich läßt sich gegen den Kantischen Existenzbeweis der gleiche Einwand erheben, den Kant selbst in der Kritik der reinen Vernunft dem ontologischen Beweis für das Dasein Gottes entgegengestellt hat, daß nämlich eine Denknöwendigkeit nie ein Sein zu verbürgen vermag, daß „hundert gedachte Taler nicht hundert wirkliche Taler sind“. Entfällt so für den Äther selbst die Möglichkeit seiner apriorischen Deduktion, so natürlich erst recht für die angeblich nur durch ihn erklärbaren Tatsachen.

Als solche führt Kant an: Unter dem Kategorientitel der Quantität die Wägbarkeit der Einzelstoffe. Die Quantitätsbestimmung einer Materie sei nämlich nur mit Hilfe einer Wage möglich, und die Starrigkeit dieser beruhe nicht auf einer gegenseitigen Anziehung ihrer Teile, sondern auf der Wirksamkeit des Äthers. — Eine genauere Auseinandersetzung dieser Auffassung erfolgt unter dem Titel der Qualität, wo Kant die Verschiedenheit der Aggregatzustände, ihren Übergang ineinander, die Ursachen der Tropfengestalt und die Haarröhrchenphänomene erörtert (a. a. O. S. 483f.). Von der Beschaffenheit der durch die Ätherstöße getroffenen materiellen Teilchen hängt es ab, ob sie sich zu starren oder flüssigen, sei es „expansiven“, sei es „tropfbar flüssigen“ Körpern formen. „Der Wärmestoff wird im Flüssigen vorausgesetzt. Die Flüssigkeit selber aber in der Erstarrung“, d. h. der flüssige Zustand der Materie ist der ursprüngliche. Und „dieselbe Konkussion, welche eine Materie zur Flüssigkeit macht, ist auch die Ursache der Globosität derselben als eines Tropfbarflüssigen und der sogenannten Anziehung der Teile“, die im Falle ihres Vorhandenseins vielmehr „aller Bewegung der sich anziehenden Teile“ widerstehen würde, also keinesfalls Tropfenbildung verursachen könnte. Entsprechende Überlegungen gelten für die Erklärung der Kapillarercheinungen. Wasser soll durch die Berührung mit dem Glas eine vergrößerte Abstoßung seiner Teile untereinander und infolge dieser inneren Vibrationen eine stärkere Verdünnung erhalten, „wodurch dasselbe leichter und auf die Art gehoben wird“. — Von den Veränderungen der Aggregatzustände berücksichtigt Kant nur das Erstarren bzw. das Kristallisieren und das Schmelzen genauer. Er entwickelt dabei die Anschauung, es müsse „in einer Materie, welche starr wird, Heterogenität anzutreffen sein, wenn sie auch keine chemische Analysis darin jemals durch Zersetzung entdecken könnte“. Das Erstarren beruht auf einer Entmischung der Bestandteile, die beim Entweichen eines Teils des Wärmestoffs (Äthers) eintritt, weil er von den verschiedenen Elementen je nach ihrer Natur in verschiedener Weise gebunden war. Die Partikeln ordnen sich nach der von ihrer spezifischen Schwere und Elastizität abhängenden Schwingungsdauer zu „Fasern, Platten, Blöcken“; es entsteht ein, inneren Verschiebungen Widerstand leistendes Gefüge. Es gibt also keine feste Materie ohne Textur, und eine gänzlich homogene Flüssigkeit könnte nie erstarren. Beim Schmelzen bewirkt Zuführung von Wärmestoff (Äther) stärkere Schwingungen der verschiedenen Bestandteile, wodurch schließlich ihre Mischung und leichte Verschiebbarkeit herbeigeführt wird.

Unter dem Kategorientitel der Relation bringt Kant Kohäsion, Reibung und Metallglanz. Die Kohäsion wird aus Ätherstößen, die Reibung aus oberflächlicher Schmelzung unter Heranziehung des Polierens von Spiegeln, der Metallglanz aus der „Erregung einer Lichtmaterie“ in den Metallen erklärt.

Überblicken wir die hier kurz skizzierten naturwissenschaftlichen Gedanken des Opus postumum, so ist die Absicht, die physikalischen Vorgänge unter einem einheitlichen Gesichtspunkt zu begreifen, deutlich erkennbar. Aber das Unternehmen scheitert an dem gänzlichen Verzicht auf experimentelle Prüfung der aufgestellten Erklärungen, auf ein Zuendeführen der Probleme, kurz auf die eigentliche naturwissenschaftliche Methode. Aber sollte Kant nicht doch mit seiner

Grundidee Recht haben, daß unsere geistige Veranlagung uns bestimmte Formen der Auffassung und Darstellung des physikalischen Geschehens ebenso aufzwingt, wie unser Auge uns nötigt, Farbe und Form zu schauen? Mathematische Formeln mögen solchen Zwang verschleiern, solange man nur rechnet. Aber er wird sich immer geltend machen, sobald man die Ergebnisse an der Erfahrung prüft, und die Geschichte der Physik muß seine Spuren enthüllen.

4. Unterricht und Methode.

Arbeitspädagogik im Physikunterricht.
Von M. GEBHARDT, (Bericht auf der 26. Jahresversammlung des Deutschen Vereins zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts in Heidelberg, 13.–16. April 1924).

Neues, das noch im Werden begriffen ist, pflegt sich in Zeiten, wie wir sie jetzt erleben, mehr durch Revolution wie durch Reformation durchzusetzen. Revolutionen verlaufen aber geräuschvoll und poltern mit Schlagworten über die Bühne des Geschehens. So klingt jetzt nun schon seit Jahren überall in der pädagogischen Welt der Kampfruf: Arbeitsschule! Arbeitsschule! Als ob es dieses Rufes als eines Kampfrufes wirklich bedürfe! Wir haben uns hier nicht darüber auseinanderzusetzen, wie sich die Neu- und Altsprachler, die Deutschlehrer, die Geschichtslehrer und andere auf neue Unterrichtsgrundsätze umstellen. Wir Physiker sind in der glücklichen Lage, Vorhandenes und bereits Bewährtes als Grundlage für weiteren Aufbau und Ausbau in der Chronik unseres Unterrichts vorzufinden. Insbesondere unser Verein hat hier Vorbildliches längst geschaffen. Es erscheint mir als eine Ehrenpflicht, hier nur an ERNST GRIMSEHL zu erinnern, der lange Zeit hindurch die Seele unsrer physikalischen Sektion war und mit genialer Erfindungskraft alljährlich neue Anregungen gerade für physikalischen Arbeitsunterricht uns geschenkt hat.

Was uns also obliegt, ist lediglich eine Erweiterung und Vertiefung des Vorhandenen und eine Verpflanzung auch dorthin, wo bisher der Staub vergangener Zeiten noch nicht ganz weggefegt wurde.

Schöpferische Selbstbetätigung soll an die Stelle rein aufnehmender Stoffaneignung treten, dazu eine gewisse Freiheit der Betätigung und Steigerung der Arbeitsfreude, aus der schließlich eine Arbeitsgemeinschaft der Klasse herauswächst. Der Schüler soll nicht mehr, befangen im Autoritätsglauben, fertige Wissenschaft als etwas Starres und endgültig Geformtes hinnehmen. Vielmehr soll er in alle Erkenntnis organisch hineinwachsen, er soll innerlich erleben, was der Unterricht bringt und er soll durch des Lehrers Kunst selbst zum Forscher und Entdecker erzogen werden. Davon an späterer Stelle mehr.

Die älteste Form, in der sich die Arbeitspädagogik im physikalischen Unterrichte offenbart hat, ist das Schülerpraktikum. Viel ist

darüber in neuerer Zeit gesprochen und geschrieben worden. Über den Wert physikalischer Schülerübungen ist wohl kein weiteres Wort zu verlieren. Ich wüßte nicht einen Fachkollegen zu nennen, der sich ihnen gegenüber ablehnend verhielte. Aber unstritten ist immer noch die Frage, wie sie in der Praxis auszugestalten und in den Gesamtunterricht einzugliedern sind.

Es könnte nun die Aufstellung ins einzelne gehender Paragraphen in Frage kommen, die allgemein verbindlich werden sollen. Nach meinem Geschmack wäre das nicht. Halte ich es doch für eine der schönsten und wertvollsten Errungenschaften der Neuzeit, daß dem Lehrer ein erweiterter Spielraum für das Auswirken seiner Persönlichkeit gegeben ist. Eines schickt sich nicht für alle. Jeder sehe, wie ers treibe. Wieviel Wahrheit auch im Lande der Pädagogik liegt in diesem Worte. Und doch sollte ein Rahmen gezimmert werden, der eine verwirrende Vielheit verhindert und allgemein Bewährtes verbindlich macht.

Wann sollen die Übungen beginnen? Gewiß nicht zu spät, aber wohl auch nicht schon auf der ersten Unterstufe. Eine gewisse Reife in der Handfertigkeit und im physikalischen Denken erscheint uns notwendig, wenn Ersprießliches geleistet werden soll. Die Gefahr liegt nicht fern, daß das Praktikum in einer Art Werkunterricht verflacht, daß der Tertianerschematisch nachahmt, was ihm erzählt und vorgemacht wird, daß er von eigentlicher Physik nicht viel lernt. Denn wir müssen ja doch immer den Durchschnittsschüler im Auge behalten und auch den schlecht Veranlagten nicht hintanstellen. So möchte ich denn vorschlagen, in Untersekunda einzusetzen. Das wäre schon ein wesentlicher Fortschritt. Denn noch heute beginnen die Übungen an vielen Anstalten, wenigstens in Sachsen, erst in Unterprima, erstrecken sich also nur auf die beiden letzten Schuljahre. Natürlich besteht ein Unterschied zwischen humanistischen und Realanstalten. An den ersteren wird es immer mehr Schwierigkeiten machen, schon in Mittelklassen die Zeit für Schülerübungen in naturwissenschaftlichen Fächern herauszuschlagen.

Weiterhin sollen die Schülerübungen zu einem pflichtmäßigen Unterrichtsfache werden. Das ist heute vielfach noch nicht der Fall und soweit ich die Verhältnisse übersehe, wird es noch manchen Kampf kosten, ehe dieses erstrebenswerte Ziel erreicht ist.

Ferner: Einzelbeschäftigung mit verschiedenen Aufgaben oder gleiche Front? Diese Frage ist nicht kurzerhand zu beantworten. Weh uns, möchte ich auch hier ausrufen, daß wir den Krieg verloren haben und ein armes Volk geworden sind! Ich weiß ja nicht, ob es in bezug auf öffentliche Mittel überall so traurig, ja trostlos aussieht wie bei uns in Sachsen. Jahrelang darben nun schon die Physiksammlungen der höheren Schulen. Nichts oder fast nichts wird zu ihrer Instandhaltung bewilligt. Ja, man verlangt hier und da sogar Abgabe von Apparaten an Anstalten, die besonders kläglich Not leiden. Die Schülerbeiträge der Inflationszeit sind zu nichts zerrennen und die wenigen Goldmark, die jetzt wieder eingehen, reichen kaum aus, um die Schäden eines Jahrzehnts ein wenig zu beheben. Wie soll man da für 30 oder mehr Schüler Apparate, Gerätschaften und Material 15 und mehr mal beschaffen? Gewiß, meine Herren, ist das Arbeiten in gleicher Front das Ideal, das uns wohl allen vorschwebt. Bei wahlfreiem Unterricht läßt es sich noch eher verwirklichen. Da hat man etwa alle Zutaten 5 oder 6 mal und beschäftigt 10 oder 12 Praktikanten, die man aus der Zahl der sich Meldenden auswählt. Ist man großer Idealist und hat man an 26 Pflichtstunden noch nicht genug, so kann man ja in 2 Schichten arbeiten lassen. Ob viele Kollegen dies Opfer bringen werden? Ich möchte es keinem zumuten.

Nun kann man mir einwerfen: Man entschieße sich zu einer „*physica pauperum*“ und arbeite mit Dingen, die fast nichts kosten, die wohl auch der Schüler vom Hausrats daheim mitbringt oder die im Handfertigkeitsunterricht billig hergestellt wurden. Herr DANMEYER-Hamburg hatte uns 1921 in Göttingen eine sehr hübsche Ausstellung von einfachen Apparaten aufgebaut, die seine Schülerinnen selbst angefertigt hatten. Ich erkenne zwar den Wert solchen physikalischen Handfertigkeitsunterrichts durchaus an, möchte aber davor warnen, durch primitive Vorrichtungen, die nur selten exakt funktionieren können, Fragen an die Natur zu stellen. Die Antwort wird häufig nicht richtig ausfallen und muß dann Verwirrung in den Köpfen anrichten. Ein Praktikumsapparat soll einfach, übersichtlich und handfest gebaut sein, muß aber die Möglichkeit gewähren, in bescheidenen Grenzen quantitative Ergebnisse zu erzielen. Es fehlt heutzutage nicht an Firmen, die in diesem Sinne Erfreuliches leisten und die sich bemühen, billig zu liefern. Wenn eben nur nicht meist die bescheidensten Mittel fehlten! So legt man die Kataloge seufzend aus der Hand und ruft sich zu: Entbehren sollst du, sollst entbehren! --

Ich meine also, man soll zwar immer wieder die Forderung erheben, die Schulen in den Stand zu setzen, in besonderen Räumen für alle Schüler einer Klasse in gleicher Front verbindliche Schülerübungen abzuhalten, soll aber, wo das bei der Not der Zeit unmöglich ist, in erzwungener Einschränkung mit kleinen Gruppen an guten Apparaten gleichzeitig verschiedene Aufgaben möglichst aus verwandten Gebieten lösen lassen. Dabei

ist Sorge zu tragen, daß möglichst jeder Schüler dazu kommt, im Laufe des Semesters eine festgelegte Anzahl von einfachen Versuchen anzustellen; Versuche, bei denen qualitative und quantitative Ergebnisse zustandekommen und wodurch gesetzmäßige Zusammenhänge selbständig aufgefunden werden.

Neben diesen Versuchen empfehlen sich noch solche schwieriger Art, die aber freiwillig sein sollen und nur Gruppen guter Schüler zugemutet werden. Ich habe damit gute Erfahrungen gemacht und möchte die Anregung, die dabei auch für den Lehrer herauspringen, nicht missen.

Bisher war nur von solcher praktischer Betätigung in besonders eingerichteten Räumen die Rede, die als Ergänzung des eigentlichen Physikunterrichts planmäßig angesetzt ist. Neuerdings wird nun auch die Vornahme von Einzelversuchen auf den Schulbänken während des eigentlichen Unterrichts empfohlen, und zwar in gleicher Front. Herr MAEY-Bonn z. B. tut dies in einem Aufsätze im 1922er Jahrgange der Unterrichtsblätter für Mathematik und Naturwissenschaften. Er hatte zu der Bonner Tagung hierzu ersonnene Vorrichtungen ausgestellt und es ist erstaunlich, wieviele, teilweise recht schwierigen Problemen dienende Apparaturen er da zusammengebracht hatte. Er gibt sie den Schülern gebrauchsfertig in die Hand und läßt immer zu Zweien damit arbeiten, selbst in Klassen bis zu 40 Schülern, und er nimmt selbst die recht störende Schräge der Bankplatten in Kauf. Freilich kommt er ohne Ständer, Muffen, Haken und andere Ansatzvorrichtungen nicht aus. Gern hätte ich einer solchen Stunde einmal beigewohnt, da ich mir aus bloßer Beschreibung von ihrem Verlaufe keine richtige Vorstellung machen kann. Zweifellos ist hier der Forderung der Arbeitspädagogik in sehr weitgehendem Maße entsprochen. Aber ich glaube, man muß sich vor Übertreibungen hüten. Wohl kann gelegentlich einmal so verfahren werden. Ich erinnere mich da an sehr hübsche Versuche über die Gesetze der schiefen Ebene, über gleichförmige und beschleunigte Bewegung mit Hilfe von Stahlkugeln und Wellpappe. Es war zur Hundertjahrversammlung der Naturforscher (im Herbst 1922) in Leipzig, wo Herr FREY sein interessiert aufhorchendes Auditorium damit erfreute. Warum soll auch nicht einmal eine Thermometermessung oder eine Beobachtung am Magneten von allen Schülern während des Unterrichts ausgeführt werden?

Aber, meine Herren, wir wollen doch ja nicht den ganzen Physikunterricht in solche Betätigung aufgehen lassen! Ich möchte dem auf das Experiment aufgebauten wohl vorbereiteten Lehrvortrage des Lehrers auch heute noch grundlegende Bedeutung zumessen. Freilich soll er nicht in Vorlesungen ausarten, wie sie die Hochschulen bieten. Rede und Gegenrede, Frage und Antwort sollen ihn durchsetzen und sollen verhüten, daß er über die Köpfe der Schüler wie ein Kinofilm flimmernd und suggerierend hinwegrollt. Er soll

sich dem Verständnis und den Wünschen der Schüler anpassen, soll sein Tempo nach dem Stande der Klasse regeln und und sich davor hüten, eine Enzyklopädie der Physik in gedrängter Kürze zu geben. Er soll nicht zu mathematisch werden und immer das Experiment in den Mittelpunkt stellen.

Wenn nun auch einzig nur der Lehrer der Meister sein kann, der verwickeltere Versuchsanordnungen beherrscht, so läßt sich doch auch sein Lehrvortrag im Sinne der Arbeitspädagogik verwenden. Mir ist bekannt, daß es Lehrer gibt, die beim Experimentieren Schüler hervorrufen und von ihnen kleine Handgriffe, die unwesentlich sind, ausführen lassen. Da muß der eine auf einen Knopf drücken, damit eine Elektrolyse einsetzt, ein anderer muß eine Linse verschieben, bis ein scharfes Bild entsteht, usw. Ich halte solche Betätigung der Schüler für zwecklos. Sie lernen dabei nichts, kaum eine geringe Geschicklichkeit im Ausführen einfacher Anordnungen. Dagegen wird man Thermometer und andere Meßinstrumente, die wegen zu kleiner Skalenteile von der ganzen Klasse nicht übersehen werden können, ablesen lassen, damit kein Mißtrauen gegen die Angaben des Lehrers Platz greifen kann. Solches Mißtrauen ist sonst heilsam und soll sogar anerzogen werden. Zu diesem Zwecke führe ich selbst manchmal einen Versuch fehlerhaft aus und warte gespannt auf das Einsetzen des Widerspruches, der immer von einzelnen ausgeht und erst allmählich sein Echo in der Klasse findet.

Anders steht es mit der Ausführung von Versuchen, die einfach sind, aber selbständiges Handeln und Nachdenken erfordern. Sehr geeignet sind hier beispielsweise Versuche aus der Elektrostatik. Man fordere einen Schüler auf, vorzutreten und ein Elektroskop positiv zu laden oder Influenzvorgänge in vorgeschriebenem Sinne herbeizuführen. Auch Schaltungen an einer Meßbrücke, Polbestimmungen oder Abstimmung von Saiten und Pfeifen können sehr wohl mit pädagogischem Erfolge Schülern überlassen werden. Weiterhin kann man auch auf besonders eingedrißte Familienvorzügen verzichten und sich bei der Vorbereitung einer Experimentalstunde von allen Schülern der Klasse der Reihe nach helfen lassen. Tut man das an freien Nachmittagen, so raubt man bei einer größeren Klasse dem einzelnen Schüler nur wenig freie Zeit und hat die schönste Gelegenheit, in persönlicher Fühlungnahme den einzelnen individuell zu fördern. Ein nicht zu unterschätzender Vorteil!

Und nun noch ein letztes! FRIEDRICH POSKE sagt in seiner Didaktik des physikalischen Unterrichts, man soll den Sinn für eine „Problemphysik“ wecken. Hier bahnt sich meines Erachtens eine Arbeitspädagogik in weiterem, ich möchte sagen, höherem Sinne an. Denn wurde nicht bisher das Hauptgewicht auf die Betätigung der Hand des Schülers gelegt? Wurde nicht Arbeit immer im praktischen Sinne verstanden, wenn auch natürlich dem Denken dabei eine wesentliche Rolle zu-

erteilt war? Muß es ausdrücklich gesagt werden, daß eine solche primitive Form des Begriffes „Arbeitsunterricht“ nicht dem Wesen der höheren Schule entspricht? POSKE trifft das Richtige, wenn er an Stelle des Vortragens systematischer Weisheit die freie geistige Arbeit, gruppiert um Einzelprobleme, gesetzt wissen will. Wie er selbst sagt, will er damit aller deduzierenden und zu frühzeitig systematisierenden Physik den Boden entziehen. Das setzt allerdings voraus, daß einer unserer modernsten Wünsche erfüllt werde, nämlich, daß der Lehrer der Oberstufe von allzustrenger Bindung an einschnürende Reglements befreit werde.

Ich möchte noch einen Schritt weitergehen. Wie ich in einem Aufsätze dieser Zeitschrift (35, 1—9; 1922) des näheren ausgeführt habe, empfehle ich eine Art eklektischen Unterrichts. Man beschränke sich nicht darauf die einzelnen Paragraphen seines Lehrbuchs mit gleicher Gewissenhaftigkeit zu erledigen¹⁾. Man habe den Mut, den Rahmen zu sprengen und neben einem Überblick über den vorgeschriebenen Stoff ein bestimmtes Kapitel herauszuwählen und an ihm den Schüler erfahren zu lassen, was „Physik“ eigentlich ist. Das will sagen, daß der Schüler mit dem Werdegang und der Arbeitsmethode unserer Wissenschaft vertraut gemacht werden soll. Daß er in die Werkstatt des Forschers, in seine Originalarbeiten, sein Ringen um die Wahrheit eingeführt werden soll. Daß er auch einmal Spezialversuche von geschichtlichem Werte vorgeführt bekommen und im Praktikum durch eigene Arbeit kennen lernen soll. So habe ich in verschiedenen Jahren in Oberprima einmal die Farbenlehre, auf der Linie Grimaldi, Newton, Goethe, Schopenhauer, Helmholtz, Hering, Ostwald, — ein anderes Mal die Lehre vom Wechselstrom, dann wieder einmal die Atomistik, oder die Vorgänge im Vakuumrohr in den Mittelpunkt des Unterrichts gestellt. Immer habe ich dabei auf die selbständige Mitarbeit der Schüler größten Wert gelegt.

Noch einen Schritt weiter geht ERICH GÜNTHER-Dresden. Er hat das Wort Forschungsunterricht geprägt²⁾ und dem Arbeitsunterrichte damit neue Bahnen gewiesen. In der Literatur noch nicht bearbeitete, neuartige Probleme sollen vor der Arbeitsgemeinschaft Lehrer-Schülerexperimentell und theoretisch der Lösung entgegengeführt werden. Inwieweit ein abgeschlossenes Ergebnis dabei erzielt wird, ist nebensächlich. Selbstzweck bleibt die dabei geleistete Forschungsarbeit, wenn es erlaubt ist, diesen Ausdruck auf solches Wahrheitsschürfen im kleinen zu übertragen. Selbst im nicht günstigen Falle ist die

¹⁾ Hat doch Kerschensteiner in dem Verein z. Förd. d. math. u. naturwiss. Unterrichts zu München 1913 in einem glänzenden Vortrage über Arbeitsunterricht sogar von einer „Seuche der Komplettheit“ gesprochen!

²⁾ Vgl. Günthers Ausführungen in den Unterrichtsbl. f. Math. u. Naturw. 28 (1922), S. 80—84, sowie in dieser Zeitschr. 35 (1922), S. 56.

aufgewendete Zeit und Mühe nicht verloren, da schon das emsige Forschen nach neuen Wegen und der unverdrossene Kampf gegen die Hindernisse und die Tücke des Objekts reichen erzieherischen Gewinn bringen müssen. Dazu kommt, daß sich hierbei der Lehrer auf das Niveau des Schülers herabbeugt, oder besser gesagt, diesen auf höhere Warte zu sich heraufzieht. Schranken verschwinden oder werden unsichtbar und die Folge ist ein brennender Eifer der Jünger, es dem Meister gleichzutun.

Und dabei scheint mir das Wort „Arbeitspädagogik“ noch einer letzten, vielleicht nicht

so offen daliegenden Deutung fähig zu sein. Ich meine, der Lehrer selbst tritt aus dem Bannkreise herkömmlicher Lehrtätigkeit hinaus in neues freies Land. Seine Schüler sind es, die ihm neue Methoden erarbeiten, die ihm neue Wege weisen, Wege, die Jahr für Jahr in andere, aber immer fruchtbare Gefilde führen. Und über der innerlich verbundenen Arbeitsgemeinschaft weht das Siegesbanner mit der Aufschrift: „Tod der Langenweile! Vorwärts und aufwärts in ungehemmtem Streben vom Guten zum Besseren! Fortschreiten mit der Zeit und immerdar jung bleiben mit der Jugend!“ —

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Physikalisches Handwörterbuch. Herausgegeben von A. BERLINER und K. SCHEEL. Mit 573 Textfiguren, IV und 903 S. Berlin, Julius Springer, 1924. Geb. G.M. 39.— / Dollar 9.30.

Unter Mitwirkung von nicht weniger als 59 Fachgelehrten ist dieses verdienstvolle Werk geschaffen worden. Es soll nach der Absicht der Herausgeber über die Einzelheiten der Physik und der physikalischen Technik eine erste Belehrung liefern, es geht aber weit darüber hinaus, indem es über den heutigen Stand der physikalischen Forschung überhaupt eine zusammenfassende, nach alphabetischen Stichworten geordnete Darstellung gibt. Es wird somit auch für den Physiker selbst von Wert sein, zugleich auch für Physiologen, Chemiker, Ingenieure und besonders für die Lehrer der Naturwissenschaften an höheren Lehranstalten. Die Mitarbeiter alle namhaft zu machen verbietet die Rücksicht auf den Raum; namentlich sei erwähnt, daß die Relativitätstheorie von PHILIPP FRANK, die Wärmetheorie von F. HENNIG, die Radioaktivität von K. F. KOHLRAUSCH, die Quantentheorie von SMEKAL, die Akustik von E. WAETZMANN, die Lehre von den elektrischen Schwingungen und Wellen von A. MEISSNER bearbeitet sind. Besondere Beachtung verdienen auch die optischen Beiträge von v. ROHR und seinen Jenenser Mitarbeitern. Welche Schwierigkeiten die Herausgeber zu überwinden hatten, um die Beiträge von den Mitarbeitern zusammenzubringen, davon gibt das Vorwort einige Andeutungen. Um so mehr sind sie zu dem Gelingen des Werkes zu beglückwünschen, wenn auch die Vollständigkeit aus den angegebenen Gründen noch zu wünschen übrig läßt.

P.

Lehrbuch der Physik. Von O. D. CHWOLSON. 2. verb. u. verm. Aufl. III. Bd. Die Lehre von der Wärme, 2. Abteilung. Herausgegeben von GERHARD SCHMIDT. Mit 110 Abbildungen. 460 S. Braunschweig, Fr. Vieweg & Sohn, A.-G., 1924. Mk. 15.50, geb. Mk. 18.—.

Über die Neubearbeitung des gesamten Bandes ist schon in ds. Zeitschr. 36, 65 (1923) berichtet worden. Die vorliegende Abteilung umfaßt die Grundlagen der Thermodynamik und deren Anwendung auf die verschiedenen Zustands-

änderungen, die Eigenschaften gesättigter und ungesättigter Dämpfe nebst Hygrometrie, endlich die Lehre vom Gleichgewicht sich berührender Körper, im besonderen auch die Phasenregel und Plancks Thermodynamische Theorie verdünnter Lösungen.

P.

Lehrbuch der Physik. Von Dr. BERNHARD DESSAU, o. Professor der Physik a. d. Universität Perugia. Vom Verfasser aus dem Italienischen übertragen. Zweiter Band: Optik, Elektrizitätslehre. Mit 554 Abbildungen im Text und einer Spektraltafel. Leipzig, Joh. Ambrosius Barth, 1924, S. 671—1627. G.-M. 30.—, geb. G.-M. 32.—.

Dieser zweite Band übertrifft den ersten (vergl. ds. Zeitschr. 35, 240) beträchtlich an Reichhaltigkeit namentlich in der Elektrizitätslehre. Hier haben die modernen Gebiete: Elektrische Schwingungen, Elektro- und Magneto-optik, Elektrizitätsleitung in Gasen, Röntgenstrahlen, Radioaktivität, Ionen und Elektronen recht eingehende Darstellung gefunden, deren Klarheit Anerkennung verdient. Den Schluß bildet ein Kapitel „Vom Weltbild der heutigen Physik,“ sowie das periodische System der Elemente, das Rutherford-Bohrsche Atommodell und die Quantentheorie, endlich auch die Relativitätstheorie.

P.

Der Kugelblitz. Von Oberstudienrat Dr. WALTHER BRAND in Marburg a. L. (Probleme der kosmischen Physik, herausgegeben von CHR. JENSEN und A. SCHWASSMANN, Bd. 2/3.) Mit 2 Textabbildungen und 1 Tafel. Hamburg, Henri Grand, 1923. 170 S. G.-M. 7.20.

Der Verfasser weist nach, daß der Kugelblitz weder auf Sinnestäuschung beruhen, noch eine Meteorerscheinung sein kann, sondern ein elektrisches Problem besonderer Art ist. Er zählt dann 215 Berichte über Kugelblitze aus dem letzten Jahrhundert auf, die meisten davon in wörtlicher Anführung. Bei sorgfältiger kritischer Sichtung ergibt sich eine Reihe von Erfahrungssätzen, die als sicherstehend angesehen werden können: daß Kugelblitze länger dauernde elektrische Entladungen sind, meist rote leuchtende Kugeln von 10—20 cm Durchmesser, die ein zischendes, summandes oder flatterndes Geräusch

hören lassen, eine Dauer von 1 Sekunde bis zu mehreren Minuten, am häufigsten von 3 bis 5 Sekunden haben, nach dem Erlöschen einen Nebel von scharfem Geruch hinterlassen; daß sie an der Wolkenbasis sichtbar werden oder auch in der Luft freischwebend entstehen, sehr häufig, nachdem ein Initialblitz vorausgegangen ist, an dessen Einschlagstelle sie (einzeln oder zu mehreren) auftreten; daß ihre Geschwindigkeit nahe am Erdboden oder in geschlossenen Räumen etwa 2 m/sec. beträgt usw. Von den zahlreichen Erklärungsversuchen verdient dem Verfasser zufolge nur die Töplersche auf Versuche gegründete Theorie Beachtung. Danach beginnt die Entladung mit einem Linienblitz, dem Initialblitz; dieser schafft einen Entladungskanal, in dem es unter besonderen Umständen infolge Nachströmens von Elektrizität zur Bildung einer Leuchtmasse von Kugelform kommen kann. Diese Theorie vermag in der Tat einen Teil der Eigenschaften der Kugelblitze gut zu erklären, doch bleibt noch vieles weiterer Forschung vorbehalten. Einen Weg weisen Lichtbilder von Entladungsercheinungen bei Kurzschluß eines Generators, die von einem schwedischen Ingenieur A. Nielsen aufgenommen und dem Buche beigegeben sind.

P.

Axiomatik der relativistischen Raum-Zeit-Lehre. Von Dr. HANS REICHENBACH, Privatdozent a. d. Techn. Hochschule Stuttgart. „Die Wissenschaft“. Bd. 72. F. Vieweg u. Sohn A.-G., Braunschweig 1924. X und 162 S. Geh. G.-M. 6.—, geb. G.-M. 7.50.

In diesem neuen Buche REICHENBACHS handelt es sich weder um eine Darstellung der Relativitätstheorie noch um ihre philosophische Beurteilung. Der innere logische Aufbau der Theorie soll gegeben und das Ineinander von Begriff und Erfahrung aufgelöst werden, um so physikalische Klarheit zu erhalten und auch für die Erkenntnistheorie eine durchsichtige Grundlage zu schaffen. Bei dem Streben nach klaren logischen Verhältnissen hat sich in der Mathematik die Methode der Axiomatik bewährt. Für die Physik bietet sich nun aber insofern eine Schwierigkeit, als die Bestätigung durch die Erfahrung die notwendige Bedingung jedes physikalischen Systems ist. Die Definition in der Physik kann daher nicht reine „Begriffsdefinition“ sein, da sie erst brauchbar wird, wenn dem Begriff ein Realding zugeordnet wird. Auch das Axiom muß auf Erfahrung bezogen sein. Um diese Beziehung recht deutlich hervortreten zu lassen, stellt REICHENBACH einfache Tatsachen als Axiome an den Anfang („konstruktive Axiomatik“), benutzt also nicht das andere, auch schon bewährte Verfahren, mit Prinzipien von hoher Abstraktion zu beginnen, die durch ihre Folgerungen bestätigt werden („deduktive Axiomatik“). Im einzelnen schlägt REICHENBACH dabei den Weg ein, daß er zunächst nur mit den Mitteln der geometrischen Optik die raum-zeitliche Metrik definiert und eine „Lichtgeometrie“ aufbaut. Es gelingt ihm, die Atomuhr und die Wellenlänge zu vermeiden und auch

die topologischen Verhältnisse (früher-später usw.) der Axiomatik zu unterwerfen. Erst dann wird mit Hilfe von „starrten Stäben“ und „natürlichen Uhren“ die Grundlage der „Körpergeometrie“ geschaffen. Der Grundgedanke der Relativitätstheorie läßt sich dann darin sehen, daß Licht- und Körpergeometrie identisch sind. Das Fortschreiten von der speziellen zur allgemeinen Relativitätstheorie bedeutet nur den Verzicht auf bestimmte metrische Besonderheiten (gleichförmig-geradlinig bewegte starre Bezugssysteme), während der topologische Charakter von Raum und Zeit erhalten bleibt. Neben diesen Ergebnissen werden die philosophischen Bemerkungen des Verfassers von Interesse sein. Wir befinden uns hier auf einem Grenzgebiet zwischen Physik und Erkenntnistheorie, und so wird das Buch REICHENBACHS zugleich ein Beitrag zu dem von Schlick und ihm vertretenen relativistischen Empirismus. Es werden die extremen Fassungen des Positivismus vermieden und wird den Begriffen die gebührende Stellung eingeräumt, wenn man auch in ihnen nur hypothetische Ansätze und Konventionen sieht, die immer von der Erfahrung abhängig bleiben. Zugegeben wird, daß in jeder Tatsachenbehauptung bereits eine Deutung steckt, daß das subjektive Koinzidenzerlebnis für die Physik nicht ausreichend ist: letzten Endes aber begnügt man sich zur Lösung des „Anwendungsproblems“ mit einem Behelf, mit der Approximation, mit der Behauptung, daß es „relative Invarianten“, „elementare Tatsachen“ gibt, d. h. Tatsachen, die in weitem Umfang von jeder Interpretation unabhängig sind. Damit wird aber das Problem nicht gelöst, sondern nur verschoben, und die Grundlagen der Physik bleiben prinzipiell unsicher. Hier liegen Ansatzpunkte für die philosophische Diskussion, die durch das lesenswerte Buch sicher angeregt werden wird. Sellien.

Einführung in die Elemente der höheren Mathematik und Mechanik. Von Dr.-Ing. Dr. HANS LORENZ, o. Prof. an der Techn. Hochschule zu Danzig. Mit 126 Abbildungen. Zweite, verbesserte Auflage. 176 S. Berlin und München, R. Oldenbourg, 1923. G.-M. 3.—.

Die Schrift ist durch einen Ferienkurs für Oberlehrer veranlaßt und enthält in einer dem Verständnis eines Primaners angepaßten Behandlung die Hauptlehren der analytischen Geometrie und Infinitesimalrechnung, sowie daran anschließend die Elemente der Mechanik, die auf ebene Bewegungsvorgänge beschränkt sind und auch einige einfachere astronomische Probleme umfassen. Auch als Vorbereitung auf das Studium von des Verfassers „Lehrbuch der technischen Physik“ wird sich das Schriftchen geeignet erweisen.

P.

Mathematisch-physikalische Bibliothek. Bd. 54. Elementarmathematik und Technik. Eine Sammlung elementarmathematischer Aufgaben mit Beziehungen zur Technik. Von Dr. R. ROTHE. Mit 70 Abb. 52 S. Kart. G.-M. —.80. — Bd. 55. Die mathematischen und physi-

kalischen Grundlagen der Musik. Von Dr. ILLO PETERS. Mit einer Kurve. 35 S. G.-M. — 80. Leipzig, B. G. Teubner, 1924.

Band 54 ist aus einem vor Mathematiklehrern in Berlin gehaltenen Vortrag hervorgegangen und will die Beachtung der Technik im Unterricht der höheren Schulen fördern. Es bringt vorwiegend Aufgaben aus der technischen Mechanik, auch einige aus der Wechselstromlehre und wird gewiß anregend auf den Unterricht wirken. — Bd. 54 ist vornehmlich für den praktischen Musiker bestimmt und sucht diesen mit den zahlenmäßigen wie mit den einfachsten physikalischen Grundlagen vertraut zu machen. Einige Betrachtungen über Raumakustik, Harmonielehre und Tonpsychologie bilden den Schluß. P.

Die Welt und der Mathematiker. Ausgewählte Dichtungen von KURT LASSWITZ. Herausgegeben von Dr. H. LIETZMANN. Leipzig, C. Elischer Nachf. 1924.

Ein Bändchen von nur 91 Seiten, voll übermütigen Humors, zum guten Teil astronomisch-physikalischen Inhalts, für eine heitere Stunde geeignet. P.

Grundriß der Physik. II. Teil. Für die Oberstufe höherer Lehranstalten und für Fachschulen. Von Dr. KARL HAHN, Leiter der Oberrealschule auf der Uhlenhorst zu Hamburg. 2. Auflage. Mit 336 Figuren. Leipzig-Berlin, B. G. Teubner, 1924. Geb. G.-M. 5.—.

Von der 1. Auflage (vgl. *ds. Zeitschr.* 34, 237; 1921) weicht die vorliegende nicht im Aufbau, aber in manchen einzelnen Kürzungen, Berichtigungen und Erweiterungen ab. Sie dehnt den Umfang des Stoffes, entsprechend den in diesem Heft veröffentlichten Forderungen von Bavinck, bis auf die Ergebnisse der modernen Forschung aus und faßt in einem besonderen Schlußkapitel die Grundzüge des heutigen physikalischen Weltbildes zusammen, wobei die Relativität von Raum und Zeit, die physikalische Bedeutung der Masse und der Aufbau der Materie zur Darstellung kommen. Daß hier vielfach nur Problematisches geboten werden kann, ist selbstverständlich; es wird der Erfahrung überlassen bleiben, wie weit man hierin wird gehen können. In den theoretischen Teilen des Buches ist schon hier und da die Grenze dessen überschritten, was Schülern zugemutet werden kann. Von einzelnen Ausstellungen soll abgesehen werden, da das Buch im ganzen einen hohen Standpunkt einnimmt, dem man durchaus Anerkennung, wenn auch nicht immer Zustimmung zollen wird. P.

Lehrbuch der Physik. Unterstufe. Von Dr. ERICH MOSCH, Oberstudienrat am Mommsengymnasium in Charlottenburg. Mit 237 Abbildungen. Leipzig, G. Freytag, G. m. b. H., 1923. 160 S.

Das Lehrbuch bietet im ganzen die übliche Stoffauswahl. In der Anordnung unterscheidet es sich insofern von der herkömmlichen, als es nach der Wärmelehre zunächst nur die Lehre

vom Gleichgewicht behandelt und die Lehre von Bewegung und Energie an das Ende des Buches stellt, dann allerdings in einem Ausmaß, das doch den auf der Unterstufe eines Gymnasiums möglichen Umfang nicht unerheblich überschreitet. Auch in der Optik geht bei Hohlspiegeln und Linsen das Buch wohl über das für die Unterstufe Angemessene hinaus. Zu billigen ist dagegen die Aufnahme von Luftballon und Luftschiff. Der Text ist angenehm lesbar, die geschichtlichen Beigaben zu einzelnen Kapiteln sind geschickt ausgewählt. Das in Figur 115 dargestellte Thermometer (vielmehr Thermoskop) ist jedoch nicht das von Galilei erfundene. P.

Mechanische Technologie der Metalle in Frage und Antwort. Von Dr.-Ing. E. SACHSENBERG, o. Prof. an der Techn. Hochschule Dresden. Mit zahlreichen Abbildungen. 225 S. Berlin, Julius Springer, 1924. G.-M. 6.—; geb. G.-M. 6.80.

Das Buch ist für das technische Anfangsstudium bestimmt, wird aber auch dem praktisch-technisch interessierten Lehrer der Physik reiche Belehrung bieten. In Form von Fragen und kurzen Antworten gibt es eine Übersicht über das ganze in Betracht kommende Gebiet. Es handelt — nach einleitenden Darlegungen über Masse, Erzeugung von Eisen und Stahl und über Rostschutz — von folgenden Gegenständen: Erzeugung von Metallen und Legierungen; Schleifmittel; Schmiermittel; Walzen; Röhrenfabrikation; Schmieden; Härten; Gießen und Formen; Schweißen und Flammenschneiden; Ziehen, Drücken, Prägen und Stanzen; Drehen; Fräsen; Hobeln; Räumen; Schleifen; Schlosserei; Klempnerei; Oberflächenbehandlung, und gibt endlich verschiedenartige Herstellungsbeispiele, z. B. Herstellung von Schraubenschlüsseln, einer Heugabel, einer Überwurfmutter u. dgl. Ein alphabetisches Sachverzeichnis von über 600 Nummern erleichtert die Benutzung des Buches. P.

Moderne Metallkunde in Theorie und Praxis. Von J. CZOCHRALSKI, Oberingenieur. Mit 298 Textabbildungen. 305 S. Berlin, Julius Springer, 1924. Geb. G.-M. 12.—.

Die hier behandelten Probleme gehören wesentlich dem Gebiet der Metallographie an, das in der letzten Zeit unter der Führung von Nordamerika einen ungeheuren Aufschwung genommen hat. Von der Kenntnis der Gefüge von Metallen und Legierungen hängt deren zweckmäßige Bearbeitung ab, daher ist ihre eingehende Erforschung für den Wettbewerb der Technik in der Welt eine Notwendigkeit. Die Schrift behandelt in einem ersten Abschnitt den Gefügebau und die Technik der Gußmetalle, in einem zweiten umfangreicheren die der durch Kneten bearbeiteten Metalle. Eine Fülle von photographisch aufgenommenen Diagrammen dient zur Veranschaulichung des beigebrachten Materials, das namentlich über die kristallographische Struktur und die Verfestigungsvorgänge Aufschluß gibt. P.

Das Aluminium und einige seiner Legierungen. Von Dr. H. HIRZEL. Aus der Einladungsschrift zur Prüfung in der öffentlichen Handelslehranstalt zu Leipzig, 1858. Leipzig, im Selbstverlag der öffentlichen Handelslehranstalt, 1924. 46 S.

Es liegt hier die Reproduktion einer jetzt 66 Jahre alten verdienstvollen Schrift vor, die von der Handelskammer in Leipzig, dem Sohne des Verfassers und den Zeppelinwerken Gießerei G. m. b. H. in Berlin-Staaken veranstaltet und vom Direktor der öffentlichen Handelslehranstalt Prof. Dr. Lorey herausgegeben ist. Die Schrift bringt historische Mitteilungen über die erste Darstellung des Aluminiums durch Wöhler aus Tonerde auf dem Wege über Chloraluminium und dessen Zersetzung durch Kalium, ferner über die Bemühungen von Deville um die technische Verwertung des Aluminiums, die Darstellung aus Kryolith durch H. Rose, die elektrolytische Gewinnung aus Chloraluminium durch Bunsen. Der Verfasser sieht voraus, daß erst, wenn die Abscheidung aus der Tonerde gelungen sein werde, von einer ausgedehnten Aluminiumindustrie die Rede sein könne. Die Schrift behandelt eingehend die Eigenschaften des Aluminiums und seine Legierungen namentlich mit Silber, Kupfer, Zinn und Zink. Bekanntlich stehen diese Legierungen heute im Vordergrund der metallographischen Forschung. P.

Tage der Technik. Illustrierter technisch-historischer Abreißkalender für 1925. Von Dr. ing. h. c. FRANZ MARIA FELDHAUS. München und Berlin, R. Oldenbourg, 1925.

Dieser vierte Jahrgang des verdienstlichen Kalenders bringt wieder viele interessante Abbildungen und unter den Daten besonders auch solche, die um 25 Jahre oder ein vielfaches davon zurückliegen. Das Titelbild zeigt die „Melancholie“ von Dürer, die der Verfasser als „technisches Denken“ deutet. Der Kalender sei erneut der Beachtung auch im Bereich der Schule empfohlen. P.

Theoretische Telegraphie. Eine Anwendung der Maxwell'schen Elektrodynamik auf Vorgänge in Leitungen und Schaltungen. Von FRANZ BREISIG. Zweite Auflage. Mit 240 Figuren im Text. Braunschweig, Friedrich Vieweg & Sohn A. G. 548 S. G.-M. 26.—, geb. G.-M. 28.—.

Das theoretische Grundproblem besteht darin, die Bedingungen zu untersuchen, unter denen Leitungen und Schaltungen ein an einem Ort gegebenes Zeichen an einem anderen möglichst formgetreu nach den Erfordernissen des einzelnen Falles wiedergeben können. Dabei kommen die flüchtigen Vorgänge zu Beginn und am Ende jedes Zeichens oder jeder Lautgruppe in den Vordergrund und es wird der Wellencharakter der Vorgänge in den Leitungen mehr als früher hervorgehoben: dadurch ist in manchen Teilen des Werks eine fast vollständige Umarbeitung erforderlich geworden. Als besonders zweckmäßig erwies sich die Benutzung der Vektorenrechnung, in die eine eigene besondere Einführung gegeben ist.

Der Inhalt gliedert sich in folgender Weise: Grundbegriffe, das ruhende elektrische Feld, stationäre Felder, quasistationäre Felder, elektrische Schwingungen in Kondensatorkreisen, andauernde elektrische Schwingungen, Fortpflanzung elektrischer Wellen auf Leitungen, Fortpflanzung andauernder Sinusströme auf Leitungen, Fortpflanzung von Stromstößen auf langen Leitungen, Ausbreitung der elektromagnetischen Energie. Im letztgenannten Abschnitt werden auch die Grundprobleme der drahtlosen Telegraphie kurz behandelt. P.

Grundriß der Funkentelegraphie in gemeinverständlicher Darstellung. Von Dr. FRANZ FUCHS, wissenschaftlichem Mitarbeiter am Deutschen Museum. 14. neubearbeitete Auflage, 156 S. 224 Textabbildungen. München-Berlin, R. Oldenbourg, 1924. G.-M. 3.—.

Dem bei Besprechung der vorhergehenden Auflage an dieser Stelle (S. 206) geäußerten Wunsche entsprechend hat der Verfasser durch gründliche Umarbeitung seinen vortrefflichen Grundriß dem jetzigen Stand der Technik und besonders dem Bedürfnis der Funkliebhaber angepaßt. Hinzugekommen sind z. B. Abschnitte über Bau und Berechnung von Selbstinduktionsspulen, Antennen und Empfängern, sowie eine eingehende Beschreibung der Elektronenröhre und ihrer Anwendung. Besonders wertvoll ist das Kapitel über die Rückkoppelung und über die Mittel zum Erkennen und Verhüten des Selbstschwingens des Audions. Allen Funkliebhabern, besonders aber den Lehrern und Schülern kann das Buch als wertvolles Lehr- und Nachschlagewerk rückhaltlos empfohlen werden: W. Zorn.

Schaltungsbuch für Radio-Amateure. Von KARL TREYSE. (Bibliothek des Radio-Amateurs von Dr. E. NESPER, 3. Band). 58 S. mit 140 Bildern. Berlin, Julius Springer, 1924. Inzwischen vergriffen. Es erschien die zweite, vervollständigte Auflage. G.-M. 1.20.

Das Schriftchen bietet eine große Zahl erprobter Schaltungsschemata, die den Liebhaber auch zum Ersinnen neuer Schaltungen anregen sollen. Sie umfaßt Empfangsschaltungen mit Kristalldetektor, mit Dreielektrodenröhre, mit Rückkoppelung der Anodenintensität, ferner Ultraaudionschaltungen, Schwebungsempfangschaltungen, die Dreielektrodenröhren als Niederfrequenzverstärker und als Hochfrequenzverstärker, amerikanische Neutro-dyn- u. a. Schaltungen, endlich Schaltungen verschiedenster Art. Beigegeben sind auch Tabellen und Nomogramme zur Dimensionierung der Abstimmelemente und der Empfangsmittel. P.

Am Fernrohr. Eine Sammlung von Beobachtungsobjekten für Freunde des gestirnten Himmels. Von FRIEDRICH BECKER. 83 S. 3 Tafeln. 46 Kärtchen. Berlin u. Bonn, Ferd. Dümmlers Verlagsbuchhandlung, 1924. Geb. G.-M. 2.50.

Das Büchlein wird allen Liebhabern der Astronomie willkommen sein, die über kleine

optische Hilfsmittel verfügen. In übersichtlicher Form werden dem Beobachter Helligkeiten, Farben und Spektre der Sterne 1. bis 3. Größe, Doppelsterne, Sternhaufen und Nebel, veränderliche Sterne und Hilfsstafeln geboten. Besonders hervorzuheben ist der Abschnitt über die veränderlichen Sterne, die ja für den Liebhaber überhaupt ein dankbares Objekt darstellen. Die Beigabe von 46 Umgebungskärtchen zu den Veränderlichen ist recht wertvoll, da die Bonner Durchmusterung nicht leicht zugänglich ist. Es bleibt allerdings zu hoffen, daß bei einer zweiten Auflage die Qualität der Kärtchen verbessert wird.

Weill.

Kurzes Lehrbuch der Chemie. Von WERNER MECKLENBURG. Zweite Auflage. Zugleich 13. Auflage von ROSCOE SCHORLEMERS kurzem Lehrbuch der Chemie. Mit 100 Abb. im Text. Braunschweig, Friedrich Vieweg & Sohn, A.-G., 1924. 793 S. G.-M. 20.—, geb. G.-M. 23.—.

Die im Jahre 1919 erschienene Neubearbeitung von ROSCOE-SCHORLEMERS Lehrbuch war ein völlig neues Buch, das nur das Ziel, für Anfänger und Freunde der Chemie bestimmt zu sein, mit jenem gemein hatte. Es unterscheidet sich (*vgl. ds. Ztschr.* 34, 94, 1921) durch die stärkere Berücksichtigung der allgemeinen und physikalischen Chemie, die heute die Grundlage auch eines elementaren Unterrichts bilden müssen und durch Ausdehnung auf die Hauptverfahren der technischen Chemie. Reicher Inhalt und klare Gliederung sind dem Buche nachzurühmen, letztere besonders auch darin hervortretend, daß in der organischen Chemie das Technische ganz in einen Schlußabschnitt verwiesen ist. Einige ganz neue Abschnitte, wie namentlich über die neuere Theorie der chemischen Elemente, sind hinzugekommen. Befremdend wirkt, daß die Elektrolyse der verdünnten Schwefelsäure im Hofmannschen Apparat immer noch als Wasserzersetzung bezeichnet wird. Auch bei der späteren Behandlung der Elektrolyse im allgemeinen findet sich keine Richtigstellung des in dem bekannten Schlusse begangenen logischen Fehlers. Das Buch kann im übrigen von neuem als eine streng wissenschaftliche und zugleich elementare Übersicht über das Gesamtgebiet der Chemie empfohlen werden.

P.

Einführung in die Chemie. Ein Lehrbuch zum Selbstunterricht und für höhere Lehranstalten. Von WILHELM OSTWALD. Mit 74 Abb. 2. Aufl. Stuttgart, Franks Techn. Verlag, Dieck & Co. (ohne Jahreszahl). 238 S.

Die neue Auflage ist ein wörtlicher, wohl stereotypierter Abdruck der ersten (*ds. Ztschr.* 23, 315; 1910), wenigstens haben alle Stichproben und Vergleichen nichts anderes ergeben; nur die fünf, schon damals im „Druckfehlerverzeichnis“ aufgeführten Druckfehler sind verbessert. Ob übrigens die 2. oder 3. Auflage vorliegt, ist nicht zu ersehen; in dem Begleitwort des Verlages ist wiederholt nur von der zweiten die Rede, dagegen steht auf dem Titelblatt „dritte Auflage“. Ver-

mutlich ist die zweite das Richtige. Das erste Erscheinen dieses Buches nahmen wir in dieser Zeitschrift (23, 300/305; 1910) zum Anlaß für einen umfangreicheren Bericht: „Chemische Mittelschul-Methodik und W. Ostwalds Einführung in die Chemie“, in welchem ausführlich begründet wurde, warum das Buch für den Mittelschulunterricht abzulehnen ist. Da alles unverändert geblieben ist, haben wir jenem Bericht nichts hinzuzufügen, aber auch nichts von ihm fortzunehmen. So didaktisch wertvoll auch einzelne Ausführungen und Versuche sind, als eine geeignete Grundlage für einen erfolgreichen chemischen Schulunterricht können wir diese Arbeit des hochverdienten Forschers nicht betrachten.

O.

Anfangsgründe der Chemie. Ein Leitfaden für Haushaltungs- und Gewerbeseminare usw. Von Dr. MAX MÜLLER, Reg.-Rat im Reichs-Gesundheitsamt. 2. durchges. u. verm. Aufl. Mit 41 Textfiguren. Berlin, Julius Springer 1921. 177 S. G.-M. 3.—.

Das Buch gliedert sich nach einer kurzen „Einleitung“ in „Nichtmetalle“ — von denen der Kohlenstoff sehr zweckmäßig abgesondert behandelt wird, woran naturgemäß „Heizung und Beleuchtung“ angeschlossen werden — und „Metalle“. Innerhalb dieses Rahmens zeichnet sich das Buch durch klare Fassung und wissenschaftliche Korrektheit aus. Dennoch hätten wir für den gesamten Stoff eine andere Form gewünscht. Gerade bei der Aufgabe, den chemischen Lehrstoff für so spezielle Zwecke wie im vorliegenden Falle, darzubieten, ist es verhältnismäßig leicht möglich und wäre es vor allem besonders segensreich, sich von den Fesseln der alten Systematik zu befreien und den Stoff nach lebensfrischen methodischen Grundsätzen zu formen. Als Einzelheit sei erwähnt, daß der in Figur 12 gezeichnete Kippische Apparat physikalisch und chemisch unmöglich ist — er ist weit überfüllt und würde vorerst nur Flüssigkeit statt Gas geben. Besonders zu loben ist, daß das Buch die Auswüchse der neuen Orthographie (z. B. das Monstrum Kalzium) nicht mitmacht. Abgesehen von dem oben erwähnten Wunsch ist das Buch seinem Zwecke vorzüglich angepaßt und den genannten Anstalten warm zu empfehlen.

O.

Chemische Versuche aus dem Gebiete der anorganischen Chemie. Von J. K. KÖNIG. Berlin und Leipzig. Walter de Gruyter & Co. 1921. 64 S.

Das Buch ist eine Sammlung einfacher Versuche, die sich an die wichtigsten Nichtmetalle und Metalle anschließen. Irgend einen Fortschritt gegenüber den zahlreichen vorhandenen Versuchssammlungen vermögen wir in ihm nicht zu erkennen. Vieles ist zu beanstanden. So heißt eine Überschrift „Analyse des H“; es liegt kein Versehen vor, denn auch in der „Inhaltsangabe“ steht „Analyse des Wasserstoffs“. Der achtzeilige Abschnitt „Bleisuperoxyd“ (S. 45) stellt eine ganze Kette von Irrtümern dar. So soll beim Schmelzen und weiteren Erhitzen von Blei als Produkt Blei-

superoxyd entstehen (es müßte zunächst Bleidioxid heißen); diesem wird nun noch die Formel des Bleisuboxyds gegeben, nämlich Pb_2O , das nur unter ganz besonderen Umständen zu erhalten ist. Vielfach fehlt es an den nötigen Vorsichtsmaßregeln, z. B. beim Phosphorwasserstoff. Kristall wird als Neutrum gebraucht, Vitriol desgleichen. Ein Register fehlt. O.

Anorganisch-chemisches Praktikum. Qualitative Analyse und anorganische Präparate. Von Dr. E. H. RIESENFELD, a. o. Prof. a. d. Univ. Berlin. 5. Aufl. Mit 27 Abb. Leipzig, S. Hirzel, 1923. 366 S.

Das bewährte Buch wurde wiederholt in dieser Zeitschrift (24, 125; 33, 198) besprochen. Die neue Auflage bringt verschiedene willkommene Ergänzungen. Bedauerlich ist indessen, daß der allgemeine Begriff Verbindungsgewicht wieder für den speziellen Begriff Äquivalentgewicht angewendet wird (S. 16). Will man, was wohl berechtigt ist, für letzteres auch einen deutschen Ausdruck gebrauchen, so ist der Name „Ersatzgewicht“ von A. W. von Hofmann bereits dafür geprägt. Der wichtige umfassende Begriff „Verbindungsgewicht“ koindiziert dagegen mit dem Begriff „Atomgewicht“, nach dem Vorgange von A. W. von Hofmann, Ostwald u. v. a., neuerdings besonders Fajans (vgl. auch *ds. Zeitschrift* 27, 330). O.

Ernst Schmidts Anleitung zur qualitativen Analyse. Herausgegeben und bearbeitet von Dr. J. GADAMER, o. Professor und Direktor des pharmazeutisch-chemischen Instituts der Univ. Marburg. Neunte verbesserte Auflage. Berlin, Julius Springer 1922. 120 S. G.-M. 2.50.

Das Kennzeichnende der neuen Auflage des bewährten Buches besteht darin, daß die zahlreichen Reaktionsgleichungen (Bruttogleichungen) noch durch die zugehörigen Ionengleichungen ergänzt sind, so daß der Praktikant gleich ein Bild von dem Kern des einzelnen Vorganges erhält. Dies wird allen willkommen sein, die den Hauptfortschritt der wissenschaftlichen analytischen Chemie darin erblicken, daß sie durch Ostwald auf die Basis der elektrolytischen Dissoziations-theorie gestellt wurde. Die Tabellenform des Buches — Zusammenfassung je zweier Seiten zu einem tabellarischen Doppelblatt unter Unbedrucktheit der beiden Rückseiten — erleichtert die Übersicht außerordentlich. Auch für die Schulchemie sind dem Werke manche vortrefflichen praktischen Winke zu entnehmen. Das Buch sei der allgemeinen Beachtung empfohlen. O.

Kurze Anleitung zur qualitativen chemischen Analyse nach dem Schwefelnatriumgange. Von Prof. Dr. K. HANOFKY und Prof. Dr. P. ARTMANN. 3. umgearbeitete und vermehrte Aufl. Leipzig, Wien, F. Deuticke 1924. 120 Seiten.

Die analytischen Reaktionen der einzelnen Metallgruppen wie auch der Anionen, werden in großer Klarheit und Übersichtlichkeit geboten,

und zwar unter Längshalbierung aller betreffenden Seiten, wobei auf der rechten Seitenhälfte immer die stöchiometrischen Reaktionsgleichungen aufgeführt sind. Die durchgängige Mitberücksichtigung des Schwefelnatriums (neben Schwefelwasserstoff und Schwefelammonium) ist für die Schulchemie insofern von Interesse, als vor längerer Zeit schon einmal für die praktischen Übungen in der Prima, die damals fast ausschließlich auf die Analyse eingestellt waren, ein Lehrgang ohne Schwefelwasserstoff von einem Schulmann (Zettnow) ausgearbeitet worden war. Jetzt fordern wir also von dem Schüler nichts Wissenschaftlich-Ungebräuchliches, wenn wir eine Anzahl von analytischen Übungen, die ja wohl niemand völlig ausgeschaltet wissen möchte, unter Verzicht auf den lästigen und giftigen Schwefelwasserstoff darbieten. Dem Titel des Buches gemäß sollte etwas Spezielleres über das Schwefelnatrium selbst und die genauere Technik seiner Anwendung gebracht sein. Auch das Vorwort zu einer neuen Auflage sollte niemals, wie hier, ohne Mitteilung der Hauptgedanken aus den früheren, mindestens der ersten Auflage geboten werden. Die wissenschaftlich nicht haltbaren Bezeichnungen Baryum (statt Barium) und Kalzium (statt Calcium) sollten verschwinden; die letztere fällt allerdings wohl nur dem Verlage zur Last. Ein Register fehlt. Im übrigen sei das Buch weiterhin der Beachtung empfohlen. O.

Kurze Anleitung zur Maßanalyse. Von LUDWIG MEDICUS, w. Prof. an der Universität Würzburg. Mit spezieller Berücksichtigung der Vorschriften des Arzneibuches und des Ergänzungsbuches. Elfte verbesserte und vermehrte Auflage von Dr. PAUL F. SCHMIDT in Leipzig. Tübingen, H. Laupp, 1922. 219 S. M. 3.—.

Das besonders dem Pharmazeuten und Mediziner vieles bietende Buch wurde bereits früher in dieser Zeitschrift (26, 65; 1913) gewürdigt. Die klaren Erläuterungen und genauen Versuchsvorschriften — beispielsweise, wie die altbewährte, als Indikator gerade für die Schulchemie sehr wichtige Lackmuslösung rationell herzustellen und aufzubewahren sei (nicht verschlossen, sondern in halbgefüllten Gefäßen unter Baumwollpfropf) — machen das Buch auch für den chemischen Unterricht wertvoll. In der neuen Bearbeitung hat es nur noch gewonnen, zumal auch die Ausstattung vorzüglich ist. Die Hinzufügung eines, wenn auch kurzen, Registers ist lobend hervorzuheben. Eigentlich sollte kein chemisches Buch ohne Register erscheinen. O. Ohmann.

Die Hilfsmittel und Grundlagen des präparativ-chemischen und analytisch-chemischen Arbeitens. Von Dr. JOSEPH KLEIN. Mit 11 Abbildungen. Berlin und Leipzig, Walter de Gruyter, 1921. 116 S.

Das kurzgefaßte Buch zeichnet sich durch klare, von gründlicher Sachkenntnis zeugende Darstellung aus. Bei der Behandlung der Arbeitsmethode bringt es auch Angaben aus dem deutschen Arzneibuch und berücksichtigt allenthalben

die Unfallverhütungsvorschriften. Die Figuren könnten noch vermehrt werden. Die Verwertung der Flammenfärbung ist nicht auf die Alkalien und Erdalkalien zu beschränken (S. 87). Das Buch ist auch für den chemischen Unterricht von erheblichem Wert.

O. Ohmann.

Tabelle und Anleitung zur Ermittlung des Fettgehaltes nach vereinfachtem Verfahren in Nahrungsmitteln und Gebrauchsgegenständen. Von Dr. J. GROSSFELD, Nahrungsmittelchemiker am Untersuchungsamt Recklinghausen. Berlin, J. Springer, 1923. 12 S. G.-M. 1.20.

Der Wert des in Fachkreisen bereits anerkannten Fettbestimmungsverfahrens des Verfassers beruht darauf, daß es viel kürzer und billiger ist als die älteren Soxhletschen Verfahren. Zum Lösen des Fettes, z. B. aus Butter, Margarine, Seifen, Käse, wird Trichloräthylen verwendet. Nur 12 Seiten enthält die Schrift, aber 6 davon sind mit ausgerechneten Zahlenwerten eng bedruckt. Auch die Schulchemie hat daran Interesse. Es ist an der Zeit, daß die in manchen Übungsvorschriften zur organischen Chemie noch vorhandenen Fettlösungsversuche mit teureren und feuergefährlichen Stoffen wie Äther und Schwefelkohlenstoff ersetzt werden durch Versuche mit neueren, gefahrlosen und technisch wichtigen Lösungsmitteln wie Tetrachlorkohlenstoff und „Tri“ (Handelsname für Trichloräthylen). Tri hat den Vorzug der Unentzündlichkeit. Jeder, der organische Übungen abhält, sollte sich die Schrift anschaffen. O.

Alltag und Heimat. Wiener Alltagsdinge in ihren Beziehungen zur Kulturkunde und zum bodenständigen Rechnen (mit einem Einblick in Wiener Sammlungen). Von HEINRICH KOLAR und KARL MÜLLNER. 3. Heft: Unser Trinkwasser (im Anhang: Unsere Nutzwasserleitung). 4. Heft: Licht und Feuer (1. Teil). Wien, A. Pichler, 1923. 56 bzw. 36 S.

Eine ganz reizende Sammlung, wenn man nach zwei Heften urteilen darf. Die vorliegenden Hefte gewinnen vor allem dadurch, daß auch das Historische ausreichend mit eingeflochten wird. Im Plauderton werden zahlreiche wissenswerte Dinge chemischer und physikalischer Natur mit vielerlei statistischen Angaben übermittelt. Wir legen übrigens Wert auf die Feststellung, daß der Untertitel betr. „Kulturkunde“ lange vor dem Erscheinen der jüngsten preußischen ministeriellen Denkschrift entstanden ist, zum Zeichen, welche vorgeschrittene Auffassung man in Österreich von „kulturkundlichen“ naturwissenschaftlichen Belehrungen gewonnen hat. Die weiteren Hefte behandeln Technologisches, Verkehrswesen, Maschinelles, aber auch Astronomisches, Wind und Wetter u. a. Zuweilen würden irgendwelche figürliche Veranschaulichungen, wären sie auch nur graphischer Art, die Darstellung wesentlich unterstützen. Das dritte Heft ist dem Andenken an Konrad Kraus, „den Altmeister der Wiener Methodiker“, gewidmet. Die mit großem Geschick bearbeiteten Hefte werden

auch als Schülerlektüre viel Gutes stiften; sie können auch die Anregung geben, für andere deutsche Großstädte ähnliches zu schaffen.

O. Ohmann.

Lehrbuch der Chemie für höhere Lehranstalten. Teil II. Oberstufe. Von Prof. R. WINDERLICH a. d. Oberrealschule zu Oldenburg i. O. Mit 198 Abbildungen. Braunschweig, Fr. Vieweg & Sohn, 1924. 294 S. Geb. M. 7.20.

Die Oberstufe des Lehrbuches ist eine gediegene Arbeit, die nicht verfehlen wird, auf die Methodik des gesamten chemischen Unterrichts vorteilhaft einzuwirken. Was in der Unterstufe, zumal hinsichtlich der eigentlichen Einführung, zu beanstanden war (*ds. Zeitschr.* 35, 242), tritt hier zum größten Teil zurück oder wird durch andere Vorzüge ausgeglichen. Das wesentlichste Kennzeichen des Buches ist die eigenartige, umfangreiche Berücksichtigung des Historischen. Die markantesten Punkte in der Entwicklung der Chemie, die theoretischen Hauptgesetze, die wichtigsten Entdeckungen bis hin zu einzelnen experimentellen Operationen werden auf ihre geschichtlichen Wurzeln zurückgeführt und zwar, was besonders wertvoll ist, meist durch wörtliche Anführungen aus den Quellenschriften, wozu besonders „Ostwalds Klassiker“ und die Zeitschriftenveröffentlichungen der Autoren selbst herangezogen werden. Hierdurch bekommen all diese Dinge etwas außerordentlich Anschauliches, Lebensvolles, sie wirken gleichsam wie in statu nascendi. Durch die so gebotene Fülle genauester Angaben und reizvoller Einzelheiten, die bei der Lektüre auf den Schüler sicher sehr anregend wirken werden, hat der Verfasser eine Arbeit geleistet, für die ihm die Chemielehrer dankbar sein müssen, selbst diejenigen, die den Wert des Historischen bisher nicht so hoch einzuschätzen gewohnt waren. Daß bei Gelegenheit der Katalysatoren nur Berzelius genannt ist, nicht Mitscherlich, der eigentliche Begründer der Anschauungen von den Kontaktsubstanzen, daß ferner die neueren Auffassungen der Phlogistontheorie nicht erwähnt werden, ebensowenig Graham, weder bei der Dialyse noch auch in den angeschlossenen etwas kurzen und in eine Anmerkung verwiesenen Ausführungen über Kolloide — das sind Ausnahmen, die nicht ins Gewicht fallen. Das Krystallographische ist nicht im Zusammenhange behandelt, vielmehr sind die noch nicht erörterten Systeme zweckmäßig an die im Lehrgange gerade auftretenden Mineralien angeknüpft; das Mineralogische selbst ist im ganzen nur recht knapp berücksichtigt, das Gesteinskundliche tritt fast ganz zurück.

Der Versuch, den chemischen Lehrgang entsprechend der geschichtlichen Entwicklung zu gestalten, wurde schon einmal gemacht, von Capesius. Er wurde von Arendt abgelehnt. Im vorliegenden Buche handelt es sich aber um eine wesentlich andere Behandlung. Hier ist das Historische gewissermaßen die Grundlage, aus der der Lehrstoff herauswächst. Zudem treten

hierzu noch mannigfache Anführungen literarischer Art, besonders aus Goethe, aber auch aus Reuter, Homer u. a., ferner Sprichwörtliches und viele treffliche, aus dem Leben gegriffene und auch das vaterländische Empfinden anfeuernde Bemerkungen — alles ganz dazu angetan, um nach der humanistischen Seite hin zu wirken. In den beschreibenden und den Lehrstoff mehr erzählend-mittelnden als entwickelnden Teilen des Buches ist die Sprache immer von vorzüglicher Klarheit und von vielen interessanten Einzelheiten durchsetzt. Die Unfallverhütung könnte verschiedentlich noch genauer beobachtet und manche Versuchsangabe, besonders bei den zahlreichen eingeflochtenen Schülerübungen ausführlicher gehalten sein, da doch nicht jeder alle Versuche durchführen wird und regelmäßig einzelne Schüler Versuche auf eigene Faust nach dem Lehrbuche machen.

Bei dieser Behandlung des Lehrstoffes — die einerseits wohl geeignet ist, viel wertvolles geistiges Eigentum zu übermitteln und den Schüler auch literarisch anzuregen, andererseits leicht dazu führt, manches in zu konzentrierter Form zu bieten — kommt freilich ein sehr wichtiges Moment des chemischen Unterrichts nicht genügend zur Geltung: d. i. die intensive geistige Schulung, wie sie einem mehr auf Untersuchung eingestellten, bestimmte Probleme ins Auge fassenden und strenger induktiv vorgehenden Lehrgang innewohnt. Auch in der geschichtlichen Entwicklung der Chemie handelt es sich meist um die Bewältigung bestimmter Fragen und Probleme, nicht minder im späteren Leben des einzelnen Schülers, dort um rein chemische, hier auch um andere reale Probleme. Daher sind solche geistige Übungen am realen Stoff eine ganz notwendige Ergänzung zu den in anderer Hinsicht wertvollen formalen Übungen im sprachlichen Unterricht. Diese können jene niemals ersetzen; und kaum ein anderer Unterricht ist hierzu so geeignet, wie der chemische. Das Ganze kommt wieder auf die Wertung, die Stellung des Versuches im Lehrgang hinaus. Seine Hauptkraft entfaltet aber der Versuch viel mehr, wenn er, seinem innersten Wesen gemäß, als wirkliche Frage an die Natur erscheint, wenn er also erheischt wird, als wenn er bloß nach Angabe vorgeführt oder vom Schüler nach Anweisung angestellt wird. So wird erst durch die richtige Vereinigung des geschichtlichen Moments mit der untersuchenden Methode der so eigenartig schwierige, aber so unbedingt notwendige chemische Lehrstoff wirklich bewältigt werden und werden die in ihm steckenden großen kulturellen und geistig bildenden Werte voll zur Geltung gelangen. Hier ist noch viel methodische Arbeit zu leisten. Freuen wir uns aber an dem, was bisher nach dieser Richtung hin erreicht ist und vor allem an dem, was im Vorliegenden wieder an originaler methodischer Arbeit geleistet ist. Denn hier ist ein Buch geschaffen — zumal für die Gattung der Oberrealschule, aus der es hervorgegangen ist —, das durchaus geeignet ist, den chemischen Unter-

richt weiter zu heben und der Chemie neue Freunde zuzuführen. Wir wünschen dem Buche einen weitgehenden Erfolg.
O. Ohmann.

Chemie und Mineralogie für Schweizerische Mittelschulen, nach Arendtscher Methode bearbeitet von Dr. H. FREY, Prof. am Lehrer-Seminar in Küsnacht-Zürich. Mit 223 Abb. Hallwag A.-G., Bern 1924. XII u. 294 S.

Der Verfasser will mit Recht die Chemie und Mineralogie zu einem Ganzen vereinigen. Sein zu diesem Zwecke verfaßtes Buch enthält jedoch eine so große Zahl von methodischen Mängeln und direkt fehlerhaften Anschauungen und Angaben, daß wir nicht glauben, es könne danach ein ersprießlicher Unterricht erteilt werden. Solches Urteil bedarf natürlich, einer zweifellos ernsthaften Bemühung gegenüber, der näheren Begründung. Das Buch nimmt sich die Arendtschen „Grundzüge“ zum Vorbild. An sich schon ein eigentümlicher Fall, daß ein Buch von einer ganz bestimmten Prägung von einem anderen mehr oder weniger kopiert wird, — ein gewisses Zeugnis. Atmet uns aber aus dem Buche Arendtscher Geist entgegen? R. Arendt hatte ursprünglich seinen Lehrstoff nach Lektionen eingeteilt; eine äußerliche, ziemlich unnötige, weil nicht einhaltbare Anordnung. Sie wurde später mit Recht verlassen. Hier ist sie wieder aufgenommen. Das ist der erste Rückschritt. Was hat es z. B. für einen Sinn, wenn gleich im Anfang (S. 3) — der Lehrgang beginnt, abweichend von Arendt, mit den Edelmetallen (mit Einschluß von Quecksilber), was wir nicht für einen irgendwie glücklichen Griff halten können — das Platin als Lektion 2 vom Gold und Silber getrennt wird? Dadurch entsteht nur eine erweiterte, z. T. unsachliche Paragraphierung, wie denn überhaupt die außerdem noch vorgenommene gehäufte Numerierung nicht Übersicht-erleichternd, sondern erschwerend und verwirrend auf den Schüler wirken muß. Ferner hatte Arendt seine auf die Metallerhitzung gegründete Untersuchung der Luft durch den künstlich herangezogenen Wasserstoff unterbrochen, was s. Zt. schon von F. Wilbrand stark beanstandet und später vom Neuherausgeber wohlweislich aufgegeben wurde. Hier taucht diese Sache, fast genau in der ursprünglichen Form, wieder auf. Das ist der zweite, schwerer wiegende Rückschritt. Auch der weitere Vergleich fällt fast immer zuungunsten des vorliegenden Buches aus. Im Kapitel Salze aus Metallen und Säuren werden bei Arendt (selbst in dem kurzen „Leitfaden“) neben Versuchen mit Eisen und Zink in Salzsäure und verdünnter Schwefelsäure auch solche mit Mg, Ca und Al u. a. vorgenommen, dann noch deutlich ausgesprochen (Grundzüge, 7., noch von Arendt selbst besorgte Aufl., S. 118), daß sich die Metalle der Aluminiumgruppe „weniger leicht“ in verdünnter Schwefelsäure lösen [es konnte vom Al ruhig heißen: Bei gewöhnlicher Temperatur fast gar nicht]. Hier dagegen werden nur Versuche mit Fe und Zn bei gewöhnlicher Temperatur angestellt und

trotzdem wird dogmatisch (und unrichtig) gesagt. „Ähnlich wie Fe und Zn verhalten sich alle Eisenmetalle und alle Leichtmetalle!“ Dann wird fortgefahren, daß man zur Wasserstoffherstellung „im Großen“ Eisen gebraucht; es wird aber nicht die für Luftschiffahrtzwecke übliche Herstellung aus Wasserdampf und glühendem Eisen dargelegt, vielmehr wird behauptet: „So führt z. B. unsere Militär-Luftschifferabteilung in eisernen Caissons konzentrierte Schwefelsäure mit, um auch entfernt von jeder Gasanstalt den Ballon steigen lassen zu können“. Unmittelbar folgt „Versuch 2: Bringe Kupfer . . . in Schwefelsäure . . . und koche“; es erfolgt „keine Reaktion“. Hier fehlt: verdünnte H_2SO_4 . Das dann folgende „Ergebnis“ unterscheidet wiederum nicht zwischen konzentrierter und verdünnter Schwefelsäure und wird dadurch hinfällig. Alle diese Unzulänglichkeiten finden sich auf wenig mehr als einer halben Buchseite (S. 103).

Vor allem aber versagt allenthalben im Buche das, was die Arendtschen Bücher am meisten kennzeichnet: die wissenschaftliche Genauigkeit und Zuverlässigkeit. So heißt es im Abschnitt „Ionentheorie“ auf S. 128: „Bei der Spaltung der Salzmoleküle braucht es Energie für die Ladung der Ionen, daher die starke Abkühlung bei der Auflösung der Salze im Wasser [!]; je stärker die Ionisation, um so stärker die Abkühlung!“ Eine Kette von Mißverständnissen. S. 60 heißt es: Bei der Verbindung von C mit S wird umgekehrt Wärme verbraucht = endothermer Prozeß; „will man aber diese Stoffe zersetzen, so geschieht es leicht und zwar unter Wärmeabgabe (Verbrennen)“. Der Klammerinhalt muß den Schüler ganz irre führen. Seite 59 heißt es: „Der Schwefelkohlenstoff siedet schon bei 46° und erzeugt dabei eine große Kälte!“ Die Logik ist vermutlich folgende: Beim Verdunsten von CS_2 entsteht Kälte, beim Sieden verdunstet CS_2 besonders stark, also erzeugt er beim Sieden „eine große Kälte!“ Daß aber der erste Vorgang zu jenen freiwillig verlaufenden gehört, bei denen der Umgebung Wärme entzogen wird, während beim Sieden willkürlich Wärmemengen hinzugefügt werden, diese Hauptsache wird ganz übersehen. Für den Schüler wirkt derartige natürlich stark begriffsverwirrend. S. 52: Kupferchlorid ist „in Wasser löslich und bildet eine bekannte sympathetische Tinte . . .“; hier liegt Verwechslung mit dem Kobaltchlorür vor. S. 226 beginnt ein Versuch: „Man mische absoluten Alkohol (96%) mit dem dreifachen . . .“; muß der Schüler da nicht denken, daß man 96prozentigen Alkohol „absoluten Alkohol“ nennt? Die Beispiele ließen sich noch weit vermehren.

Zahlreich sind auch die methodischen Mißgriffe. Was soll z. B. (für den eben in die Chemie eintretenden Schüler) auf der ersten Seite der Begriff der „Amalgamation“ (ohne einen Versuch!) sowie die Angabe, daß „die Goldstäubchen mit Zyankalium . . . ausgelaugt“ werden? Die Fußnote auf S. 2 des Begleitwortes: „Die reizvolle Methode von Prof. Stock [!], mit den Erzen zu beginnen, verbietet sich in unserem erz-

armen Lande von selbst“, entbehrt für den Kenner nicht eines gewissen Humors; sie paßt gut zu dem Satz im „Vorwort“ S. VI: „Es gibt eine ganze Reihe vorzüglicher deutscher Schulbücher ähnlicher Art, wie diejenigen von Arendt-Dörmer, Löwenhardt, Stock [!] usw.“. Andererseits ist im Begleitwort S. 7 wohl von „trefflichen Ausführungen über die chemische Nomenklatur von Prof. Ohmann“ die Rede, hier wird aber Prof. Stock, der Urheber der erörterten Nomenklatur (der wirklich nicht unter die Schulbuchverfasser gegangen ist), nicht genannt! Wie reimt sich das alles zusammen? Übrigens erlauben wir uns der eben erwähnten Behauptung betreffend Anwendbarkeit der „reizvollen Methode“ zu widersprechen. Es ist doch ein ziemlich eng begrenzter Standpunkt, wenn man bei der Schweiz hinsichtlich der natürlichen Erzvorkommen und der Erzgewinnung nur die Landesgrenzen ins Auge faßt. Viel richtiger ist es doch wohl, hierbei die Schweiz nur als einen Teil der ganzen Alpenkette aufzufassen, d. h. den Blick auch auf die übrigen Alpentheile zu richten. Da haben wir im Tiroler- und zumal im Kärtner-Lande genügende, z. T. berühmte Erzvorkommen und eine Eisen-, Blei- und Zink-Erzgewinnung, die ihre Jahreserzeugung nach Tausenden von Tonnen bemessen kann; es sei nur an Bleiberg und an die Quecksilbererzgewinnung in den Julischen Alpen (Idria) erinnert. — Geradezu flüchtig und willkürlich muß ferner die Behandlung des Sprachlichen, besonders des Etymologischen, genannt werden; beim Wort Aräometer heißt es in der Fußnote (S. 227) gr. „arëion = stärker!“ Ferner τόμος = Teil, molëculum = kleine Masse; lignis = Holz usw. Auch die Wortbildung „Sulfidieren“ reiht sich hier an. Das Geschichtliche, diese wichtige Seite des chemischen Unterrichts, ist ganz unzulänglich behandelt; den Sauerstoff soll Lavoisier, und zwar „gemeinsam mit Priestley“, entdeckt haben! Scheele wird dabei gar nicht erwähnt, auch sonst wohl nirgends, jedenfalls fehlt er im Register. Robert Boyle tritt als Boyl auf, der Galliumentdecker Lecoq de Boisbaudran als „der Franzose Boisbandron“, als Begründer der el. Dissoziationstheorie „Arrhenius, Professor in Berlin“ usw. — Auch das Figürliche hält den Vergleich mit dem Original nicht aus; es scheinen vielfach unbrauchbar gewordene Klischees verwendet zu sein. Aus allem ergibt sich, daß das Arendtsche Vorbild dem vorliegenden Buche bei weitem vorzuziehen ist, sofern man überhaupt gewillt ist, dieser Methode zu folgen. Auch die Grundabsicht, ein „Chemiebuch für sämtliche schweizerischen Mittelschulen“ — also nicht nur für das Gymnasium und die Oberrealschule, sondern auch für das Seminar, die Handelsschule und das Technikum — schaffen zu wollen, muß man als verfehlt bezeichnen.

Schließlich legt der Verfasser noch offenbar besonderen Wert auf das „schweizerische Gepräge“ seines Buches; er wünscht nicht, mit den Schulbüchern „für immer auf das Ausland angewiesen zu bleiben“. Referent verhehlt nicht,

daß ihn solche Anschauungen eigenartig berührt haben. Methodische Bestrebungen und gute brauchbare Schulbücher sind doch Gemeingut aller Länder und Landesteile deutscher Zunge. Referent hat wenigstens bei der Besprechung einer schweizerischen Arbeit — etwa eines Rüst (*ds. Zeitschr.* 27, 198) oder eines Egli (*ds. Zeitschr.* 16, 59; 17, 114) — niemals die Empfindung gehabt, die Leistung eines „Ausländers“ zu begutachten. Gewiß ist es gerechtfertigt, das besonders Kennzeichnende oder Wissenswerte eines Landes, einer Provinz oder eines noch engeren Bezirkes auch im Unterricht der betreffenden Schulen vorzubringen, und es ist anzuerkennen, daß für die Schweiz hier der Verfasser manches Beachtenswerte herbeigeschafft hat. Aber das läßt sich doch anders einrichten, als daß jedesmal ein besonderes Buch mit dem entsprechenden Gepräge geschrieben würde. Uns schwebt, zunächst für die Schweiz, der Gedanke vor, es möchte auf Grund von Vereins- und Versammlungs-Aussprachen ein Kanon des für die Schweiz spezifisch Wissenswerten (auf dem Gebiet der chemischen Wissenschaft und Technik) zusammengestellt, von sachkundiger Hand redigiert, in einer Reihe von Aufsätzen in einer Zeitschrift, etwa dem Züricher Unterrichtsblatt „Erfahrungen“, veröffentlicht und als Sonderausgabe allen Lehrkräften zugänglich gemacht werden, so daß diese in der Lage sind, das jeweilige Wichtige an geeigneter Stelle in ihren Unterricht einzuflechten, gleichviel ob ein reichsdeutsches, schweizerisches oder österreichisches Lehrbuch eingeführt ist. Nach meiner durch jahrzehntelange Tätigkeit an unserer Zeitschr. f. d. physik. u. chem. Unterricht gewonnenen Kenntnis der schweizerischen methodischen Bestrebungen könnte es nicht schwer fallen, für diese dankenswerte Aufgabe die geeigneten Kräfte zu finden. Verwirklicht sich der Gedanke, so wäre es dem vorliegenden Buche als Verdienst anzurechnen, daß es für diese nützliche Sache, wenn auch unbeabsichtigt, den Anlaß gegeben hat.

O. Ohmann.

Die Bausteine des Tierkörpers in polarisiertem Lichte. Von Dr. W. J. SCHMIDT, a. o. Professor an der Universität Bonn. Mit 230 Abbildungen im Text. VII u. 582 Seiten. Bonn, Friedrich Cohen, 1924. G.-M. 22.—.

Wenn in einer der Physik und Chemie gewidmeten Zeitschrift ein Werk aus dem Gebiete

der Zoologie besprochen wird, so bedarf das besonderer Begründung. Es soll gezeigt werden, in wie weitgehendem Maße Erkenntnisse, die in einer Wissenschaft gewonnen werden, in eine andere, sehr entfernte übergehen können, wie sie hier befruchtend einwirken und zu neuen großen Erfolgen führen. Gleichzeitig soll aber denjenigen Lesern, die sich mit der Zoologie beschäftigen, ein Weg gezeigt werden, den zu beschreiten äußerst lohnend ist.

Seit Valentino im Jahre 1861 sein Werk: „Die Untersuchung der Pflanzen- und der Tiergewebe im polarisierten Licht“ herausgab, ist kein zusammenfassendes Werk über das Gebiet erschienen. Nun bietet der Verfasser eine auf eigene Untersuchungen gestützte Gesamtdarstellung unserer heutigen Kenntnisse über das Verhalten der Bausteine des Körpers in polarisiertem Lichte innerhalb des ganzen Tierreiches dar. Um jedem Zoologen die Handhabung des Polarisationsmikroskops leicht zu machen, bringen die ersten 64 Seiten eine eingehende Beschreibung des Untersuchungsverfahrens. Die Apparatur, die Erscheinungen an doppelbrechenden Objekten, insbesondere bei Kristallen zwischen gekreuzten Nikols, die Beschreibung der Doppelbrechungserscheinungen bei Nichtkristallen, sowie die Herstellung und Untersuchung der Präparate werden so eingehend behandelt, daß bei gewissenhaftem Arbeiten Fehlschläge ausgeschlossen erscheinen.

In drei großen Hauptteilen folgt nun die Schilderung der Skelettbildungen des Tierkörpers, der alloplasmatischen Bildungen und der ergastischen Bildungen in polarisiertem Lichte. Einen Begriff von der Reichhaltigkeit des Gebotenen erhält man, wenn man sieht, daß den querstreiften Myofibrillen nicht weniger als fast zwei Bogen gewidmet sind. Je ein reichhaltiges Namen-, Tier- und Sachverzeichnis machen die Benutzung des Buches zu einer sehr angenehmen. Die Ausstattung mit Bildern ist mustergültig. Die Zitierung der Literatur ist erschöpfend und genau.

Ist auch das Werk für den Zoologen bestimmt, so sei es doch dem Physiker und Chemiker empfohlen, denn niemand wird es aus der Hand legen, ohne stärkste Anreize empfangen zu haben, den Gedanken des Verfassers in der Praxis zu folgen. Besonderen Dank aber wissen die Zoologen zu sagen, denn das Gebiet ihres Forschens ist seit Erscheinen des Werkes erheblich erweitert.

Herberg.

Aus Werkstätten.

Spiralfeder für Resonanzversuche nach Wilberforce. Von E. Leybold's Nachfolger, A.-G. in Köln.

Aus 1 mm dickem Stahldraht ist eine etwa 30 mm weite Spirale von 140–150 Windungen gewickelt. An dem einen Ende ist koaxial zur Spirale ein schwerer Eisenzylinder befestigt, der mit vier zueinander senkrechtstehenden radialen

Stiften versehen ist. Jeder dieser Stifte trägt eine flache Metallscheibe, die mittels eines auf den Stift und in die Scheibe geschnittenen Gewindes der Zylinderachse genähert oder von ihr entfernt werden kann, so daß das Trägheitsmoment des Eisenzylinders in weiten Grenzen verstellbar ist.

Zur Anstellung des Versuchs befestigt man

das freie Ende der Spiralfeder z. B. vermittels einer Schraubzwinge an einem Deckenbalken oder an einer anderen mit der Decke oder der Zimmerwand fest verbundenen Stütze. (Höhe über dem Fußboden etwa $3\frac{1}{2}$ bis 4 m). Bringt man nun die Spirale durch Herunterziehen des Gewichtes zum Schwingen, so treten bald neben den ursprünglichen Längsschwingungen auch Drehschwingungen der Spiralfeder auf. Diese beiden Schwingungen haben im allgemeinen verschiedene Frequenz. Macht man sie durch geeignete Änderung des Trägheitsmomentes des Belastungsgewichtes gleich, so tritt Resonanz auf, d. h. die Feder schwingt so, daß bald die Längs-, bald die Drehschwingung vollständig aussetzt.

Der Versuch kann auch so ausgeführt werden, daß man die Feder zuerst durch Verdrillen (aber ohne die Federlänge zu verändern) in Drehschwingung versetzt, die nach und nach vollständig in die Längsschwingung übergeht.

Literatur: Phil. Mag. (5) 88, S. 386, 1894; Beibl. 19, S. 230, 1895. — Sommerfeldt, Wüllner-Festschrift S. 162, 1905; Beibl. 30, S. 10, 1906.

Ein handlicher Wasserzersetzungs-Apparat. Von Dr. Carl Goereki, Inh. Dr. F. Taurke in Dortmund, Saarbrückerstr. 29.

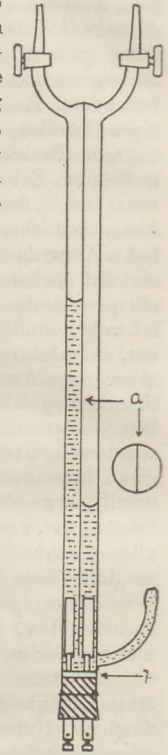
Der Wasserzersetzungs-Apparat nach Hofmann ist eine Quelle von Unannehmlichkeiten, da er infolge der Sperrigkeit der 3 Röhren und der leicht abbrechenden Platinösen ständig reparaturbedürftig ist. Die nebenstehend abgebildete Abänderung verringert diese Unannehmlichkeiten erheblich. Statt der 3 Röhren — die noch dazu

meist nicht in einer Ebene angebracht waren —, ist nur eine in Meßrohr vorhanden, das durch eine Scheidewand (nicht ganz bis zum Boden reichend) in 2 Hälften von halbkreisförmigem Querschnitt zerlegt ist. Die Elektroden befinden sich im unteren Teil des Rohres an der Stelle, an welcher die Scheidewand eben aufhört. So wird an Stelle zweier ziemlich dünnen und zerbrechlichen Meßröhren nur eine stabile Röhre mit natürlich nur einer Teilung verwendet. Zugleich wird erreicht, daß die abzulesenden Gasvolumina direkt nebeneinander liegen und leicht vergleichbar sind. Das Niveauröhr ist durch eine Niveaubirne mit Schlauch ersetzt.

Die Elektrodenbleche sind an Glasrohren angeschmolzen, durch einen Gummistopfen geführt und mit Klemmen versehen, so daß hier kein Bruch eintreten kann. Um eine Lockerung des Stopfens zu verhindern sind Paraffinspäne durch das seitliche Ansatzrohr über den Stopfen gebracht und durch Eintauchen des Apparatenendes in ein Wasserbad, das bis zum Schmelzen des Paraffins erwärmt wird, zu einer 5–6 mm starken Dichtungsplatte *b* auf dem Stopfen zusammengeschmolzen. Es ist so ein sicherer und durchaus leicht lösbarer Verschluss erzielt.

Auf Wunsch werden auch die beiden Hähne nicht angeschmolzen, sondern mit Gummischlauch an kurze Ansatzstutzen befestigt, so daß die Gefahr des Bruches noch weiter verringert, oder, falls er doch eingetreten sein sollte, die Beschaffung eines Ersatzteiles wesentlich erleichtert ist.

Der Preis des handlichen und leicht zu befestigenden Apparates ist dabei niedriger als in der alten Ausführung.



Vereine und Versammlungen.

Von der 88. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte in Innsbruck vom 22. bis 27. Sept. 1924.

In der vereinigten Sitzung der mathematischen und der Unterrichtsabteilung am 22. September sprach WUNDERLICH (Oldenburg) über den Kulturwert der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächer; er behandelte im besonderen den Einfluß des Kopernikanischen Weltsystems, der Darwinschen Abstammungslehre und des Prinzips von der Erhaltung der Energie. Zu einer Weltanschauung gehöre auch eine Kenntnis des sachlichen Inhalts der exakten Wissenschaft; daher dürfen die exakten Wissenschaften in der Schule nicht ungebührlich herabgesetzt werden, wie es die preußische „Neuordnung“ will.

In den weiteren Sitzungen der Unterrichtsabteilung kamen folgende Gegenstände physikalischen Inhalts zur Verhandlung.

POSKE (Berlin) behandelte „Die Ideen Alois Höflers über den Unterricht im allgemeinen und den Physikunterricht im besonderen“. Höfler ist von der Einzelaufgabe der Vervollkommnung des Physikunterrichtes aufgestiegen bis zu den umfassendsten Aufgaben des Unterrichts und der Erziehung und zu dem großzügigen Plan einer Reform des gesamten österreichischen Unterrichtswesens, dessen Verwirklichung ihm leider versagt geblieben ist. Von seinen Ideen über den Unterricht im allgemeinen ist besonders der Gedanke der wechselseitigen Beziehung aller Unterrichtsfächer aufeinander hervorzuheben; zunächst

für die realistischen Fächer unter sich, so daß durch sie insgesamt ein einheitliches Bild der Natur in den Schülern hervorgebracht wird, dann aber auch für die realistischen und die humanistischen Fächer zueinander. Auf dem Gebiete des Physikunterrichtes spielt der Gedanke von den humanistischen Aufgaben dieses Unterrichtes bei Höfler eine Hauptrolle, ebenso wichtig aber war ihm die Zusammenfassung des Lehrstoffes zu großen zusammenhängenden Einheiten und auch zu kleineren sogenannten didaktischen Einheiten. Der Gedanke des Aufstieges vom einzelnen zum allgemeinen war bei Höfler so sehr zum Lebenselement geworden, daß er sich selbst als Fanatiker der regressiven Methode bezeichnet hat. Was er die Ideale des Realismus nannte, war die Hinwendung vom Abstrakten und vom Intellektualistischen zum Erlebnis selbst, dies gilt für die realistischen nicht weniger wie für die humanistischen Fächer. Schließlich wollte er auch in der Physik den Hinweis nicht vermissen, daß nicht bloß die Außenwelt real, sondern daß das Seelische im Menschen das Allerrealste sei. Seine Didaktik als Lebenswerk ist ein Torso geblieben, aber sein Wirken und Schaffen wird in seinem österreichischen wie im großen deutschen Vaterlande unvergessen sein.

O. DOBROWOLNY (Wien) sprach über einen neuen Weg im physikalischen Unterricht, der

im wesentlichen in Schülerübungen innerhalb der obligaten Unterrichtszeit besteht.

M. PRODINGER (Wien) sprach über physikalische Schülerübungen mit Rücksicht auf deren Durchführbarkeit mit beschränkten Betriebsmitteln.

K. KRUSE (Innsbruck) führte Versuche zur Physik der Gase vor; die Beschreibung wird in dieser Zeitschrift erfolgen; derselbe zeigte Versuche mit dem Dasymer (vgl. *ds. Zeitschr.* 36, 159.)

R. SCHUMANN (Heide) führte das Modell seines Apparats zur Erklärung von Ebbe und Flut vor (vgl. *ds. Zeitschr.* 36, 177).

E. E. SCHILD (Wien): Über das Mikroskop im Unterricht.

K. SCHÜTT (Hamburg): Über die Behandlung der Formel $T = 2\pi \sqrt{LC}$ im Unterricht. Der Vortrag wird in dieser Zeitschrift erscheinen.

H. GRAZIADEL (Innsbruck) führte eine Radioempfangsstation mit 4 Röhren vor, deren Bestandteile eigene Laboratoriumsarbeit waren und die sich durch übersichtliche, für den Unterricht geeignete Anordnung auszeichnet.

A. LANNER (Innsbruck) demonstrierte einen Sonnenstandsmesser. —

Vorträge oder Vorführungen chemischen Inhalts sind nicht geboten worden. Über die mathematischen und biologischen Vorträge findet man näheres in den Unterrichtsblättern f. Math. u. Naturw. 1924, Nr. 7/8.

Korrespondenz.

Zu dem Aufsatz: „Über eine Gesichtstäuschung“ von Prof. Dr. K. ROSENBERG auf Seite 160 dieses Jahrgangs.

Die Beobachtungen, die Herr Prof. ROSENBERG an einem aus Drahtnetz hergestellten Würfelmantel gemacht hat, lassen sich ganz entsprechend, aber noch einfacher an einer aus drei Quadraten aus weißem Karton gebildeten körperlichen Ecke machen, die man bei geeigneter Beleuchtung von der Innenseite betrachtet. Eine solche Ecke ist seit langer Zeit im Deutschen Museum zu München ausgestellt. Sie erscheint bei Betrachtung mit einem Auge konvex, da wir gewohnt sind, im Leben fast nur konvexe Ecken zu sehen. Die scheinbaren Drehbewegungen, die die Ecke bei Bewegung des betrachtenden Auges ausführt, sind ebenfalls sehr deutlich zu erkennen. Neben dieser höchst einfachen Vorrichtung liegt im Deutschen Museum noch der Gipsabdruck einer Medaille, bei der man bei zweiäugigem Betrachten natürlich erkennt, daß die Prägung nicht erhaben, wie bei der Medaille selbst, sondern vertieft ist (sog. Matrize). Sobald man diesen Medaillenabguß bei seitlicher Beleuchtung jedoch nur mit einem Auge betrachtet, erscheint die Prägung alsbald erhaben wie bei der Münze, nur daß das Licht von der entgegengesetzten Seite zu kommen scheint. Auch diese Täuschung ist auf die Gewohnheit zurückzuführen, da wir sehr oft erhabene geprägte Medaillen oder Münzen, sehr selten aber deren Matrizen zu sehen bekommen. An sich wären infolge der mangelnden Tiefenwahr-

nehmung beim einäugigen Sehen beide Wahrnehmungen (vertieft und erhaben) gleich möglich, nur wird die eine durch die Macht der Gewohnheit bevorzugt, während bei dem ROSENBERG'schen Drahtmantel es der Willkür des Beschauers, d. h. einer Art Autosuggestion, überlassen bleibt, welche Auffassung zustande kommt.

Ich möchte im Anschluß hieran auf einen anderen Fall von Autosuggestion hinweisen, auf den ich im Unterricht bei Gelegenheit der Besprechung der Unmöglichkeit, eine gleichförmige Bewegung zu fühlen, hinzuweisen pflegte. Schließt man bei einer Eisenbahnfahrt die Augen, so kann man sich leicht in etwa einer halben Minute einreden, man führe in der entgegengesetzten Richtung, so daß man beim Öffnen der Augen förmlich überrascht wird. Da wir nur die Erschütterungen fühlen, können wir die wahre Richtung der Bewegung nur mit Hilfe der ruhenden Vergleichsobjekte feststellen. Es bietet sich also hier im Physikunterricht eine gute Gelegenheit, den fürs Leben so wichtigen Begriff der Autosuggestion klar zu machen.

F. Koerber, Berlin-Lichterfelde.

Zur Erinnerung an Ernst Grimsehl. Am 11. November 1924 waren zehn leidenvolle Jahre vergangen seit dem Heldentod unseres unvergeßlichen vorbildlichen Führers ERNST GRIMSEHL. Dieses Tages auch in unserer Zeitschrift zu gedenken ist uns Bedürfnis und Pflicht. P.

Himmelserscheinungen im Januar und Februar 1925.

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

W. Z. 0h	Januar							Februar					März 2
	1	6	11	16	21	26	31	5	10	15	20	25	
♄ {	AR 17h 59m	17.47	17.51	18.6	18.29	18.55	19.24	19.55	20.27	21.00	21.33	22.7	22.41
	D -20,3°	-20,3	-20,9	-21,7	-22,4	-22,7	-22,6	-21,9	-20,8	-19,0	-16,8	-13,9	-10,5
♀ {	AR 16h 45m	17.12	17.39	18.6	18.33	19.00	19.27	19.54	20.20	20.46	21.11	21.36	22.00
	D -21,2°	-22,0	-22,6	-22,9	-22,9	-22,7	-22,1	-21,3	-20,2	-18,6	-17,2	-15,4	-13,5
☉ {	AR 18h 44m	19.6	19.28	19.49	20.11	20.32	20.52	21.13	21.33	21.52	22.12	22.31	22.50
	D -23,1°	-22,6	-21,9	-21,1	-20,1	-18,9	-17,6	-16,1	-14,6	-12,9	-11,2	-9,4	-7,5
♂ {	AR 0h 28m	0.39	0.51	1.2	1.14	1.26	1.38	1.50	2.2	2.14	2.27	2.39	2.52
	D +3,0°	+4,4	+5,7	+7,0	+8,3	+9,5	+10,8	+12,0	+13,2	+14,3	+15,4	+16,4	+17,4
♃ {	AR 18h 14m		18.24		18.33		18.43		18.52		19.00		19.8
	D -23,3°		-23,2		-23,1		-23,0		-22,8		-22,6		-22,5
♅ {	AR 14h 41m				14.47				14.50				14.50
	D -13,3°				-13,6				-13,8				-13,7

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

Δ	6h	7.	7.	7.	7.	8.	8.	9.	9.	9.	10.	10.	
Zeitgl.	40m 31s	0.13	19.56	39.39	59.22	19.5	38.47	58.30	18.13	37.56	57.38	17.21	37.4
	+3m 21s	+5.40	+7.47	+9.39	+11.15	+12.33	+13.31	+14.7	+14.23	+14.18	+13.59	+13.21	+12.29

Breite v. Berlin (52° 30'). Länge v. Stargard. Aufgang u. Untergang d. ob. ☉-Randes. St. Z.

Aufg.	8h 11m	8.10	8.7	8.3	7.58	7.51	7.44	7.36	7.27	7.18	7.7	6.57	6.46
Unterg.	15h 57m	16.2	16.9	16.16	16.25	16.34	16.44	16.53	17.2	17.12	17.21	17.30	17.40
Breite v. Berlin (52° 30'). Länge v. Stargard. Aufgang u. Untergang d. ob. ☾-Randes. St. Z.													
Aufg.	11h 51m	13.50	17.42	23.20	4.23	8.59	11.1	13.45	18.49	—	5.25	8.17	10.24
Unterg.	—	4.33	8.46	10.57	13.23	19.15	0.7	5.15	8.15	10.15	14.5	20.32	1.9

Mondphasen W. Z.	Neumond		Erstes Viertel		Vollmond		Letztes Viertel	
		Jan. 24.	14h 45.0m	Jan. 31.	16h 43.1m	Jan. 10.	2h 47.3m	Jan. 17.
	Febr. 23.	2h 12.0m	März 2.	12h 6.6m	Febr. 8.	21h 49.1m	Febr. 16.	9h 41.4m

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

I	II	III
Febr. 3. 6h 25,5m E	Febr. 2. 6h 9,0m E	—

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

St. Z.	♃ Morgenstern	♀ Morgenstern	♂ (L, J)	♃ (Wg)	♃ (Jungfrau)
Jan. 1.	—	A 6,1h Dm 7,9h	Da 16,8h U 0,1h	—	A 3,1h Dm 7,0h
" 11.	A 6,4h Dm 7,1h	A 6,4h Dm 7,7h	Da 17,0h U 0,1h	(7,3)	A 2,5h Dm 6,9h
" 21.	A 6,6h Dm 6,9h	A 6,7h Dm 7,5h	Da 17,3h U 0,0h	A 6,7h Dm 7,0h	A 1,9h Dm 6,8h
" 31.	(6,9h)	A 6,8h Dm 7,3h	Da 17,6h U 0,0h	A 6,2h Dm 6,9h	A 1,3h Dm 6,5h
Febr. 10.	—	A 6,8h Dm 7,1h	Da 17,9h U 0,0h	A 5,7h Dm 6,6h	A 0,7h Dm 6,3h
" 20.	—	A 6,7h Dm 6,8h	Da 18,3h U 0,0h	A 5,2h Dm 6,2h	A 0,1h Dm 6,0h
März 2.	—	(6,6h)	Da 18,6h U 0,0h	A 4,6h Dm 5,8h	A 23,4h Dm 5,6h

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

W. Z. Merkur in Konjunktion mit Venus, Merkur 10° 9' N, Jan. 16, 7h. Merkur i. gr. Elong. 24°, Jan. 17. 22h. Sternbedeckungen: Aldebaran, Jan. 6. 16h 42,7m; Neptun, Jan. 12. 19h 43,6m; Aldebaran, Febr. 2. 23h 17,9m; Neptun, Febr. 9. 0h 43,6m.

Totale Sonnenfinsternis Jan. 24, Anfang 12h 41,4m, Ende 17h 5,8m.

Partielle Mondfinsternis Febr. 8, Anfang 20h 8,6m, Ende 23h 15,4m.

A. Weill.