

# ZEITSCHRIFT FÜR DEN PHYSIKALISCHEN UND CHEMISCHEN UNTERRICHT

52. JAHRGANG

1939

HEFT 3

## Das Cyclotron.

Von R. Fleischmann in Heidelberg.

### 1. Umwandelbarkeit der Atome.

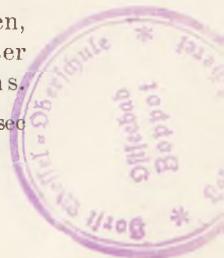
Bei chemischen Reaktionen wird stets ein gewisser Energiebetrag umgesetzt. Entweder wird Energie frei, oder es muß zum Ablauf der Reaktion Energie aufgewendet werden; man spricht dann von positiver oder negativer Energietönung. Betrachten wir zunächst ein Beispiel, bei dem Energie aufgewendet werden muß, etwa die Zerlegung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff. Dafür ist ein Energieaufwand von 68,4 kcal/Mol erforderlich. Das bedeutet, da ein Mol  $6,06 \cdot 10^{23}$  Moleküle enthält, daß jedem Molekül zur Umsetzung die Energie  $1,13 \cdot 10^{-19}$  cal =  $4,72 \cdot 10^{-19}$  Wattsec =  $2,95$  eV<sup>1</sup> zugeführt werden muß. Die bei derartigen Reaktionen frei werdenden oder aufzuwendenden Energien liegen durchweg bei wenigen e-Volt<sup>1</sup> je Molekül. Wesentlich höhere Energietönungen, etwa in der Größenordnung 1000 eV/Atom (23 000 kcal/Mol), kommen nicht vor.

Ganz anders ist es bei Atomumwandlungsvorgängen. Diese spielen sich nicht in der Elektronenhülle ab, wie die chemischen Vorgänge, sondern in den Atomkernen. Seit der Entdeckung der Kernumwandlung durch Lord RUTHERFORD im Jahre 1919 hat man eine recht große Zahl solcher Umwandlungsprozesse kennengelernt; es sind zur Zeit mehr als 400. Als erstes Beispiel wurde bekanntlich die Umwandlung von  ${}^7\text{N}^{14}$  durch schnell bewegte Heliumkerne ( $\alpha$ -Teilchen) in  ${}^8\text{O}^{17}$  und  ${}^1\text{H}^1$  aufgefunden. Damit die Umwandlung möglich ist, müssen die auf den  $\text{N}^{14}$ -Kern treffenden  $\alpha$ -Teilchen eine kinetische Energie besitzen, die mehr als 4,5 eMV beträgt. Diese Energie muß noch voll verfügbar sein, wenn ein einzelnes  $\alpha$ -Teilchen auf den Kern eines einzelnen Stickstoffatoms trifft. Da den  $\alpha$ -Teilchen beim Durchgang durch Materie auch durch Wechselwirkung mit der Elektronenhülle Energie entzogen wird, kann stets nur ein kleiner Teil der  $\alpha$ -Teilchen in genügend energiereichem Zustand einen Kern treffen und eine Umwandlung hervorrufen. Beim Eintreten einer Umwandlung kann dann wieder ein Energiebetrag von einigen eMV frei werden.

Auch andere Teilchen vermögen Umwandlungen hervorzurufen, nämlich Protonen (also schnell bewegte Wasserstoffatome), Deuteronen (also schnell bewegte Kerne des schweren Wasserstoffisotops mit dem Atomgewicht 2) und schließlich Neutronen, die aber vorerst aus unseren Betrachtungen ausscheiden. Solche Teilchen kann man erzeugen, indem man die geladenen Atome eines Kanalstrahls eine hohe elektrische Potentialdifferenz durchfallen läßt. Hat man die Spannung 1 000 000 Volt zur Verfügung, so lassen sich Protonen und Deuteronen von 1 eMV Energie/Atom erzeugen, oder  $\text{He}^{++}$ -Kanalstrahlen von 2 eMV/Atom.

Die Erscheinungen der Atomumwandlung wären wohl noch lange nicht für die Forschung erschlossen worden, wenn uns nicht die Natur Helium-Kanalstrahlen mit Energien bis 8,77 eMV ( $\text{ThC}'$ ) als  $\alpha$ -Strahlen zur Verfügung gestellt hätte. Diese Teilchen blieben länger als ein Jahrzehnt das einzige Hilfsmittel, mit dem eine Atomumwandlung überhaupt erzielt werden konnte. Es gibt heute Hochspannungsanlagen, die es gestatten, 2 bis 3 000 000 Volt an Kanalstrahlröhren zu legen. Ein besonders großer Fortschritt wurde aber erreicht durch die Idee und die Konstruktion des Cyclotrons.

<sup>1</sup> 1 eV = 1 Elementarladung · 1 Volt =  $1,60 \cdot 10^{-19}$  Ampsec · 1 Volt =  $1,60 \cdot 10^{-19}$  Wattsec =  $1,60 \cdot 10^{-12}$  erg;  $10^6$  eV = 1 eMV.



## 2. Prinzip des Cyclotrons.

Es hatte früher den Anschein, als ob zur Erzeugung von Kanalstrahlen mit Energien von einigen  $10^6$  eV/Atom die tatsächliche Erzeugung einer entsprechenden Spannung von einigen  $10^6$  Volt unbedingt erforderlich wäre. Wir wollen uns jetzt aber im Anschluß an E. O. LAWRENCE und M. ST. LIVINGSTON, die Erfinder des Cyclotrons, überlegen, daß das nicht zutrifft. Es gibt vielmehr eine Möglichkeit, die Kanalstrahlteilchen mehrmals der Wirkung einer geringeren elektrischen Spannung auszusetzen und sie dabei doch auf Geschwindigkeiten zu bringen, die dem Durchlaufen der hintereinandergeschalteten Spannung entsprechen würden. Das Cyclotron ist eine Vorrichtung, die das leistet. Es benötigt erstens eine hochfrequente elektrische Wechselspannung, zweitens ein sehr ausgedehntes und starkes homogenes magnetisches Feld.

Der erforderliche Magnet muß größenordnungsmäßig 15 000 oder 20 000 Gauß auf einer kreisförmigen Fläche mit rund 1 m Durchmesser erzeugen. Der Raum zwischen den Polstücken wird als Vakuumkammer ausgebildet. In ihrem Innern befindet sich ein kleinerer Teilraum von der Form einer flachen Dose, in dem sich die zu beschleunigenden Teilchen bewegen. Die Dose ist in zwei D-förmige Hälften unterteilt, die voneinander und von der Vakuumkammer isoliert sind und auf erhebliche elektrische Spannungen gebracht werden können. Wir bezeichnen sie im folgenden als Halbdosen oder als Elektroden (vgl. Fig. 1).

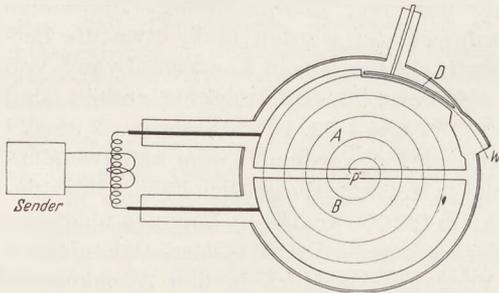


Fig. 1. Querschnitt der Vakuumkammer des Cyclotrons. *A* und *B* sind die beiden D-förmigen Halbdosen. Eine von *P* ausgehende Bahn eines Ions ist eingezeichnet. Das Magnetfeld verläuft senkrecht zur Ebene des Papiers.

Wir denken uns jetzt im Innern der Dose ein geladenes Teilchen (z. B. ein Proton), das sich mit großer Geschwindigkeit in der Ebene der Dose, also senkrecht zu den magnetischen Kraftlinien bewegt. Im Magnetfeld

unterliegt es bekanntlich einer elektrodynamischen Kraft senkrecht zu seiner Bewegungsrichtung und senkrecht zur Richtung der magnetischen Feldstärke. Es wird sich daher mit konstanter Geschwindigkeit auf einer Kreisbahn bewegen.

Wir nehmen jetzt weiter an, daß zwischen beiden Halbdosen ein konstantes elektrisches Feld bestehe. Die Bahn des Teilchens innerhalb der einen Halbdose wird dadurch nicht beeinflusst, denn das Teilchen befindet sich im Innern eines Metallkastens, gewissermaßen eines „Faraday-Käfigs“, in dem bekanntlich die elektrische Feldstärke immer gleich Null ist. Nur beim Übertritt von der einen Halbdose in die andere wirkt ein elektrisches Feld, und zwar beim Übertritt in der einen Richtung beschleunigend, in der umgekehrten Richtung verzögernd.

Werden die Elektroden aber in Verbindung mit einem hochfrequenten elektrischen Generator, d. h. mit einem Kurzwellensender gebracht, so läßt sich der Umlauf des Teilchens mit dem Wechsel des elektrischen Feldes synchronisieren. Habe das Wechselfeld gerade sein Maximum und geeignetes Vorzeichen in dem Augenblick, in welchem das Teilchen von der einen in die andere Halbdose übertritt, so wird es beschleunigt. Es läuft dann im elektrisch feldfreien Raum (wegen des magnetischen Feldes auf einer kreisförmigen Bahn) mit unveränderter Geschwindigkeit weiter, bis es die Grenze der Halbdose in umgekehrter Richtung wieder erreicht. Wenn die Frequenz des elektrischen Feldes geeignet gewählt wurde, hat das Wechselfeld seine Phase gerade um  $180^\circ$  geändert, es besitzt also umgekehrte Richtung. Die Feldänderung zwischen den beiden Halbdosen, die seit dem Zeitpunkte des Übertritts erfolgt ist, hat auf das Proton bis jetzt keinerlei Wirkung ausgeübt. Erst beim umgekehrten Übertritt aus der zweiten in die erste treten elektrische Kräfte auf, und zwar tritt wegen gleichzeitiger Umkehr der Bewegungsrichtung und der Feldrichtung nochmals Beschleunigung ein. Das Teilchen beschreibt dann wieder eine Halbkreisbahn, jedoch mit

etwas größerem Halbmesser, und findet beim nächsten Übertritt wieder umgekehrtes, also nochmals beschleunigendes elektrisches Feld vor usw. Die Beschleunigungsenergie wird dem Sender entnommen. Der Magnet hat nur die Aufgabe, die Bahn des Teilchens zu krümmen, er leistet aber keine Arbeit.

Das ganze Verfahren kann nur deshalb so ablaufen und zu immer größerer Teilchengeschwindigkeit führen, weil die Zeitdauer, die ein Teilchen braucht, um einen Halbkreis in einer Halbdose zu beschreiben, von seiner Geschwindigkeit unabhängig ist. Die Geschwindigkeit wächst genau im selben Maße wie der durchlaufene Weg. Es entsteht so eine Resonanz zwischen der Frequenz des elektrischen Wechselfeldes und der Umlauffrequenz der Teilchen. Daher wurde das Cyclotron ursprünglich „magnetischer Resonanzbeschleuniger“ genannt.

Das geschilderte einfache Bild bedarf noch einiger ergänzenden Bemerkungen. Es hat den Anschein, als ob nur solche Teilchen, die anfangs genau in der Ebene der Dose verlaufen, Aussicht haben, mehrere Umläufe zu vollführen, ohne an die Wand der Dose zu stoßen. Es zeigt sich aber, daß die geschilderte Anordnung fokussierende Eigenschaften besitzt, und zwar infolge elektrischer Wirkungen, solange das Teilchen noch mäßige Energie besitzt, und infolge magnetischer Wirkungen, falls die Teilchenenergie schon sehr groß ist. In Fig. 2 a ist der elektrische Feldverlauf an der Grenze der beiden Halbdosen dargestellt. Der Weg eines Teilchens, das sich in einem gewissen Abstände von der Mittelebene bewegt, wird, wie man sieht, durch den elektrischen Feldverlauf von selbst wieder näher an die Mittelebene herangebracht. Diese Wirkung ist besonders groß, solange das Teilchen noch ziemlich geringe kinetische Energie besitzt. Falls das Teilchen schon auf einer Bahn verläuft, deren Halbmesser an den der Polstücke heranreicht, so lenken magnetische Wirkungen das Teilchen zur Mittelebene hin. In Fig. 2 b ist der Verlauf der magnetischen Kraftlinien in der Nähe des Randes des Magnetfeldes wiedergegeben. Durch das Ausbiegen der Kraftlinien ist die auf das bewegte Teilchen wirkende Kraft etwas zur Mittelebene hin gerichtet. Es gelingt dadurch auch, den austretenden Teilchenstrahl ziemlich eng beisammen zu halten.

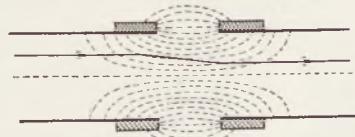


Fig. 2 a. Verlauf der elektrischen Feldlinien an der Grenze der Halbdosen. Elektrische Fokussierung.

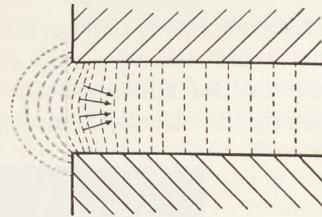


Fig. 2 b. Verlauf der magnetischen Feldlinien am Rande des Feldes. Magnetische Fokussierung.

Bisher haben wir das zu beschleunigende Teilchen als gegeben angenommen, ohne seine Erzeugung im Innern der beiden Halbdosen zu erwähnen. Die Ionen-erzeugung geschieht meist mit Hilfe eines Elektronenbündels, das den Raum zwischen den beiden Halbdosen in der Richtung des magnetischen Feldes durchsetzt. Dieser Raum und damit die ganze Vakuumkammer muß mit Gas von geringem Druck (etwa  $10^{-4}$  mm Hg) erfüllt sein; dann werden auf dem Wege der Elektronen genügend viele Ionen erzeugt. Diese werden vom Hochfrequenzfeld erfaßt und vollführen ihre Umläufe. Der Gasdruck muß so niedrig gehalten werden, daß zwischen den Halbdosen noch keine Gasentladung entsteht. Andererseits soll der Gasdruck möglichst hoch sein, damit viele Ionen gebildet werden und das Cyclotron große Intensitäten liefert. Um stets reines Gas im Cyclotron zu haben, läßt man dauernd etwas Gas einströmen und pumpt gleichzeitig ab. Zur Füllung wird gewöhnlicher Wasserstoff, schwerer Wasserstoff oder Helium verwendet, je nach der Teilchenart, die erzeugt werden soll. Der Ort der Ionenquelle ist ungefähr so zu wählen, daß der Mittelpunkt der ersten halbkreisförmigen Bahn mit der Mitte der Beschleunigungskammer zusammenfällt.

Schließlich müssen die Teilchen, nachdem sie die Grenze des Magnetfeldes fast erreicht haben, noch nach außen abgelenkt werden zu dem Ort, wo die zu bestrahlenden Stoffe aufgestellt werden. Das geschieht mit Hilfe eines elektrischen Feldes. Man



bringt am Rand einen Metallstreifen an, nahezu parallel zum seitlichen Rande der Beschleunigungsdosen, und bringt ihn auf hohes negatives Potential. Der Ionenstrahl wird dadurch nach außen abgelenkt.

An dieser Stelle sollen noch einige Zahlen angegeben werden über die verwendeten Spannungen, Felder und dgl. Das von E. O. LAWRENCE und M. ST. LIVING-

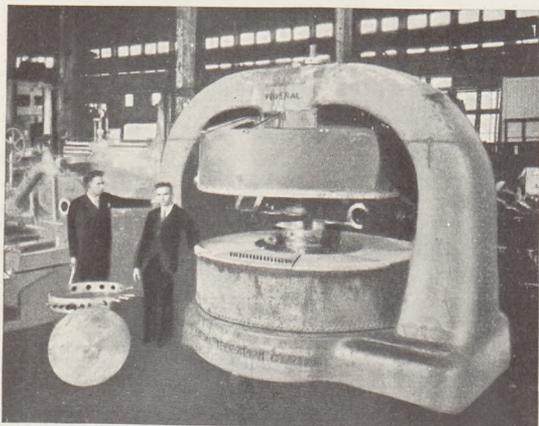


Fig. 3. Cyclotron von O. E. LAWRENCE und M. ST. LIVINGSTON in Berkeley, Kalifornien.

STON in Berkeley seinerzeit gebaute und betriebene Cyclotron von 70 cm ( $27\frac{1}{2}$  inch) Durchmesser und 9 cm lichter Höhe der Vakuumkammer hat als Vorbild für die meisten später gebauten Apparate gedient; Fig. 3 gibt ein Bild davon. Inzwischen wurden neue Polstücke in den Magnet eingesetzt und eine neue Kammer mit 94 cm (37 inch) Durchmesser gebaut. Die Wechselspannung an den Halbdosen beträgt jetzt 90 kV, das Magnetfeld 15 150 Gauß, der Krümmungsradius beim Austritt 38 cm. Das Gewicht der Eisenteile des Magneten beträgt 65 t, das der Kupferspulen 9 t. Die Hochfrequenz entspricht der Wellenlänge 26 m, der Aufwand für den Sender

beträgt 25 kW. Damit kann man heute  $\alpha$ -Teilchen von 16 eMV bei 1  $\mu$ Amp und Deuteronen von 8 eMV bei 90  $\mu$ Amp erzeugen. Die Energie wird in etwa 45 vollen Umläufen erreicht. An anderer Stelle wurden Protonen bis 6,3 eMV hergestellt. Einen in Luft austretenden Deuteronenstrahl mit der Energie von 10,2 eMV je Teilchen zeigt Fig. 4.

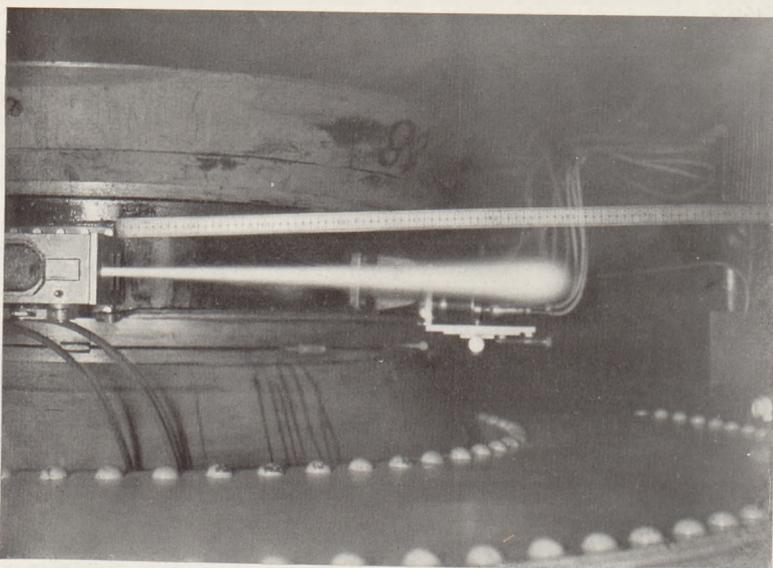


Fig. 4. Deuteronenstrahl von 10,2 eMV, durch ein dünnes Fenster in Luft austretend, Länge 60 cm. Cyclotron der Biochemical Research Foundation des FRANKLIN-Instituts in Swarthmore, Pennsylvanien.

In den Vereinigten Staaten sind über 30 Cyclotrone im Bau oder in Betrieb. In Europa stehen solche Apparate im Betrieb in Kopenhagen, Cambridge, Liverpool, im Bau in Paris, Zürich, Stockholm und soviel bekannt, in Leningrad und Charkow. Zwei Cyclotrone befinden sich in Japan, eines im Betrieb, eines im Bau. In Deutschland sind zwei Apparate geplant.

Wir gehen jetzt dazu über, die Einzelheiten der Wirkungsweise und des Baues zu besprechen. In Ziffer 3 wird insbesondere der quantitative Zusammenhang von Geschwindigkeit des Teilchens, Bahnradius, magnetischem Feld und Hochfrequenzwellenlänge behandelt, in Ziffer 4 der Magnet, in Ziffer 5 die Vakuumkammer des 94-cm-Cyclotrons von LAWRENCE, in Ziffer 6 der Sender und in Ziffer 7 einiges über die Anwendung des Cyclotrons.

### 3. Resonanzprinzip und Ionenerzeugung.

Wie oben schon besprochen, laufen die zu beschleunigenden Ionen auf Kreisbahnen im Innern der D-förmigen Elektroden. Der Krümmungsradius  $\rho$  eines Ions von der Geschwindigkeit  $v$  in einem homogenen magnetischen Felde der Induktion  $\mathfrak{B}$  ist<sup>1</sup>:  $\rho = \frac{1}{\mathfrak{B}} \cdot \frac{m}{e} \cdot v$ . Ferner ist die Umlaufzeit  $T$ , bezogen auf einen vollen Umlauf:  $T = \frac{2\pi \cdot \rho}{v} = \frac{2\pi}{\mathfrak{B}} \cdot \frac{m}{e}$ . Sie ist also unabhängig von der Lineargeschwindigkeit des Teilchens. Damit Resonanz zwischen der Frequenz des Umlaufs und der Frequenz des elektrischen Beschleunigungsfeldes besteht, muß die Dauer einer elektrischen Schwingung ebenfalls gleich  $T$  sein. Der Sender muß also eine Wellenlänge haben, die sich aus  $T = \frac{\lambda}{c}$  ergibt, wo  $c$  die Lichtgeschwindigkeit ist. Damit folgt als Resonanzbedingung für das Cyclotron  $\lambda \cdot \mathfrak{B} = 2\pi c \cdot \frac{m}{e}$ .

Für Protonen z. B. würde danach Resonanz bestehen bei dem magnetischen Feld 1 Voltsec/m<sup>2</sup> (10000 Gauß) für  $\lambda = 19,5\text{m}$ , für Deuteronen und  $\alpha$ -Teilchen bei gleichem Magnetfelde für  $\lambda = 39\text{ m}$ .

Die Geschwindigkeit der Teilchen wächst bei jedem Übertritt aus der einen D-förmigen Elektrode in die andere um den Betrag der zwischen den beiden Elektroden liegenden Spannung. Die Radien aufeinanderfolgender Halbkreisbahnen verhalten sich wie die Wurzeln aus der Zahlenfolge 1, 2, 3, 4, 5, . . . (vgl. unten). Durch das Bestehen der Resonanz zwischen Umlauf und elektrischer Wechselspannung bleibt jedes Teilchen in Resonanz, unabhängig davon, in welcher Phase der elektrischen Spannung es jeweils aus einer Elektrode in die andere übergeht. Geschieht das zufällig im Maximum der elektrischen Spannung, so genügen zum Erreichen einer gewissen Geschwindigkeit offenbar weniger Umläufe als in allen anderen Fällen.

Bezeichnen wir mit  $E$  die kinetische Energie des Teilchens, gemessen in Wattsec, so ergibt sich der Bahnradius des Teilchens aus

$$\rho = \frac{1}{\mathfrak{B}} \cdot \frac{\sqrt{2 E \cdot m}}{e} \quad \text{oder} \quad E = \frac{\rho^2 \cdot \mathfrak{B}^2 \cdot e^2}{2 m}.$$

Bezeichnen wir die gleiche Energie, gemessen in e-Volt, mit  $E'$ , dann ist

$$E' = \frac{\rho^2 \cdot \mathfrak{B}^2}{2} \cdot \frac{e}{m}.$$

Aus dieser Formel folgt, daß ein Cyclotron, welches ein Magnetfeld mit  $\mathfrak{B} = 1,515\text{ Voltsec/m}^2$  (15150 Gauß) und einem ausnutzbaren Radius  $\rho = 0,38\text{ m}$  besitzt, Protonen bis 16 eMV oder Deuteronen bis 8 eMV liefern kann. Die Wellenlänge des Senders muß in diesen beiden Fällen nach der Resonanzbedingung verschieden sein. Bei gleichem  $\lambda$  und gleichem Durchmesser des Magnetfeldes erhält man Protonen mit der Hälfte der Deuteronenenergie und benötigt dabei ein halb so starkes Magnetfeld. Der Betrag

<sup>1</sup> Maßsystem für alle Formeln ist das Volt-Amperesystem mit Meter als Längen-, Kilogramm als Massen- und Sekunde als Zeiteinheit, daher Kraft in Großdyn (1 Großdyn = 10<sup>7</sup> dyn, ferner 1 Großdyn · 1 m = 1 kg · 1  $\frac{\text{m}^2}{\text{sec}^2}$  = 1 Wattsec.) Hier ist also zu messen  $\rho$  in m,  $v$  in m/sec,  $\mathfrak{B}$  in Voltsec/m<sup>2</sup> (1 Voltsec/m<sup>2</sup> = 10000 Gauß), Masse des Protons  $m = 1,65 \cdot 10^{-27}\text{ kg}$ , für Deuteronen gilt (rund) 2  $m$ , für Helium-Teilchen (rund) 4  $m$ ; weiter ist die Elementarladung  $e = 1,60 \cdot 10^{-19}\text{ Ampsec}$ , für He<sup>++</sup> gilt 2  $e$ ; Lichtgeschwindigkeit  $c = 3 \cdot 10^8\text{ m/sec}$ . Vgl. R. W. Pohl, Einführung in die Elektrizitätslehre, 3. und 4. Auflage. (Berlin, J. Springer.)

der hochfrequenten Wechselspannung geht überhaupt nicht ein. Die erreichbare Teilchenenergie hängt nur von  $\rho \cdot \mathfrak{B}$  ab. Will man zu noch größerer Teilchenenergie gelangen, als sie bei den bisherigen Ausführungsformen möglich ist, so muß man erwägen, wo die kleinsten technischen Schwierigkeiten auftreten: bei Vergrößerung von  $\rho$  oder von  $\mathfrak{B}$  oder bei einer der Resonanzbedingung entsprechenden Verkleinerung von  $\lambda$ . Vorerst läßt sich  $\rho$  noch vergrößern. Bei LAWRENCE ist ein Cyclotron im Bau mit einem Magneten von 1,52 m Durchmesser. Aus der geometrischen Größe könnte man damit die 2,5fache Energie der Teilchen erwarten. Mit einem derartigen Magneten kann man auch schwerere Atome (z. B. Stickstoff) auf hohe Energien bringen.

Neue Gesichtspunkte treten jedoch auf, wenn die Teilchenenergie so groß geworden ist, daß die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Masse berücksichtigt werden muß. Die Vergrößerung der Masse eines Protons von 10 eMV beträgt rund 1%. Einer gewissen Energie- und Impulszunahme entspricht dann eine etwas kleinere Geschwindigkeitszunahme als bei langsameren Teilchen. Dadurch kommt das Teilchen schließlich außer Phase. Für Protonen tritt das bei etwa 12 eV, für Deuteronen bei etwa 17 eMV und für  $\alpha$ -Teilchen bei 34 eMV ein. Das sind die Grenzenergien, die vorerst im Cyclotron bestenfalls erreicht werden können.

Würde innerhalb der Dosen absolutes Vakuum herrschen, so könnte man mit sehr kleiner Amplitude der Hochfrequenzspannung auskommen. Der Betrieb der Ionenquelle setzt aber einen gewissen Gasdruck, etwa  $10^{-4}$  mm Hg, in der Beschleunigungskammer voraus. Größerem Gasdruck entsprechen stärkere Ionenströme und damit größere Intensitäten und umgekehrt. Der Druck darf aber, wie schon erwähnt, nicht so groß werden, daß selbständige Gasentladung eintritt. Mit dem Gasdruck steigt auch die Wahrscheinlichkeit für Zusammenstöße mit Gasatomen. Man muß daher möglichst große Hochfrequenzspannungen an die Halbdosen legen, um die Zahl der Umläufe der Teilchen und damit den zu durchlaufenden Gesamtweg zu verkleinern.

Untersucht man die Stromstärke im austretenden Teilchenstrom in Abhängigkeit von der Hochfrequenzspannung an den Halbdosen, so findet man eine außerordentlich große Zunahme mit der Hochfrequenzspannung. Man erhält also viel bessere Ausbeute, wenn die Endenergie der Teilchen in wenigen Umläufen erreicht wird. Die Ursache dafür liegt in Streu- und vor allem in Umladungsprozessen. Bekanntlich werden Wasserstoff-Kanalstrahlteilchen beim Durchgang durch Gas zum Teil in ungeladene Atome verwandelt. Elektrisch neutral gewordene Teilchen fliegen an die Wand und scheiden aus. Die Umladungswahrscheinlichkeit nimmt ab mit zunehmender Energie der Teilchen. Bewegen sich die Teilchen im Cyclotron infolge kleiner Hochfrequenzspannung lange mit geringer Energie, so ist die Wahrscheinlichkeit der Umladung sehr groß, die Ausbeute des Cyclotrons also sehr klein; sie steigt stark mit der Hochfrequenzspannung.

Bringt man Helium an Stelle von gewöhnlichem oder schwerem Wasserstoff in das Cyclotron, so entstehen einfach oder zweifach geladene Heliumteilchen. Die Umladungsvorgänge haben bei Helium zur Folge, daß nur ein kleiner Bruchteil in den allein erwünschten doppelten Ladungszustand ( $\text{He}^{++}$ -Teilchen) gelangt. Die vom Cyclotron in diesem Falle gelieferte Stromstärke ist daher viel kleiner als bei Protonen oder Deuteronen.

Oben ist erwähnt worden, daß zur Beschleunigung von Protonen verhältnismäßig kurze Wellenlängen erforderlich sind. Das hat zur Folge, daß die Kapazität der Halbdosen gegenüber der Vakuumkammer besonders gering gehalten werden muß, da der kapazitive Nebenschluß und die damit verbundenen Sekundärwirkungen einen Verlust an Hochfrequenzenergie zur Folge haben. Man muß daher den Polabstand des Magneten verhältnismäßig groß machen und die Halbdosen, deren Innenraum allein ausnutzbar ist, verhältnismäßig flach. Die magnetische Feldstärke eines derartigen Magneten nimmt etwa wie das Quadrat des Polabstandes ab. Eine Verkleinerung der lichten Weite der Halbdosen vermindert die Intensität (nicht die Energie!) der

gelieferten Teilchen. Man muß die beiden Einflüsse gegeneinander abwägen. Wegen Rücksichten dieser Art werden die Maße im Innern der Vakuumkammer etwas verschieden gewählt, wenn man Deuteronen oder  $\alpha$ -Teilchen statt Protonen erzeugen will, weil dann mit größerer Wellenlänge gearbeitet wird.

#### 4. Der Magnet.

Damit die Resonanzbedingung erfüllt werden kann, muß der Magnet, wie erwähnt, eine erhebliche Feldstärke besitzen. Es kommt darauf an, daß das Produkt  $\rho \cdot \mathfrak{B}$  möglichst groß ist. Um möglichst guten magnetischen Schluß zu erhalten, wird der Magnet in der Form mit Doppeljoch gebaut, vgl. Fig. 3. Die Polstücke tragen zwei gleichartige Spulen, die sich in geringem Abstand oberhalb und unterhalb des ausnutzbaren Feldraumes befinden. Bei dieser Anordnung treten seitlich aus den zylindrischen Polstücken fast keine unausnutzbaren Kraftlinien aus.

Zwischen den Polschuben und der eisernen Grund- und Deckplatte der Vakuumkammer wird ein Schlitz parallel zu ihrer Fläche frei gelassen (Shim-Spalt). Es ist also auf jeden der Polschuhe unter Freilassen eines kleinen Luftzwischenraumes je eine Eisenplatte aufgesetzt, die gleichzeitig die Vakuumkammer begrenzt. Das hat den Zweck, die magnetische Feldverteilung nachträglich noch beeinflussen zu können. Diese Feldkorrektur wird ausgeführt, wenn der Ionenstrahl bereits in Betrieb ist. Die Feldkorrektur ist außerordentlich wichtig und muß sehr sorgfältig ausgeführt werden, wenn die größten Energien erreicht werden sollen. Genaue Rechnungen zeigen, daß das Magnetfeld im Mittelpunkt etwa 0,9% größer sein soll, als der Resonanzbedingung entspricht und nach außen wie  $1 - 3 \cdot 10^{-3} \left(\frac{r}{R}\right)^2$  verlaufen soll, wo  $r$  der Abstand vom Mittelpunkt,  $R$  der Radius beim Austritt aus den Halbdosen ist. Dagegen kann eine Abweichung des Feldes von der Kreissymmetrie um 0,3% den austretenden Ionenstrahl auf  $\frac{1}{1000}$  seiner Intensität schwächen.

Um das Feld 18000 Gauß  $\left(1,8 \frac{\text{Vsec}}{\text{m}^2}\right)$  zu erreichen, benötigt man etwa 300 000 Ampere-Windungen. Der Betrieb des Magneten erfordert 30 bis 40 kW. Der Strom wird von einem Generator mit hoher Stromstärke und mäßiger Spannung geliefert. Man kann an der aufzuwendenden Energie sparen, indem man mehr Kupfer für die Spulen verwendet und umgekehrt; es sind also Anlagekapital und Betriebskosten gegeneinander abzuwägen.

Die Windungen der Kupferspulen werden gewöhnlich von einem Flüssigkeitsgefäß umschlossen, das zur Kühlung mit Öl gefüllt wird. Dieses wird dann durch eine Pumpe in Umlauf gehalten und in einem besonderen Kühler mit Hilfe von Wasser gekühlt. Während des Betriebes ändert sich trotz der Kühlung die Temperatur der Spulen merklich und damit auch der elektrische Widerstand. Um den Strom und das Magnetfeld dennoch konstant zu halten, wird meist eine automatisch wirkende Steuervorrichtung angewandt. Änderung des Magnetfeldes um 0,1% kann die Teilchenstromstärke auf  $\frac{1}{1000}$  vermindern.

Bei Magneten solcher Größe muß auch die Durchbiegung des Joches unter der Wirkung der magnetischen Kräfte, die Größe der elektrodynamischen Kräfte zwischen den Kupferspulen und Ähnliches genau in Rechnung gestellt werden.

#### 5. Die Vakuumkammer.

Die folgende Beschreibung bezieht sich auf die Kammer des 37-inch-Cyclotrons in Berkeley. Diese ist im Querschnitt in Fig. 5 dargestellt. Wir besprechen die Teile in der Reihenfolge der Ansätze in der Figur von links beginnend. Fig. 6 gibt die Ansicht einer ähnlichen Kammer.

Die Vakuumkammer („tank“) wird oben und unten durch je eine Eisenplatte begrenzt. Zwischen dieser und den Polstücken des Magneten bleibt, wie in Ziffer 4

erwähnt, ein schmaler Spalt frei. Für den übrigen Teil der Kammer wird unmagnetisches Material verwendet. Die Seitenwand wird meist aus gerolltem Messingblech hergestellt, teilweise auch aus Guß. Im Innern befinden sich, getragen von Glasisolatoren, die D-förmigen Halbdosen (the dees oder D's). Nach außen führt je ein Anschlußstab für die Hochfrequenz. Die Halbdosen werden mit Wasser gekühlt.

Bei den Anschlußstäben sind als Isolatoren Glasbirnen verwendet, die mit Kupferrohren verschmolzen sind. In der Fig. 5 erkennt man links die beiden Halter für die Anschlußstäbe. In dem glockenförmigen Teil ganz links befindet sich eine Art Dreifuß mit Schrauben, mit dessen Hilfe die Halbdosen justiert werden. Zwischen beiden Ansätzen befindet sich eine aus zwei Windungen bestehende Hochfrequenzspule zum Ankoppeln der Wechselspannung.

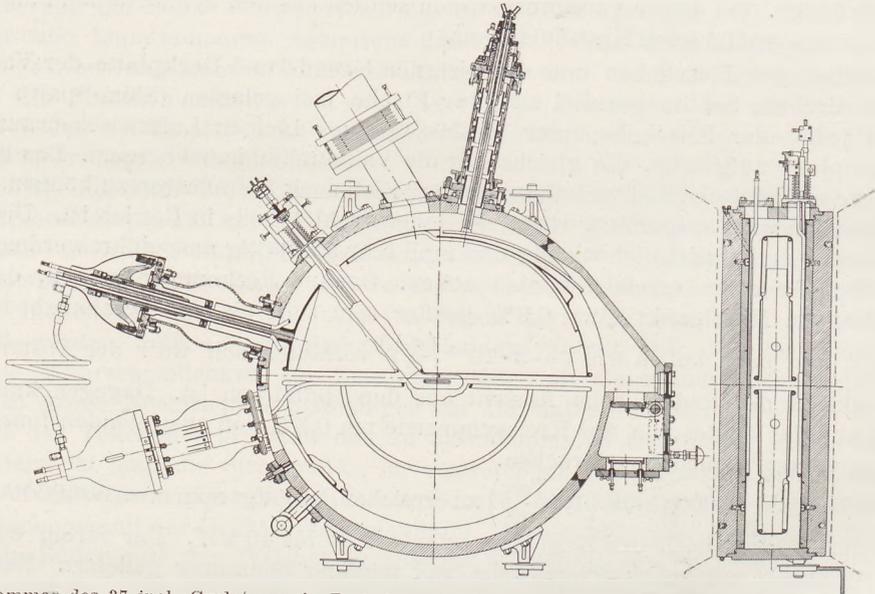


Fig. 5. Kammer des 37-inch-Cyclotrons in Berkeley; Aufsicht und Seitenriß. Links die Anschlüsse zu den Halbdosen; weiter oben: Zuführung zur Ionenquelle, Pumpstutzen, Halter der Ablenkplatte; rechts die Kammer für die zu bestrahlenden Stoffe; links unterhalb der Anschlüsse zu den Halbdosen: Sonde zur Messung der Hochfrequenzspannung der Halbdosen, noch weiter unten der Anschluß der Ausfrier tasche.

Neuerdings wird der Anschluß der Hochfrequenz anders ausgeführt. Die neue Art (angegeben von DUNNING) wird wahrscheinlich in Zukunft allgemein gebraucht werden. Sie ermöglicht 1. höhere Wechselspannung bei gleicher Senderleistung; 2. kleinere Isolatoren, da diese nurmehr mit einem kleinen Bruchteil der Spitzenspannung belastet werden; 3. Anschluß der Hochfrequenz bei niedrigem Potential; 4. Zu- und Abfluß des Kühlwassers der Halbdosen an einem Punkt mit Erdpotential und 5. leichtere Justierung der Halbdosen. Das wird erreicht, indem die „Spule“ durch eine Schleife aus dickem Kupferrohr ersetzt wird (Fig. 7). Die Schleife samt den Halbdosen verhält sich bei geeigneter Länge der Schleife wie ein LECHERSches Drahtsystem von  $\frac{1}{4}$  Wellenlänge. Das System ist in Resonanz; am einen Ende (an den Halbdosen) liegt ein Spannungsbauch, am anderen Ende (an der Schleife) ein Spannungsknoten, bei dem geerdet wird. Die isolierte Durchführung ins Vakuum befindet sich noch ziemlich nahe an dem Spannungsknoten, wird also nur mit einem Bruchteil der Spitzenspannung der Halbdosen, die etwa 100000 Volt beträgt, belastet. Höhere Wechselspannung entsteht durch die Resonanz des Systems und weil der OHMSche Widerstand der Schleife durch Verwendung dicker Rohre sehr verkleinert werden kann. Er ist bekanntlich für Hochfrequenz wegen der Abdrängung der Stromfäden zur Oberfläche (Hautwirkung) sehr viel größer als für Gleichstrom. Der Hoch-

frequenzstrom des Senders wird galvanisch oder durch eine Schleife mit geringer Impedanz übertragen. Diese liegt im Senderkreis, befindet sich aber nicht auf Resonanz.

Der nächste Ansatz — in Fig. 5 weiter oben — führt zur Ionenquelle. Diese befindet sich zwischen den Halbdosen an einer Stelle nahe bei deren Mittelpunkt. Bei den meisten Cyclotronen besteht sie aus einem Glühdraht, von dem Elektronen durch den Raum zwischen den Halbdosen gehen. Der Glühdraht besteht aus Wolfram. Er ist eingeklemmt in wassergekühlte Halter und wird mit Hochfrequenz geheizt, um Erschütterungen durch die Kräfte im Magnetfelde zu vermeiden. Der Glühdraht befindet sich auf einigen hundert Volt negativer Gleichspannung. Die ausgesandten Elektronen laufen auf engen Spiralbahnen entlang der Richtung des magnetischen Feldes, also quer durch die Halbdosen. Sie treffen schließlich auf eine wassergekühlte Platte, über die sie abfließen können. Auf ihrem Weg ionisieren sie das verdünnte Gas, das etwa  $10^{-4}$  mm Druck besitzt. Den Gasdruck erhält man aufrecht, indem man dauernd etwas Gas zuströmen läßt und gleichzeitig pumpt.

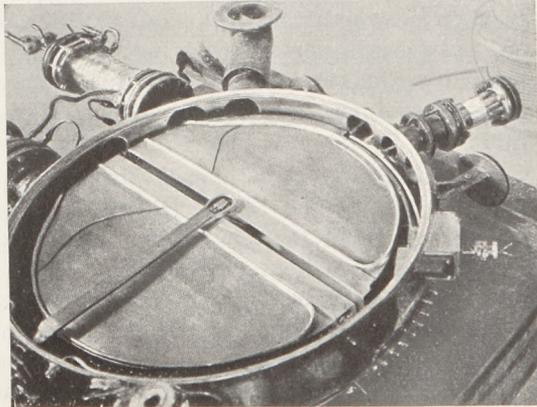


Fig. 6. Ansicht einer Beschleunigungskammer, Deckplatte entfernt.

Neuerdings wurde statt dieser Ionenquelle ein Kapillarbogen zwischen den Halbdosen aufgestellt. Er liefert eine viel größere Zahl Ionen und erhöht damit den Teilchenstrom im Cyclotron bei sonst unveränderten Betriebsbedingungen ganz erheblich. Die Ionen stammen aus dem Plasma der Gasentladung und besitzen daher fast keine Geschwindigkeit. Sie werden vom Wechselfelde zwischen den Halbdosen erfaßt und beschleunigt. Ein Vorzug dieser Ionenquelle ist der fast punktförmige Entstehungsbereich der Ionen und besseres Vakuum in der Beschleunigungskammer.

Der nächste Ansatz in der Figur ist die Pumpleitung. Es hat sich gezeigt, daß das Pumpsystem eine Saugleistung von etwa 100 l/sec besitzen muß, um auch plötzliche Gasausbrüche aus den Elektroden bewältigen zu können. Es besteht aus einer Vorpumpe und einem Aggregat von hintereinander geschalteten Hg- oder Öldiffusionspumpen. Durch einen Hahn kann das Pumpsystem von der Kammer getrennt werden. Man kann damit nach Erreichen des erforderlichen Vakuums die Pumpgeschwindigkeit drosseln und gegen den Gaszustrom abgleichen.

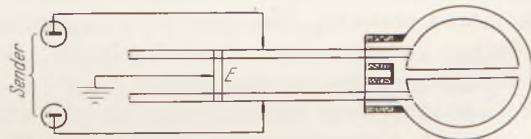


Fig. 7. Anschluß der Hochfrequenz. Das System aus Halbdosen und Schleife ist in Resonanz und schwingt mit  $\lambda/4$ . Bei E befindet sich ein Spannungsknoten, bei dem geerdet wird.

Der nächste Ansatz dient zur Einführung der Ablenkelektrode. Der Halter der Elektrode läßt sich innerhalb gewisser Grenzen zur Justierung mit Hilfe zweier elastischer Tombakrohre verschieben. Die Ablenkelektrode wird auf etwa 75 000 Volt gebracht. Als Isolator dient wieder Hartglas. Es kommt vor, daß dieses sich unter der Einwirkung des Hochfrequenzfeldes, das von den Halbdosen übergreift, infolge dielektrischer Verluste stark erwärmt, so daß das Glas schließlich leitfähig wird. Bei großer Stromstärke im Cyclotron muß die Ablenkplatte mit Öl gekühlt werden. An der Ablenkelektrode tritt leicht Zerstäubung des Metalls auf. Ihr gegenüber ist die Halbdose ausgespart und mit Molybdänblech belegt. Selbst bei sehr guter Justierung gelingt es nicht ganz zu vermeiden, daß der austretende Strahl die Ablenkelektrode oder das Molybdänblech streift. Dabei wird das Molybdän erhitzt und verbiegt sich leicht.

Solche und ähnliche Nebenwirkungen treten im Cyclotron an verschiedenen Stellen auf und können unangenehme Störungen verursachen.

Der nächste Ansatz enthält die zu bestrahlende Substanz. In der Figur erkennt man eine von außen bewegliche Klappe, die einen kleinen Teilraum abschließt, in dem sich die zu bestrahlende Substanz („target“) auf einer auswechselbaren Platte befindet. Die Klappe ermöglicht das Auswechseln unter Aufrechterhaltung des Vakuums im Cyclotron. Der äußere Teilraum wird nach dem Auswechseln mit einer rotierenden Pumpe ausgepumpt und erst dann die Verbindung zur Vakuumkammer wieder geöffnet. Für viele Verwendungszwecke des Cyclotrons kommt es sehr darauf an, die Zeit, die zum Auswechseln erforderlich ist, möglichst klein zu halten, so besonders, wenn künstlich radioaktive Substanzen mit kleiner Halbwertszeit erzeugt werden. In Ausnahmefällen kann man die schnellen Teilchen durch ein Fenster, meist aus dünnem Platinblech, in die Luft austreten lassen (vgl. Fig. 4).

Schließlich ist noch eine Ausfrieretasche zu erkennen. Sie wird in flüssige Luft getaucht und hat den Zweck, Dämpfe zu beseitigen, insbesondere beim erstmaligen Auspumpen. Dann folgt noch eine Elektrode, die als Sonde zur Messung der Hochfrequenzspannung dient. Schließlich sind noch Radkränze zu erkennen, mit deren Hilfe die Kammer aus den Magnetpolen herausgezogen wird. Der Raum im Bilde rechts unten ist frei von Zuleitungen. Das geschieht in der Absicht, den austretenden Teilchenstrahl in größere Abstände vom Cyclotron weiterleiten zu können. Dabei muß er vorher durch ein Magnetfeld wieder fokussiert werden, da das elektrische Ablenkfeld ihn auseinander führt.

#### 6. Der Sender.

Zur vollständigen Beschreibung des Cyclotrons gehört auch die Beschreibung eines Kurzwellensenders. Bei der heutigen allgemeinen Kenntnis über Hochfrequenztechnik wäre es aber eine unnötige Wiederholung von Bekanntem, wenn an dieser Stelle ein Sender in aller Ausführlichkeit beschrieben würde.

Zum Betriebe des Cyclotrons pflegt ein Kurzwellensender in Gegentaktschaltung für passende Wellenlänge und 30 bis 50 kW Hochfrequenzleistung verwendet zu werden. Am einfachsten ist ein Sender mit Selbsterregung. Man kann damit ausreichende Konstanz erzielen. Ein mehrstufiger, eventuell kristallgesteuerter Sender besitzt zwar gewisse Vorzüge, aber auch Nachteile. Es scheint zur Zeit, daß dem einfacheren selbsterregten Sender der Vorzug zu geben ist. Der Sender muß robust gebaut sein, d. h. er muß auch einmal eine plötzliche Überbelastung vertragen. Auch empfiehlt es sich nicht, abgeschmolzene Senderöhren zu verwenden; statt dessen setzt man diese lieber auf eine Diffusionspumpe, die in Betrieb gehalten wird, solange der Sender läuft. An solchen Röhren sind Reparaturen leicht möglich.

Der aus dem Cyclotron in Berkeley austretende Strahl stellt eine Leistung von rund 1 kW dar. Durch besondere Versuche kann man zeigen, daß ein weiterer Teilchenstrom von etwa 7 kW in der Vakuumkammer umläuft, ohne den Austrittsspalt zu treffen. Es handelt sich also um einen beträchtlichen Teil der vom Sender gelieferten Energie. Der gesamte Nutzeffekt des Cyclotrons ist ziemlich gering, weil die ganze in den Magneten gesteckte Energie als Verlustleistung zu betrachten ist.

#### 7. Anwendungen.

Das Cyclotron dient dazu, Protonen, Deuteronen und  $\alpha$ -Teilchen mit sehr hoher Energie zu erzeugen. Auch die erreichbare Intensität ist sehr groß. Die Stromstärke von nur wenigen Mikroampere darf keine Täuschung hervorrufen. Zum Vergleich sei daran erinnert, daß 1 g Radium in jeder Sekunde  $3,6 \cdot 10^{10}$   $\alpha$ -Teilchen aussendet. Da jedes Teilchen die Ladung  $2 \cdot 1,60 \cdot 10^{-19}$  Ampsec mit sich trägt, würde das einen Strom von  $0,012 \mu\text{A}$  bedeuten. Ein Cyclotron dagegen liefert an  $\alpha$ -Teilchen einen Strom bis  $1 \mu\text{A}$ , also das 90fache, an Protonen und Deuteronen bis etwa  $100 \mu\text{A}$ .

Mit natürlichen  $\alpha$ -Strahlen läßt sich Umwandlung bei Elementen mit einer Ordnungszahl bis höchstens 20 (Ca) erzielen. Bei größerer Ordnungszahl verhindert die elektrische Abstoßung zwischen der positiven Ladung des bestrahlten Kerns und der Ladung des  $\alpha$ -Teilchens eine genügende Annäherung. Da mit dem Cyclotron heute bereits  $\alpha$ -Energien von 16 eMV erreicht sind, so konnten damit schon Elemente bis zur Ordnungszahl 53 (J) umgewandelt werden.

Protonen und Deuteronen liefert uns die Natur nicht in handlicher Form. Mit Hochspannungsanlagen hat man Energien von 2 bis 3 eMV erreicht. Das Cyclotron liefert dagegen heute Protonen bis 6,3 eMV, Deuteronen bis 10 eMV. Da diese Teilchen nur einfach positiv geladen sind, ist die Abstoßungskraft des Atomkerns nur halb so groß wie für  $\alpha$ -Teilchen. Man kann damit bereits heute im ganzen Periodischen System Umwandlung erreichen. Mit Deuteronen wurde als Element mit der höchsten Ordnungszahl Wismut ( $Z=83$ ) umgewandelt.

Als Produkt gewisser Umwandlungen entstehen auch Neutronen. Diese Teilchen — etwa mit gleicher Masse wie das Wasserstoffatom, aber ohne Kernladung — können in jeden Kern leicht eindringen, da keine elektrische Abstoßung eintritt. Ebenso können Neutronen leicht aus Kernen austreten, da für sie die elektrische Potentialschwelle nicht existiert. Außerordentlich viele Prozesse führen daher zur Entstehung von Neutronen. Auch wenn man es gar nicht wünscht, werden vom Cyclotron riesige Mengen Neutronen ausgesandt, die durch Umwandlungsprozesse im Innern der Vakuumkammer entstehen.

Neutronen in großer Intensität haben eine starke biologische Wirkung. Sie rufen ähnliche Zerstörungen hervor wie intensive Röntgenstrahlen. Die Wirkung beruht auf der Entstehung von Protonen durch elastischen Stoß der Neutronen gegen Wasserstoffkerne. Wer mit dem Cyclotron arbeitet, muß sich daher möglichst vor der Neutronenbestrahlung schützen. Zur Abschirmung der Neutronen dienen große Wasserbehälter mit einer Wasserschicht von 50 bis 100 cm.

Bekanntlich ist ein Gemisch aus Radium oder Radiumemanation und Beryllium eine intensive Neutronenquelle. 100 mg Radium + Beryllium liefern für die meisten Zwecke eine reichliche Intensität. Mit dem Cyclotron lassen sich dagegen bei Bestrahlung geeigneter Stoffe Neutronen-Intensitäten erzeugen, die einem Gemisch von 100 kg (1 Doppelzentner) Radium mit Beryllium entsprechen würden. Außerdem lassen sich Neutronen-Energien über 20 eMV mit großer Intensität erreichen, während  $Ra + Be$  im wesentlichen Neutronen mit 3 bis 7 eMV und in sehr geringer Menge solche bis 14 eMV liefert.

Das Produkt der Umwandlung sind entweder Atome mit stabilen bekannten Kernen oder solche mit neuen radioaktiven Kernen. Besonders wichtig sind die radioaktiven Produkte. Die Mengen künstlicher radioaktiver Stoffe sind gewichtsmäßig natürlich gering. Man kennzeichnet ihre Menge besser durch ihre Strahlungseigenschaften. Mit dem Cyclotron ist radioaktives Natrium mit dem Atomgewicht 24 bereits in einer solchen Menge hergestellt worden, daß es ebenso starke  $\gamma$ -Strahlung aussendet wie 500 mg Ra. Im Innern des Cyclotrons, an den Halbdosen, entstand radioaktives Kupfer sogar mit einer Strahlung wie 10 g Ra. Da stabile und radioaktive Isotope eines Elements die gleichen chemischen Eigenschaften besitzen, lassen sich mit Hilfe der künstlich radioaktiven Stoffe zahlreiche bisher unlösbare Fragen leicht bearbeiten, vor allem viele physiologische Fragen über den Stoffwechsel, chemische Fragen über den Austausch von Atomen und manches andere. Man verwendet dazu Stoffe, die einen gewissen Bruchteil an radioaktiven Isotopen enthalten. Diese radioaktiven Atome sind durch ihre Strahlungseigenschaft „markiert“, und man kann ihren Aufenthaltsort verfolgen. Z. B. konnte man die Geschwindigkeit untersuchen, mit der das Natrium des Kochsalzes aus dem Magen über den Blutkreislauf in andere Körperteile, z. B. die Hand, gelangt. Der Nachweis geschah durch Messung der radioaktiven  $\gamma$ -Strahlen

des  $\text{Na}^{24}$ . Da diese radioaktiven Stoffe vollständig ungiftig und nach einer ziemlich kurzen Zeit vollständig zerfallen sind, ist damit keine Gefahr verbunden.

Damit dürfte genügend angedeutet sein, daß das Cyclotron heute und in Zukunft zu einem der wichtigsten Hilfsmittel der Forschung, und zwar nicht nur der physikalischen, gehören wird.

### **Kleine Mitteilungen.**

#### **Bromierung von Hexan.**

Von Dr. W. Flörke in Gießen.

Die Bromierung eines gesättigten Kohlenwasserstoffs hat methodische Bedeutung, um den Unterschied der Substitution und Addition klar zu stellen und so das gegensätzliche Verhalten der ungesättigten und gesättigten Kohlenwasserstoffe zu zeigen. Während die Addition von Brom an Äthylen unschwer zu zeigen ist und auch die Darstellung größerer Mengen von Äthylenbromid keine Schwierigkeiten macht, verläuft die Einwirkung von Chlor auf Methan, die gewöhnlich zur Erläuterung der Substitution gemacht wird, nicht so, daß sie ein eindeutiges Ergebnis liefert. Läßt man das Chlor-Methangemenge durch Entzündung abbrennen, so stört die Rußabscheidung. Überläßt man es im zerstreuten Tageslicht der langsamen Vereinigung, dann kann man wohl den Verbrauch des Chlors und auch die Bildung von Chlorwasserstoff nachweisen, dagegen gelingt es nicht, das Reaktionsprodukt selbst zu fassen. Besser ist es deshalb, an Stelle des Methans einen anderen Ausgangsstoff zu nehmen. Dazu geeignet ist das Hexan.

Hexan ist zu niedrigem Preise heute käuflich. Das Präparat, das ich benutzte, stammte von der Schering A.G., Berlin. Es ist ein Petroleumdestillat. Nach den Angaben der Firma destilliert es bei  $67^{\circ}$  bis  $70^{\circ}$  über. Normales Hexan siedet bei  $68,9^{\circ}$ , 3-Methylpentan bei  $63^{\circ}$  bis  $65^{\circ}$  (748 mm). Da die übrigen Isomeren beträchtlich niedriger siedend, werden die beiden erwähnten Kohlenwasserstoffe in der Hauptsache vorhanden sein. Aromaten sind höchstens in Spuren vorhanden. Ungesättigte Kohlenwasserstoffe sind nicht nachzuweisen. Demnach kann für den vorliegenden Zweck diese Petroleumfraktion als Hexan bezeichnet werden.

Dieses Hexan läßt sich nun im Lichte sehr leicht bromieren. Man bringt in ein Prüfglas 10 bis 15 ccm Hexan und fügt etwas Brom hinzu. Im Dunkeln oder im mäßig erleuchteten Raume geschieht nichts. Im Sonnenlicht oder auch im zerstreuten Tageslicht eines sonnigen Sommertags und im Licht einer 500-Wattlampe erfolgt sofort eine lebhaftere Reaktion, bei der das Brom verbraucht wird und große Mengen Bromwasserstoff entweichen. Ist die Flüssigkeit wieder farblos geworden, dann gibt man weiteres Brom hinzu. So fährt man fort, bis der Bromverbrauch allmählich immer langsamer erfolgt und schließlich zu lange Zeit in Anspruch nimmt. Das Reaktionsprodukt wäscht man im Prüfglas zunächst mit Natronlauge, um den Bromwasserstoff, der in der Flüssigkeit gelöst ist, und allenfalls noch nicht vollständig verbrauchtes Brom zu entfernen. Darauf wird einigemal mit Wasser gewaschen. Die Waschflüssigkeit hebert man jedesmal möglichst vollständig ab. In einem kleinen Hahntrichter trennt man dann das Bromhexan von dem letzten Washwasser vollständig ab und trocknet durch Zugabe einiger Calciumchloridkörnchen. Man erhält eine farblose, eigentümlich riechende Flüssigkeit, deren Wichte wesentlich größer als die des Wassers ist. Geruch und Wichte lassen erkennen, daß nicht mehr Hexan vorliegt. Die Beilsteinprobe zeigt, daß ein Halogenabkömmling entstanden ist.

Das Reaktionsprodukt enthält, wenn man die Bromierung nicht zu lange ausdehnt, stets noch unverändertes Hexan beigemischt, wie man sich durch Destillation überzeugen kann. Beim Stehen findet nach einigen Wochen eine allmähliche Zersetzung unter Bromwasserstoffbildung und Abscheidung einer schwarzen, schmierigen Masse statt. Der Bromwasserstoff bleibt in der Flüssigkeit gelöst, die wie das Hexan dafür

eine bedeutende Lösefähigkeit aufweist. Destillation unter gewöhnlichem Druck führt zu einer teilweisen Selbstzersetzung des Stoffs, wobei wieder die schwarze Schmiere entsteht. Ein Ende erreicht man bei der Bromierung nicht. Ich habe eine größere Hexanmenge im Kolben mit Rückflußkühler bromiert und den Versuch erst nach drei Stunden abgebrochen. 50 ccm Hexan verbrauchten dabei 55 ccm Brom. Dem Gewicht nach sind das 33 g Hexan und 170 g Brom. Wenn auch die Bromierung zuletzt langsam erfolgte, was vor allem am Auftreten von Bromdämpfen im Gasraum des Kolbens zu erkennen war, so wurden die aus dem Tropftrichter jeweils zugegebenen Brommengen doch immer wieder verbraucht. Ich erhielt schließlich eine ölige, leicht bräunlich gefärbte Flüssigkeit, die beim Waschen mit Natronlauge und Wasser braun und trübe wurde. Nach dem Abtrennen und Erwärmen klärte sie sich, behielt aber ihre dunkle Farbe. Sie enthielt kein Hexan mehr.

Über die chemische Natur des Bromierungsproduktes lassen sich keine genaueren Angaben machen. Die Fraktionierung bei gewöhnlichem Druck bereitet wegen der Zersetzung erhebliche Schwierigkeiten. Die Siedepunkte verschieden weit bromierter Hexane liegen zudem ziemlich eng zusammen, wie aus den Angaben der Literatur über Bromhexane, die im übrigen ziemlich spärlich ist, hervorgeht.

Die beschriebene Bromierung scheint mir als Schulversuch deshalb von Bedeutung, weil sie sich leicht durchführen läßt und ein faßbares Reaktionsprodukt liefert, und weil sie ein sehr schönes Beispiel für die Mitwirkung des Lichtes bei chemischen Reaktionen darstellt.

### Über eine Vorrichtung zur Untersuchung der Volumenverhältnisse bei der Chlorwasserstoffsynthese.

Von Erich Wietig in Berlin.

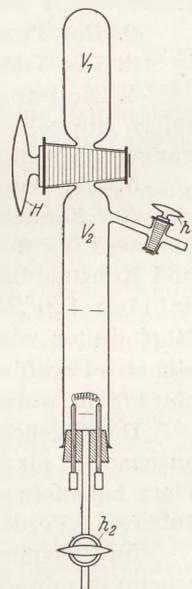
Die Chlorwasserstoffsynthese hat für die Einführung in die chemischen Grundvorstellungen größte Bedeutung (Avogadro'sche Regel, Zweiatomigkeit elementarer Gase). Bekanntlich handelt es sich darum zu zeigen, 1. daß die Reaktion ohne Volumenveränderung vor sich geht; 2. daß sich 1 Raumteil Chlor und 1 Raumteil Wasserstoff zu 2 Raumteilen Chlorwasserstoff verbinden.

Über die recht erheblichen Schwierigkeiten, beide Aussagen in einem Versuche nachzuweisen, hat L. DOERMER [ds. Ztschr. 49, 257 (1936)] ausführlich berichtet. Einen Weg zu ihrer Überwindung zeigte in letzter Zeit M. SCHMIDT [ds. Ztschr. 51, 239 (1938)].

Mit der nachstehend beschriebenen Vorrichtung (Hersteller: Dr. TAURKE, Dortmund) lassen sich nun beide Aussagen in einem Versuch auf einfache Weise und mit beliebiger Genauigkeit nachweisen. Der Apparat gestattet darüber hinaus — was für den Anfangsunterricht in der Chemie recht wichtig ist —, an einem eindrucksvollen Beispiel den langsamen Ablauf einer Gasreaktion überhaupt mit den Augen zu verfolgen und die Entstehung und gewisse Eigenschaften des Chlorwasserstoffs bzw. der Salzsäure abzuleiten unter Vermeidung des analytischen Weges über die fertige Salzsäure.

Beschreibung: Ein Sperrhahn  $H$  (s. Figur) trennt einen Behälter  $V_1 = 100$  ccm für Chlor von einem etwas mehr als doppelt so großen Behälter  $V_2$  für Wasserstoff.  $V_2$  ist durch einen Gummistopfen abgeschlossen, der einen Platindraht und einen Hahn  $h_2$  trägt.  $h_1$  und  $h_2$  dienen zum Einleiten von Wasserstoff.

Nachdem die Gase eingefüllt sind, wird der Platindraht zu schwacher Rotglut gebracht und darauf der Sperrhahn  $H$  voll geöffnet. Nach wenigen Sekunden beginnt der Draht, lebhafter zu glühen, nach etwa 5 Minuten ist die Chlorfärbung verschwunden. Nach 30 Minuten wird der Heizstrom unterbrochen



Sondergerät zur Untersuchung der Volumenverhältnisse bei der Chlorwasserstoffsynthese.

und durch Öffnen von  $h_2$  unter Quecksilber die Druck- bzw. Volumenkonstanz nachgewiesen (Aussage I). Öffnet man darauf  $h_2$  unter Wasser, so füllt dieses an Stelle des absorbierten Chlorwasserstoffs das doppelte des ursprünglichen Chlorvolumens aus, während ein entsprechender Wasserstoffrest übrig bleibt (Aussage II). Dieser kann herausgedrückt und nachgewiesen werden. Damit ist gezeigt, daß sich 1 Volumen Chlor und 1 Volumen Wasserstoff zu 2 Volumina Chlorwasserstoff vereinigt haben.

Das Aufglühen der Platinspirale deutet auf die auftretende Reaktionswärme und die geringere Wärmeleitfähigkeit des gebildeten Chlorwasserstoffs gegenüber der des Wasserstoffs hin. Das allmähliche Verschwinden der Chlorfärbung zeigt deutlich den Fortgang der Umsetzung.

Da die Gase sich stets in einer nicht explosiblen Zusammensetzung befinden, ist Explosionsgefahr ausgeschlossen.

Die letzten Chloranteile setzen sich naturgemäß nur langsam um.

Nach 10 Minuten sind etwa 92% des Chlors umgesetzt.

Nach 30 Minuten sind etwa 98,5% des Chlors umgesetzt.

Nach 90 Minuten sind mehr als 99,9% des Chlors umgesetzt.

Man wird sich im allgemeinen mit der Umsetzung 98 bis 99% begnügen. Nur wenn eine Doppelstunde zur Verfügung steht, lohnt es sich vielleicht, die Umsetzung weiter zu treiben. Ein Zeitverlust ist nicht damit verbunden, da der Versuch keinerlei Wartung braucht, der Unterricht also ungestört seinen Fortgang nehmen kann. Der naheliegende Weg, die Reaktion durch Erweiterung der Sperrhahnbohrung zu beschleunigen, ist für das Normalgerät nicht beschriften, um den Preis nicht zu erhöhen.

Einen gewissen Nachteil der Apparatur stellt die Schwierigkeit dar, die letzten Chloranteile im Lauf einer Unterrichtsstunde umzusetzen. Dem steht aber eine Reihe beachtlicher Vorzüge gegenüber:

1. Es gelingt, in einem Versuch und in einer Unterrichtsstunde beide Aussagen über die Volumenverhältnisse bei der Chlorwasserstoffsynthese mit einer für Unterrichtszwecke ausreichenden Genauigkeit abzuleiten.

2. Der Prozeß läuft mit großer Anschaulichkeit vor den Augen der Schüler ab.

3. Die Versuchsanordnung ist einfach und verständlich.

4. Die Durchführung des Versuches bietet keinerlei experimentelle Schwierigkeiten, sofern die selbstverständliche Voraussetzung der Verwendung reiner, trockener Ausgangsgase erfüllt ist.

5. Der Apparat ist widerstandsfähig und läßt sich leicht reparieren.

Auf ähnliche Weise wie beim Chlorwasserstoff lassen sich auch die Volumenverhältnisse bei der Wassersynthese nachweisen. Man schiebt einen aus Asbestpapier und Konstantandraht unschwer herzustellenden Heizmantel über den Apparat, erhitzt auf etwa  $130^\circ$ , füllt bei dieser konstant gehaltenen Temperatur die Gase ein und fährt weiter wie beim Chlorwasserstoff. Am Schlusse läßt man Quecksilber oder geeignetes Paraffinöl, das man zweckmäßig ungefähr auf die Innentemperatur vorwärmt, einsaugen, wartet den Temperatenausgleich ab und nivelliert.

Der Versuch ist experimentell erheblich schwieriger, sein Ablauf naturgemäß weniger anschaulich als bei der Chlorwasserstoffsynthese. Er dürfte deshalb neben dieser kaum Platz haben in einem Chemieunterricht, der wegen der großen Aufgaben der Zeit auf äußerste „Verdichtung“, auf Ausschaltung alles Entbehrlichen bedacht sein muß.

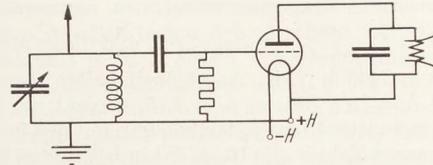
Im Zusammenhange mit dem dringenden Problem des Unterrichts-„Nutzeffektes“ scheint es mir schließlich wünschenswert, daß wenigstens den grundlegenden und nicht unmittelbar anschaulichen Einsichten der allgemeinen Chemie jeweils ein eigener, bestimmter Apparat zugeordnet wird. Er sollte mehr als üblich als Anschauungs- und Gedächtnisstütze in Verknüpfung mit dem Gesetze bleiben und damit die Verankerung des Sachverhalts erleichtern — unbeschadet der selbstverständlichen Aufgabe des Unterrichts, das Gesetz in seiner Allgemeinheit einzuführen.

## Für die Praxis.

**Die Elektronenröhre als Detektor.** Von Fritz Müller in Forst. Es ist bekannt, daß Elektronenröhren auch ohne Anodenspannung für Empfangszwecke brauchbar sein können. Im Unterricht benutze ich zum Nachweise dieser Tatsache die in der Figur angegebene Schaltung. Es wird die Telefunkeröhre RE 304 verwendet, wobei die Heizspannung 2,4 Volt über einen Heizwiderstand einer Taschenlampen-Batterie entnommen werden kann. Der Kopfhörer, den ich benutze, hat  $2000 \Omega$  Widerstand. Die Empfangslautstärke (Königswusterhausen) ist bei dieser Schaltung der mit Anodenspannung durchaus gleichwertig.

Wird zur Erklärung die Kennlinie der Röhre für null Volt Anodenspannung aufgenommen, so beträgt die Steilheit nur etwa  $0,13 \text{ mA/V}$ , der Empfang wird aber in Bezug auf Lautstärke und Reinheit erstaunlich gut. Es wird nämlich während der negativen Halbwelle der hochfrequenten Spannung der Anodenstrom fast völlig abgedrosselt, so daß die Röhre eine reine Gleichrichterwirkung zeigt und als Detektor arbeitet. Setzt man in den Anodenkreis eine Spule und bringt sie in Rückkopplung zur Antennenspule, so wächst die Lautstärke.

Die Schaltung ist auch insofern für den Schulunterricht recht wertvoll, als sie die Röhre sehr schont. Das zeigt schon eine Vergleichung der Erwärmung der Erwärmung mit einer Röhre in üblicher Schaltung. Überdies ist die Beschränkung auf eine Anodenstromquelle bei Sende- und Empfangsversuchen für wirtschaftlich schwache Schulen von Vorteil, da ein Gleichstromnetz meist nicht vorhanden ist.



Audionschaltung ohne Anodenspannung.

## Berichte.

### 3. Geschichte und Erkenntnistehre.

**Zur Geschichte der Spektroskopie von Balmer bis Bohr.** Von I. RUNGE in Berlin-Spandau.

Die Erforschung der Gesetzmäßigkeiten der Linienspektren, die vor etwa 50 Jahren begonnen wurde, hat eine der wichtigsten Grundlagen geliefert, auf denen unsere heutige Kenntnis von der Struktur der Materie beruht. Die allmähliche Entwicklung dieser Erkenntnis, die in der verhältnismäßig kurzen Zeit weniger Jahrzehnte ein begrenztes, aber fruchtbares Gebiet der Forschung fast vollständig eroberte, stellt sich dem rückschauenden Blick fast wie die planmäßige Entzifferung einer Geheimschrift dar, und doch war die Zusammenarbeit der daran beteiligten Forscher nicht planmäßig geleitet. Sie ergab sich ungewollt, indem jeder das beitrug, wozu er durch Anlage und Geistesrichtung am besten befähigt war und damit auf den Leistungen seiner Vorgänger weiterbaute. So war es möglich, daß die drei so ganz verschiedenen Tätigkeiten: Beobachtung, Rechnung und Hypothese, jede ihren Anteil an der Aufgabe erfüllte. Von der Unentbehrlichkeit jeder einzelnen unter ihnen und andererseits von ihren Möglichkeiten zu gegenseitiger Befruchtung gibt gerade die Geschichte der Erforschung der Linienspektren ein ausgezeichnetes Beispiel.

Es ist vielleicht nicht uninteressant hervorzuheben, daß von den Forschern, um deren Arbeit

es sich hier handelt, drei, und zwar gerade die zeitlich ersten, ursprünglich nicht Fachphysiker waren, sondern alle drei zunächst Mathematiker, die sich erst nachträglich, zum Teil vorübergehend, zum Teil dauernd der Physik zuwandten.

Der erste dieser Reihe ist J. J. BALMER, nebenbei der einzige, der seinen Beitrag zur Deutung der Spektren, der zugleich als Anstoß wirkte, erst in reiferen Jahren leistete, während die anderen in der Hauptsache ihre Laufbahn damit begannen. Als im Jahre 1885 BALMERS bahnbrechende Arbeit (1)<sup>1</sup> erschien, war ihr Verfasser 60 Jahre alt. Er war Schweizer, Lehrer an einer Baseler Mädchenschule, beschäftigte sich aber nebenher gern mit wissenschaftlichen Fragen. A. HAGENBACH, der in den „Naturwissenschaften“ ein noch auf persönlicher Kenntnis beruhendes lebenswarmes Bild seiner Persönlichkeit gezeichnet hat (2), berichtet, daß er von jeher eine Vorliebe für Zahlenharmonien, Symmetrie und Proportion gehegt hat. Damit hing wahrscheinlich sein Interesse für Architektur und gewisse künstlerische Neigungen zusammen. Z. B. veröffentlichte er eine Arbeit über den Bau des Tempels von Jerusalem, eine andere über freie Perspektive und schrieb Zeitungsartikel über die an den Abmessungen der alten Baseler Kirchen

<sup>1</sup> Die in Klammern hinzugefügten Zahlen weisen auf das Schrifttumsverzeichnis am Schluß hin.



auftretenden Zahlenproportionen und deren symbolische Beziehungen.

In ähnlichem Sinne hat ihn offenbar auch die Regelmäßigkeit im Wasserstoffspektrum dazu gereizt, nach einfachen Zahlenbeziehungen zwischen den Wellenlängen der Linien zu suchen. Für 3 der stärkeren Linien waren solche schon 1871 von G. J. STONEY aufgefunden worden. BALMER gelang es, die Verhältnisse der Wellenlängen der 4 ersten Linien so durch Brüche kleiner Zahlen auszudrücken, daß dabei das einfache Gesetz  $\lambda = h \frac{m^2}{m^2 - 4}$  zutage trat, und dieses stellte für  $h = 3645,6$  ( $\lambda$  in Angströmeinheiten gerechnet;  $1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$ ),  $m = 3, 4, 5, 6$  nicht nur die betrachteten 4 Linien dar, sondern mit den folgenden ganzen Zahlen alle 16 bis dahin bekannten Wasserstofflinien.

Dieses von einem naturwissenschaftlich interessierten alten Herrn in seinen Mußstunden fast spielend gewonnene Ergebnis sollte den Ausgangspunkt bilden für die moderne Erforschung des Atominnern.

Die BALMERSche Arbeit, die auf wenigen Seiten einen so überraschenden Erfolg darstellte, muß auf viele Leser anregend gewirkt haben, wenn dies auch nicht sofort zutage trat. Nach einer mündlichen Mitteilung H. KAYSERs berichtete dieser, der damals in Berlin Assistent von HELMHOLTZ war, in der Physikalischen Gesellschaft über BALMERS Resultat. Während die Berliner Physiker, HELMHOLTZ eingeschlossen, zu KAYSERs Leidwesen der Sache wenig Beachtung schenkten, fand er überraschendes Interesse und Verständnis bei dem Physiologen EMIL DU BOIS-REYMOND, dem Ehrenvorsitzer der Gesellschaft. Dieser bat den Vortragenden am nächsten Tage nochmals zu sich, ließ sich alles eingehend erklären und erörterte mit ihm die Möglichkeit, ob auch bei den Spektren anderer Elemente ähnliche Gesetze auffindbar seien. Das Problem interessierte ihn, und er gab die Anregung an einen jungen Mathematiker weiter, der bald in eine nahe Familienbeziehung zu ihm treten sollte, an CARL RUNGE.

Es war eine glückliche Fügung, daß RUNGE, der im folgenden Jahr einen Ruf nach Hannover erhielt, hier wieder gerade mit HEINRICH KAYSER zusammentraf, der inzwischen die Physikprofessur dort übernommen hatte. KAYSER interessierte sich schon lange für Spektroskopie; er hatte sich eine gründliche Literaturkenntnis darüber angeeignet, die er bereits in einem kleinen Lehrbuch der Spektralanalyse niedergelegt hatte. Doch hatte ihm seine Berliner Assistentenzeit wenig Gelegenheit zu eigenen Arbeiten auf diesem Gebiete gegeben. Durch ihn erhielt nun RUNGE fast alles damals bekannte Material an Wellenlängenmessungen nachgewiesen, um darin nach Gesetzmäßigkeiten im Sinne BALMERS zu suchen. Linienfolgen von offenbar regelmäßigem Bau, sog. Serien, waren schon von verschiedenen Beobachtern, so von A. CORNU und von G. D. LIVEING und J. DEWAR, bemerkt worden. In dem Bestreben, die BALMERSche Formel durch Einführung weiterer Konstanten zu verallgemeinern, benutzte RUNGE den einfachen

Kunstgriff, statt der Wellenlängen ihre reziproken Werte zu betrachten. BALMERS Formel heißt dann:  $\frac{1}{\lambda} = n = A \left( 1 - \frac{4}{m^2} \right)$ , wenn man  $\frac{1}{h} = A$  setzt.

Was lag für einen Schüler WEIERSTRASS' näher, als darin den Beginn einer Reihe nach fallenden Potenzen von  $m$  zu vermuten und daher als nächsten Schritt die Entwicklung  $\frac{1}{\lambda} = A - \frac{B}{m^2} - \frac{C}{m^4}$  zu versuchen? Als er nun bei einigen der deutlich gesetzmäßigen Linienfolgen die Konstanten A, B, C aus 3 Linien berechnete, fand sich, daß die Formel mit recht guter Genauigkeit die übrigen Linien darstellte.

Jedoch zeigte sich sogleich, daß das vorhandene Beobachtungsmaterial zu einer sicheren Prüfung der neuen Formeln nicht ausreichte, und ebenso wenig zur einwandfreien Berechnung der Konstanten. Die Messungen waren lückenhaft und die Abweichungen zwischen den Angaben verschiedener Beobachter sehr groß. RUNGES lebhafter Wunsch, seine Formel durch genauere Messungen bestätigt zu sehen, traf mit KAYSERS Neigung zu eigenen spektroskopischen Untersuchungen zusammen: ein Mitarbeiter, der die mathematische Auswertung übernehmen konnte, war gerade, was er sich wünschte, und so begann 1887 im Mai die fruchtbare Arbeitsgemeinschaft dieser beiden, die in 7 Jahren bis zu KAYSERS Berufung nach Bonn in einer Reihe sorgfältiger und gewissenhaft durchgeführter Arbeiten (3) die Tatsache des gesetzmäßigen Baues der Spektren und die Grundzüge dieser Ordnung fast durch das ganze Periodische System der Elemente sicherstellen sollte.

Daß sich beide der Bedeutung ihrer Untersuchung für die Erkenntnis der Atome durchaus bewußt waren, geht aus der Einleitung zu ihrer ersten Veröffentlichung (4) deutlich hervor. Sie schreiben da: „Es wird heute wohl ganz allgemein angenommen, daß die Schwingungen, welche wir im Lichte glühender Dämpfe sehen, bedingt sind durch die Schwingungen der Atome“, und sie fahren fort, indem sie insbesondere auf die Bedeutung der gesetzmäßigen Beziehungen zwischen den Linien für die Aufklärung des Schwingungsmechanismus hinweisen, ähnlich wie das System der Eigenschwingungen für Platten und dreidimensionale Gebilde charakteristisch ist.

In dieser Betrachtung ist aber immer von den Schwingungen „der Atome“, von „Vorgängen im Molekül“ die Rede, so daß es zweifelhaft erscheinen kann, ob dabei an die Fragen des Atombaus selbst gedacht wurde. Daß dies der Fall war, geht aus einer Briefstelle C. RUNGES vom 6. Juli 1887 (5) hervor, in der er von der Ansicht J. N. LOCKYERS spricht, daß die Elemente nur Modifikationen eines Urstoffs seien. Er schreibt dazu: „Wie gern erlebte ich den spektralanalytischen Beweis, daß alle Körper Modifikationen des Wasserstoffs sind. Chemisch wird man es gewiß nicht zeigen können, weil ein paar Tausend Grad Celsius noch gar keine Rolle spielen. Aber durch die Spektralanalyse experimentiert man mit der gewaltigen Hitze der Sonne und der Sterne, und da könnte

es wohl an den Tag kommen. Und der Zusammenhang der Linien kann dabei eine große Rolle spielen.“

Mit charakteristischer Zurückhaltung wurden aber solche Spekulationen in den veröffentlichten Arbeiten von KAYSER und RUNGE nie erwähnt. Diese Arbeiten stellen vielmehr einen in strenger Gewissenhaftigkeit durchgeführten Tatsachenbericht dar. Der Umfang der Untersuchungen schwoll ihnen unter den Händen immer mehr an; allein die Vorarbeiten nahmen schon fast 2 Jahre in Anspruch. KAYSER legte Wert darauf, die experimentelle Technik aufs sorgfältigste zu vervollkommen und alle neuen Verbesserungen anzuwenden. Er wußte sich zunächst mehrere kleinere Gitter leihweise zu verschaffen. Nach Veröffentlichung des ersten Teils der Arbeit erhielt er dann von der Berliner Akademie der Wissenschaften noch ein sehr schönes großes ROWLANDSches Gitter von 6,5 m Krümmungsradius und 800 Linien/mm geliehen, das auf seine Anregung von ROWLAND HELMHOLTZ geschenkt, von diesem der Akademie überlassen worden war. Da dieses Gitter im roten Ende des Spektrums lichtschwach war, erwarben KAYSER und RUNGE gemeinsam auf eigene Kosten noch ein zweites ROWLANDSches Gitter vom selben Krümmungsradius und derselben Linienzahl wie das Berliner Gitter, das aber das rote Ende bevorzugte. Als Vorarbeit zu den Messungen wurde zunächst das linienreiche Eisenspektrum durchgemessen, denn da bei der Arbeit mit dem Kohlebogen Eisen immer als Verunreinigung anwesend war, konnten diese Linien bequem als Normalpektrum dienen, auf die alle andern bezogen wurden. Das Spektrum der Kohle und die sog. Cyanbanden waren ebenfalls eine unvermeidliche Begleiterscheinung und mußten vorweg gemessen und tabelliert werden, um nicht mit den gesuchten Linien verwechselt zu werden. Die Methode war im allgemeinen die photographische; die Spektren wurden auf Plattenstreifen aufgenommen und anfangs sehr mühselig mit dem Kathetometer, später wesentlich einfacher und genauer mit einer Teilmaschine gemessen. Nur beim Eisenspektrum wurden eine Anzahl starker und scharfer Linien direkt am Spektrometer durch Winkelablesung gemessen, die dann zur Eichung für alle übrigen dienten; aus ihnen wurde für Plattenstücke von je 10 cm der hier geltende Maßstab ermittelt und damit die übrigen Wellenlängen berechnet. Nachdem auf diese Weise etwa 4500 Eisen- und über 2000 Kohlelinien gemessen waren, begann die eigentliche Untersuchung mit dem Spektrum der Alkalien, und dann folgten in etwa halbjährigen Abständen die weiteren Gruppen des Periodischen Systems der Elemente bis zur 5., wobei freilich in den höheren Gruppen einige Elemente ausfielen, die teils nicht zu beschaffen waren, teils kein geeignetes Spektrum zeigten. RUNGE und PASCHEN haben später die Reihe noch durch Hinzunahme dreier Elemente der 6. Gruppe vervollständigt. Hiermit war also ein Überblick über fast das ganze Periodische System auf Grund vergleichbarer Zahlen von erheblicher und wohldefinierter Genauigkeit möglich gemacht.

Die Abhandlungen (3), die über diese Arbeiten berichten, stellen jedesmal die vollständige Tabelle der gemessenen Wellenlängen voran, jeweils mit Fehlerabschätzung und Bemerkungen über das Aussehen der Linie. Dann erst folgt die Angabe der Linien, die sich zu gesetzmäßigen Folgen zusammenschließen, nebst den Formeln, die die Schwingungszahlen dieser Serienlinien als Funktion der Ordnungszahl darstellen. Am Schluß werden Reproduktionen einiger Aufnahmen und schematische Zeichnungen der Spektren gegeben.

Bei den Alkalien ließen sich sämtliche Linien des Spektrums je in 3 Serien von Doppellinien unterbringen, die als Hauptserie und 1. und 2. Nebenserie bezeichnet wurden, und bei allen 5 Elementen der Gruppe analog gebaut waren, derart, daß die 3 Konstanten der Formel mit wachsendem Atomgewicht einen einheitlichen Gang zeigten (s. Fig. 1). Bei den Erdalkalien nimmt nur noch etwas über die Hälfte aller Linien an Serien teil; diese Serien aber genügen ganz entsprechend gebauten Formeln; auch hier zeigen sich eine 1. und 2. Nebenserie, doch bestehen sie statt aus Doppellinien aus Triplets. Hauptserien wurden nicht gefunden. In der 3. Gruppe zeigen sich wieder Serien von Doppellinien, die ebenfalls als 1. und 2. Nebenserie deutbar sind. In der 4. und 5. Gruppe wurden keine Serien gefunden, doch fanden sich Systeme von konstanten Schwingungsdifferenzen.

Als Gesetz für die Serien bewährte sich die Formel:  $\frac{1}{\lambda} = A - \frac{B}{m^2} - \frac{C}{m^4}$  recht gut. Es zeigte sich jedoch häufig, daß man die beste Übereinstimmung erhielt, wenn die 3 Konstanten nicht, wie es am nächsten lag, aus den drei ersten Linien bestimmt wurden, sondern aus der 2., 3. und 4., oder drei noch höheren Gliedern der Folge. RUNGE erkannte alsbald den Grund: wenn gerade die erste Linie der Serie durch die Formel ungenau dargestellt wurde, so mußte das daran liegen, daß für kleine  $m$  Glieder mit höheren negativen Potenzen relativ mehr Einfluß haben; die drei benutzten Glieder stellten offenbar nur den Beginn einer Entwicklung nach negativen Potenzen von  $m$  dar, also bloß eine Annäherung an die wahre Funktion, die für die Linien hoher Ordnungszahl dieser bereits sehr nahe kam, für die erste Linie jedoch noch merklich von ihr abwich. RUNGE machte indessen keinen Versuch, etwa diese wahre Funktion zu finden. Ihm lag nur daran, das mit so vieler Sorgfalt gewonnene Beobachtungsmaterial so genau wie möglich durch eine Funktion von einfachem Typus darzustellen. Die Kenntnis des Formeltyps erleichterte in der Folge das Auffinden der Serien in dem Gewirr von Linien, das die Spektren beim ersten Anblick boten, und die Zusammenstellung der 3 Konstanten für die verschiedenen Gruppen gleichartiger Elemente zeigte unverkennbar, daß die Serienspektren in enger Beziehung zu der chemischen Natur der Elemente stehen mußten, da ihr Bau sich von Gruppe zu Gruppe in gleichbleibendem Sinne änderte. Eine tiefere Einsicht in den Sinn dieser Gesetze war damit freilich noch nicht gewonnen.

Einen wesentlichen Schritt in dieser Richtung machte nun aber die große Arbeit J. RYDBERGS (6), dischen Akademie der Wissenschaften erschien. JOHANNES ROBERT RYDBERG war Schwede und

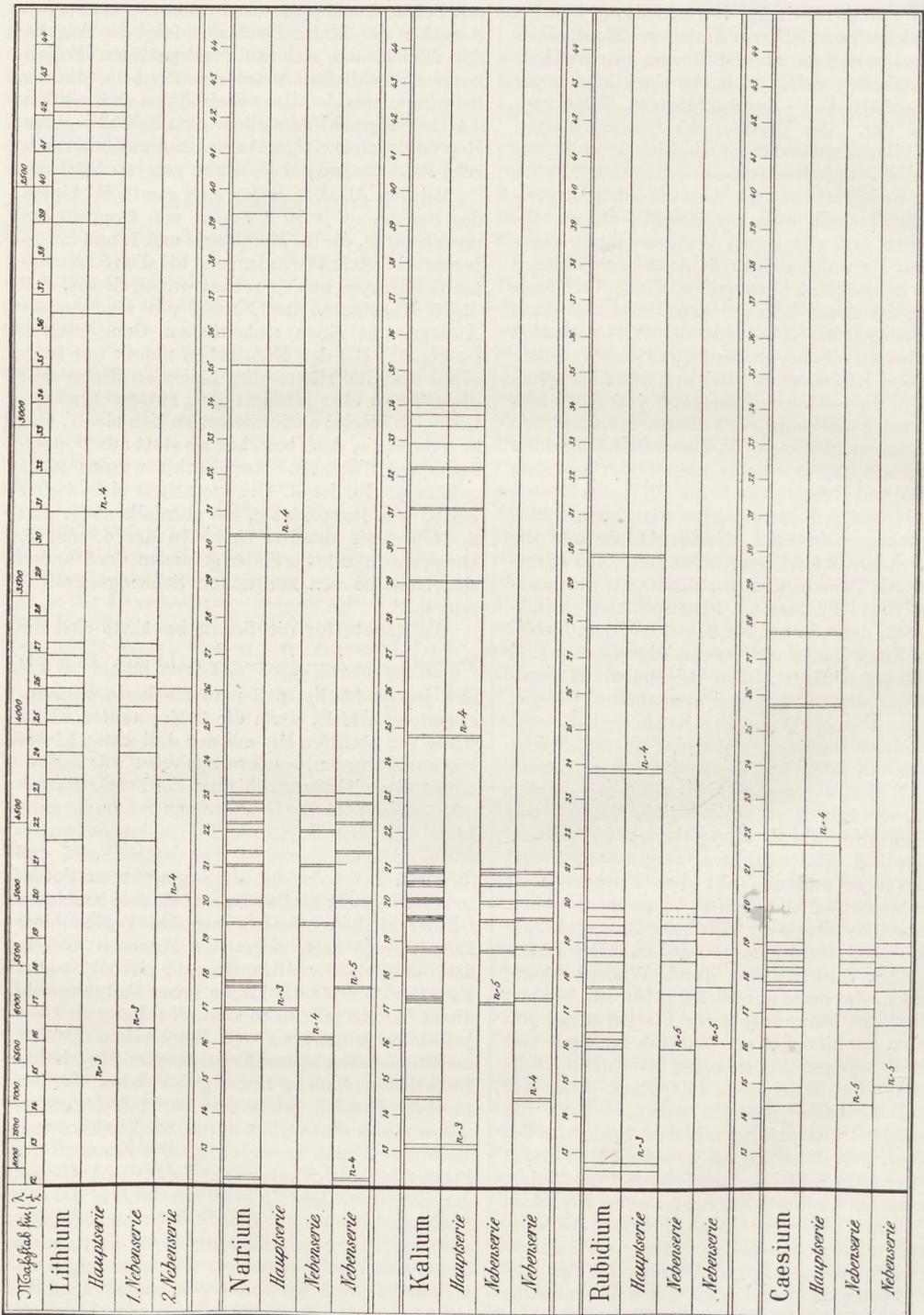


Fig. 1. Erste Darstellung des Spektrums der Alkalien im Maßstabe der Schwingungszahlen von KAYSER und RUNGE. Für jedes Element wird in der ersten Zeile das ganze Spektrum, in den folgenden die Aufteilung in Haupt- und Nebenserien gegeben. Bei Rubidium und Caesium sind die beiden als Nebenserien bezeichneten Liniengruppen eigentlich die beiden Dublettkomponenten der ersten Nebenserie; daß es außer ihnen noch je eine zweite Nebenserie aus Doppellinien gibt, hat RYDBERG gefunden.

die, schon vor KAYSERS und RUNGES Zusammen- arbeit begonnen, erst kurz nach deren ersten Veröffentlichung in den Abhandlungen der schwe-

damals Assistent am physikalischen Institut der Universität Lund. Auch er war ursprünglich Mathematiker, hatte jedoch für Physik ebenfalls

die Venia legendi erworben. Für ihn war die Beschäftigung mit den Spektren das erste größere wissenschaftliche Thema, das er sich vornahm. Auch ihn erfüllte, ähnlich wie BALMER, eine Vorliebe für symmetrischen Aufbau und Zahlengesetze. Aber seine Art, zu denken und zu arbeiten war dennoch von der der andern grundverschieden.

RYDBERGS ganzes Streben ging dahin, Zusammenhänge zwischen den Atomen zu erforschen. Die Spektren waren für ihn nur ein besonders günstiges Feld für diesen Zweck, den er auch auf den Gebieten der Dichte, des Atomgewichts und anderer Eigenschaften verfolgt hat. Sein leitender Gedanke war immer, Beziehungen und Ähnlichkeiten zwischen verschiedenen Elementen, die im Periodischen System entsprechende Stellen einnahmen, zu entdecken. Daß es für alle Elemente gemeinsame Gesetze der Spektren geben müsse, stand für ihn über jeden Zweifel fest, schon ehe er sie gefunden hatte, und diese Überzeugung half ihm, Gleichartigkeiten auch da zu sehen, wo sie nach den tatsächlichen Messungen nur höchst ungenau vorhanden waren. Urteilt man nur nach den Unterlagen, auf die er seine Behauptungen gründete, so hätte ein großer Teil davon gerade so gut falsch sein können. Daß sie in Wirklichkeit, wie sich später erwies, im wesentlichen das Richtige trafen, darf aber doch nicht schlechthin als ein Wunder der Intuition betrachtet werden. Denn im Grunde waren es klare und verständliche Gedankengänge, die ihn auf die Spur der Gesetze brachten; wunderbar ist allerdings die geradezu somnambule, fast die Grenze normaler Geistes-tätigkeit überschreitende Sicherheit, mit der er an seine Gesetze glaubte und alle Abweichungen davon auf Meßungenauigkeit schob.

Verfolgen wir, wie er bei der Auffindung der Gesetze zu Werke ging. Da es ihm vor allem darauf ankam, Gleichartigkeit in den Spektren verschiedener Elemente zu entdecken, so versuchte er, die auch von ihm in den verschiedenen Spektren aufgefundenen Serien nebeneinander als Kurven darzustellen, um sie durch die Anschauung vergleichen zu können. Nachdem er die Wellenlänge und ihren reziproken Wert, die Schwingungszahl, je als Funktion der Ordnungszahl aufgetragen hatte, ohne etwas Besonderes zu entdecken, kam er auch auf den Gedanken, die Differenzen der Schwingungszahlen je zweier benachbarter Serienlinien als Funktion der Ordnungszahl aufzutragen, und hier ergab sich die erwartete Gesetzmäßigkeit: die Kurven zeigten sich angenähert kongruent, nur seitlich gegeneinander verschoben; unter allen bekannten Serien fanden sich keine, deren Kurven einander überschneiden (s. Fig. 2). RYDBERG schließt sofort auf eine universelle Funktion von  $(m + \mu)$ , worin  $m$  die Ordnungszahl,  $\mu$  die für die betreffende Serie charakteristische seitliche Translation bedeuten, und erkennt zugleich, daß dann auch die Kurven der Schwingungszahlen selbst alle kongruent sein müssen, nur daß diese infolge einer additiven Konstante auch noch nach oben oder unten verschoben sein können. Durch den Kunstgriff der Differenzbildung war diese Konstante eliminiert worden, so daß die Kongruenz deutlicher

hervortrat. Für die universelle Funktion, im Ausdruck für die Schwingungszahl, probiert er nun zuerst  $\frac{1}{m + \mu}$ , dann  $\frac{1}{(m + \mu)^2}$ , und es ist interessant zu sehen, nach welchem Gesichtspunkt er die Entscheidung zugunsten der letzteren Formel trifft. Denn es muß beachtet werden, daß RYDBERG mit demselben unhomogenen und unsicheren Zahlenmaterial arbeitet, das RUNGE und KAYSER zu der Erkenntnis genötigt hatte, eine Prüfung ihrer Serienformel sei nur auf Grund neuer genauere

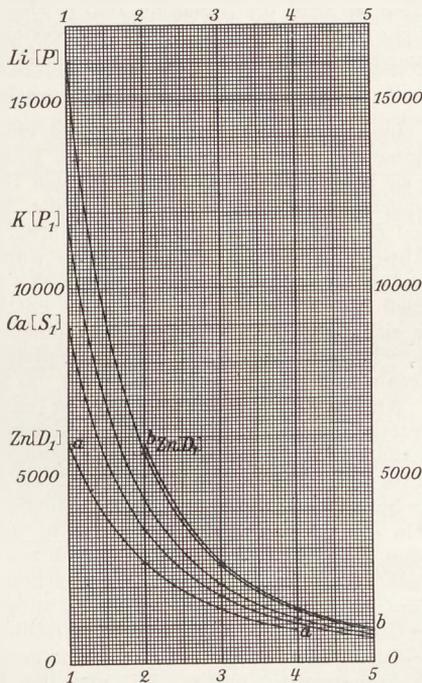


Fig. 2. Kurve der Differenzen aufeinander folgender Schwingungszahlen für je eine Serie der Elemente Lithium, Kalium, Calcium und Zink; aus RYDBERGS Arbeit: Abh. schwed. Akad. Wiss. 23 (1889). Die Kurve b gibt die Zn-Kurve a in seitlicher Verschiebung wieder, um ihre Kongruenz mit der Li-Kurve zu zeigen.

Messungen möglich. RYDBERG zieht einen ganz anderen Schluß. Allerdings waren für eine einzelne Serie die Abweichungen zwischen den beobachteten und den nach der Formel berechneten Werten für beide Formeln so groß, daß man kaum zwischen ihnen hätte entscheiden können. Aber RYDBERG stellt fest, daß bei der Formel  $\frac{1}{m + \mu}$  die Vorzeichen der Abweichungen bei allen Serien mit wachsendem  $m$  die gleiche Reihenfolge von + und - Zeichen bilden; er schließt daraus, daß die Formel  $\frac{1}{m + \mu}$  einen systematischen Unterschied von der gesuchten universellen Funktion hat. Bei der Formel  $\frac{1}{(m + \mu)^2}$  treten zwar auch Abweichungen auf, aber ihre + - Reihenfolgen sind bei allen Serien ganz regellos verschieden; daher nimmt RYDBERG dieses als richtige Form der Funktion an. Eine Bestätigung liefert ihm dann noch die

BALMERSche Formel, die sich als Spezialfall für  $\mu = 0$  erweist.

Diese Schlußweise aus der Gleichartigkeit der Übereinstimmung bei sehr vielen verschiedenen Elementen, nicht aus der Güte der Übereinstimmung selbst, zieht sich durch RYDBERGS ganzes Werk. Die von ihm gefundenen Gesetzmäßigkeiten treffen fast durchweg im einzelnen Falle nur in ganz grober Annäherung zu. Sieht man aber, daß sie bei den etwa 20 von ihm untersuchten Elementen immer wieder in grober Annäherung zutreffen, so wird die Annahme, daß es sich um wirkliche Gesetze handelt, doch einigermaßen überzeugend. Die RYDBERGSche Serienformel

$$\frac{1}{\lambda} = n = n_0 - \frac{R}{(m + \mu)^2} \text{ für } m = 2, 3, \dots \text{ enthielt,}$$

da  $R$  eine universelle Konstante bedeutet, eine zu bestimmende Konstante weniger als die RUNGESche; sie paßte sich daher weniger gut den Beobachtungen an als diese, bei der die beiden Konstanten  $B$  und  $C$  so gewählt werden konnten, daß die Abweichungen so klein als möglich wurden. Daß aber RYDBERGS Behauptung von der universellen Natur des  $R$  etwas Richtiges enthielt, zeigte sich darin, daß die dem  $R$  entsprechende RUNGESche Konstante  $B$  bei allen Elementen und in deren sämtlichen Serien nur ungefähr um 20% ihres Wertes schwankte. Ähnlich war es mit mehreren anderen von RYDBERG gefundenen Gesetzmäßigkeiten. Daß bei den Nebenserien die Dubletts und Triplets durch die ganze Serie konstante Schwingungsdifferenzen zeigten, die Serienformeln sich hier also nur durch das  $n_0$  unterschieden, ging freilich noch recht deutlich aus den Beobachtungen hervor. Kühner war schon die Behauptung, daß die Teilserien der Hauptserien umgekehrt sich nur durch das  $\mu$  unterschieden, also ein gemeinsames  $n_0$ , und damit eine gemeinsame „Seriengrenze“ hatten. Daß aber dies letztere auch von den beiden Nebenserienpaaren galt, war vorderhand durchaus nicht einleuchtend. KAYSER und RUNGE prüfen diese Frage in ihren nach RYDBERGS Veröffentlichung erschienenen Arbeiten für jedes Element von neuem sorgfältig und kommen schließlich zu dem Ergebnis: „RYDBERG hat recht, wenn auch nicht ganz streng.“ Das merkwürdigste und wichtigste Gesetz, das RYDBERG fand, war aber die Übereinstimmung des  $n_0$

der zweiten Nebenserie mit dem Gliede  $\frac{R}{(1 + \mu)^2}$  der Hauptserie, und des  $n_0$  der Hauptserie mit  $\frac{R}{(1 + \sigma)^2}$ , wenn  $\sigma$  die dem  $\mu$  entsprechende Konstante der zweiten Nebenserie ist. Die große Bedeutung dieser Entdeckung lag darin, daß damit die Schwingungszahl als Differenz zweier gleichartig aufgebauter Ausdrücke erkannt war,

$$n = \frac{R}{(1 + \mu)^2} - \frac{R}{(m + \sigma)^2}, \text{ was die spätere BOHRsche}$$

Deutung als Differenz zweier Energien und damit die Vorstellung von dem Sprung zwischen 2 Quantenzuständen vorbereitete. Daß RYDBERG diese Übereinstimmung erkannte, war nur möglich durch seine Methode, nicht am einzelnen Fall zu haften, sondern alle bekannten Spektren zusammen

zu betrachten und sich mit ganz groben Annäherungen zu begnügen, sofern sie nur in allen Spektren vorhanden waren. Denn wenn wir hier das Wort „Übereinstimmung“ gebrauchten, so muß man sich vor Augen halten, daß dabei Unterschiede von 20 Å, ja unter Umständen bis zu 200 Å, ( $1 \text{ Å} = 10^{-8} \text{ cm}$ ) noch als „Übereinstimmung“ gerechnet werden, also Unterschiede, die weit über die Fehlergrenze spektroskopischer Messungen hinausgingen. (Selbst bei den ungenaueren Messungen damals höchstens 3 bis 5 Å). Solche „Übereinstimmung“ konnte nur dem auffallen, der schon mit der festen Absicht, Zusammenhänge zu finden, an das Material herantrat.

Diese Absicht führte RYDBERG freilich zuweilen auch auf Behauptungen, die sich später nicht bewährten. So will er in jedem Triplett und Dublett die Anfänge einer Serie erkennen, deren höhere Glieder nur wegen zu geringer Intensität nicht wahrgenommen werden, und ferner, da er in den Spektren mehrerer Elemente bei einigen Linien der 1. Nebenserie einen schwachen Begleiter findet, behauptet er ohne Bedenken das Vorhandensein eines Systems von „sekundären Serien“, die als Begleiter bei jeder der 2 bzw. 3 Teilserien der 1. Nebenserie auftreten sollen. Als die Messungen von KAYSER und RUNGE über die Serien der 2. Gruppe des Periodischen Systems erschienen, ergab sich nun allerdings, daß einige der ersten Triplets der 1. Nebenserie in charakteristischer Weise zusammengesetzte Gebilde darstellten; es hatte indessen nicht, wie RYDBERG angenommen hatte, jede Triplettlinie einen Begleiter, sondern die 1. zwei, die 2. einen, die 3. gar keinen. Diese neue Regelmäßigkeit regte RYDBERG sofort dazu an, sie wiederum durch alle Spektren zu verfolgen; es gelang ihm auch, gesetzliche Beziehungen für die Schwingungsdifferenzen dieser zusammengesetzten Triplets aufzustellen und noch in einer Reihe weiterer Fälle zu bestätigen, aber in seinen Behauptungen geht er wieder weit über das experimentell Gefundene hinaus. Es ist typisch für ihn, daß er KAYSER und RUNGE, die nichts weiter taten, als die Mittelwerte ihrer Messungen zu veröffentlichen, fast mit einer Art Gereiztheit vorwirft, daß sie die Gleichheit der Schwingungsdifferenzen bei der 1. und 2. Nebenserie „in Zweifel gezogen“ hätten; nach seiner Meinung „darf diese Konstanz nicht aufgegeben werden, da sie der ganzen Anordnung der Linienspektren zugrunde liegt.“ Ihrerseits bemerken KAYSER und RUNGE auf RYDBERGS Behauptung, daß auch die übrigen Triplets der 1. Nebenserie die von ihm erwarteten Begleiter aufweisen müßten, nachdem sie festgestellt haben, daß die geforderte dritte Komponente nicht in allen Fällen gefunden werden konnte: „Zwar bleibt immer der Ausweg zu sagen, daß sie zu schwach sei, um wahrgenommen zu werden. Indessen sollten wir meinen, daß, solange eine Linie nicht beobachtet ist, man mehr Grund hat, sie für nicht vorhanden als für vorhanden zu halten.“ Ein Satz, den RYDBERG ganz gewiß nicht anerkannt hätte! Für ihn hatten die von ihm vermuteten Gesetzmäßigkeiten mindestens dieselbe Realität wie die beobachteten Linien, eben deshalb,

weil sie Gesetz und Ordnung in die Gesamtheit der Spektren brachten, und wenn sich die Beobachtungen dem Gesetz nicht fügten, so war er meist geneigt, die Beobachtungen für ungenau oder unvollständig zu halten. Wenn dies auch unzweifelhaft ein etwas bedenklicher Grundsatz für einen Naturforscher ist, so ist doch nicht zu leugnen, daß die wesentliche Grundform der Seriengesetze, die RYDBERG wirklich gefunden hat, nur dadurch zu entdecken war, daß man sich nicht zu kleinlich an die letzten Dezimalen der Messungen klammerte.

Freilich hätte auch aus den schönsten Entdeckungen RYDBERGS nichts weiter werden können, wenn nicht die experimentelle Forschung durch gründliche und exakte Beobachtungen die unzweifelhafte Gültigkeit seiner Gesetze in groben Zügen und die ebenso unzweifelhaften Abweichungen in den feineren Einzelheiten immer vollständiger dargetan hätte. RUNGE, der nach KAYSERS Fortberufung nach Bonn in FRIEDRICH PASCHEN einen neuen Mitarbeiter gefunden hatte, war sich der Bedeutung der merkwürdigen RYDBERGSCHEN Faustregeln sehr deutlich bewußt. In den schönen Arbeiten über das Spektrum des neu entdeckten Heliumgases und über die des Sauerstoffs, Schwefels und Selens, die RUNGE und PASCHEN in den Jahren 1895—1897 herausbrachten (7, 8), unterließen sie bei keinem Element, auf Grund der RYDBERGSCHEN Beziehung zwischen 2. Nebenserie und Hauptserie nach Hauptserien zu suchen, und wirklich half diese Beziehung in einer ganzen Anzahl Fällen zur Auffindung der Anfänge von solchen, so daß dadurch umgekehrt wieder die Gültigkeit der Regel — freilich immer nur in grober Näherung — eine neue Stütze fand.

Eine weitere wichtige Bestätigung der RYDBERGSCHEN Gesetze ergab sich infolge einer Entdeckung, die auch für sich genommen für die Erklärung der Spektren von der höchsten Bedeutung war: der Auffindung des ZEEMAN-Effektes 1896. Der holländische Physiker PIETER ZEEMAN, damals etwa 30 Jahre alt, erbrachte den Nachweis, daß ein magnetisches Feld sowohl die Emission wie die Absorption von Spektrallinien in charakteristischer Weise veränderte. ZEEMAN stellt als Forscherpersönlichkeit gegenüber den bisher gesprochenen wieder einen ganz anderen Typus dar. Seine Untersuchung bestand nicht wie bei KAYSER und RUNGE im geduldigen Messen und Registrieren eines großen Erscheinungskreises in allen seinen Einzelfällen, noch im nachträglichen Aufsuchen von mathematischen Beziehungen zwischen solchen Meßergebnissen. Obwohl er unzweifelhaft ein Experimentalphysiker war, so knüpfte doch seine Fragestellung ganz bewußt an gewisse theoretische Vorstellungen an, deren Folgerungen er durch die Beobachtung prüfen wollte. In einer seiner ersten Veröffentlichungen über seine Entdeckung (9) stellt er selbst ausführlich dar, welche Gedanken er sich vor dem Beginne des Versuchs darüber machte: Danach ist es merkwürdigerweise nicht die LORENTZSCHE Elektronentheorie gewesen, die ihn darauf brachte, einen Einfluß des Magnetfeldes auf die Schwingungszahl des ausgesandten Lichtes zu erwarten, obwohl H. A. LORENTZ an

derselben Universität Leyden wirkte, zu der auch ZEEMAN gehörte, und schon seit 15 Jahren seine Elektronenhypothese vertrat. Es waren vielmehr die älteren Vorstellungen, die das Magnetfeld als einen Ätherwirbel deuteten und das Licht auf Schwingungen der Materie zurückführten, ohne dabei an elektrische Ladungen des Atoms zu denken. Auch nach dieser mechanistischen Vorstellung konnte man aber erwarten, daß der Ätherwirbel kreisende Bewegungen kleiner Partikel, je nach der Lage des Drehungsimpulses, beschleunigen oder verzögern würde, und es war daher eine Aufspaltung der Spektrallinien zu erwarten, wenn die strahlende Materie sich im Magnetfeld befand. ZEEMAN hat diesen Gedanken ursprünglich ganz selbständig gefaßt, nicht wie vielfach angenommen wird, durch die entsprechenden früheren Versuche FARADAYS angeregt. Von diesen Versuchen erfuhr er erst, nachdem er das Experiment selbst gemacht und allerdings als ergebnislos wieder aufgegeben hatte. Die Tatsache, daß ein FARADAY einen ähnlichen Effekt erwartet und gesucht hatte, bestärkte ihn dann aber so sehr in der Überzeugung von der Richtigkeit seiner Überlegungen, daß er nochmals mit verbesserten Hilfsmitteln ans Werk ging, und so den fraglichen Einfluß wirklich fand. ZEEMAN besaß jedoch die größte Gewissenhaftigkeit; ehe er zugab, daß er wirklich den gesuchten Effekt gefunden hatte, machte er sich selbst jeden nur möglichen Einwand und ersann eine Reihe Kontrollexperimente, um jede irgend denkbare andere Erklärung auszuschließen. Er konnte sich aber davon überzeugen, daß das Magnetfeld wirklich sowohl in Emission wie in Absorption die Linien verbreiterte.

Dann erst teilte er sein Ergebnis LORENTZ mit; und nun ergab es sich, daß die neuen Vorstellungen, die LORENTZ sich von ganz anderen Erwägungen her über die Struktur der Materie gemacht hatte, in noch viel schärferer und stärker überzeugender Weise als die alten Theorien, die Ergebnisse erwarten ließen, die ZEEMAN gefunden hatte. Wenn das Atom elektrisch geladene schwingende Partikelchen enthielt, so ließ sich der Einfluß eines Magnetfeldes sofort mathematisch angeben: er mußte eine von Ladung und Masse der Teilchen abhängige Aufspaltung der Spektrallinien in 3 Komponenten bewirken. Aber noch mehr: die Theorie ergab einwandfrei, daß die verschobenen Komponenten bei Betrachtung längs der Kraftlinien entgegengesetzt zirkulär polarisiert sein sollten, bei Querbetrachtung dagegen linear, und zwar senkrecht zur Polarisationsrichtung der unverschobenen Komponente. Als ZEEMAN den Polarisationszustand seiner Linien untersuchte, fand er genau das, was die LORENTZSCHE Theorie verlangte, und er hatte damit zugleich eine neue Stütze für die Elektronenhypothese gefunden, auf die LORENTZ selbst vorher nicht gekommen war. Es verdient hervorgehoben zu werden, daß es diese theoretische Deutung war, die der ZEEMANSCHEN Entdeckung ihre ungeheure Bedeutung verlieh und das große Interesse erklärt, das sie überall fand. Etwa 10 Jahre vorher hatte FIEVEZ in Brüssel einen ähnlichen Versuch angestellt, und auch er hatte eine Verbreiterung der

Natriumlinie gefunden. Aber es bleibt ungewiß, ob er wirklich den direkten Einfluß des Magnetfeldes auf den Schwingungszustand des Atoms beobachtet hat oder nur einen indirekten Einfluß durch Änderung der Form und Temperatur des Bogens. Selbst wenn es der wahre Effekt war, ohne die theoretische Deutung fehlte die Beziehung auf den Polarisationszustand, und erst dessen experimentelle Prüfung lieferte den schlagenden Beweis, daß hier wirklich eine meßbare und berechenbare physikalische Beeinflussung des Vorgangs der Lichtaussendung selbst gelungen war.

Physiker T. PRESTON, der dieses Gesetz zuerst ausgesprochen hat (10). Seine genauere Untersuchung aber und die Kennzeichnung der charakteristischen Eigenschaften der Aufspaltungstypen verschiedener Serien wurde von RUNGE und PASCHEN durchgeführt (11). Es würde zu weit führen, hier auf Einzelheiten der sehr mannigfaltigen Ergebnisse einzugehen. Eines aber geht aus ihnen allen mit Sicherheit hervor: eine glänzende Rechtfertigung der RYDBERGSchen Überzeugung von der Einheitlichkeit der Seriengesetze für alle Elemente. Denn nicht nur die Linien einer Serie zeigten die-

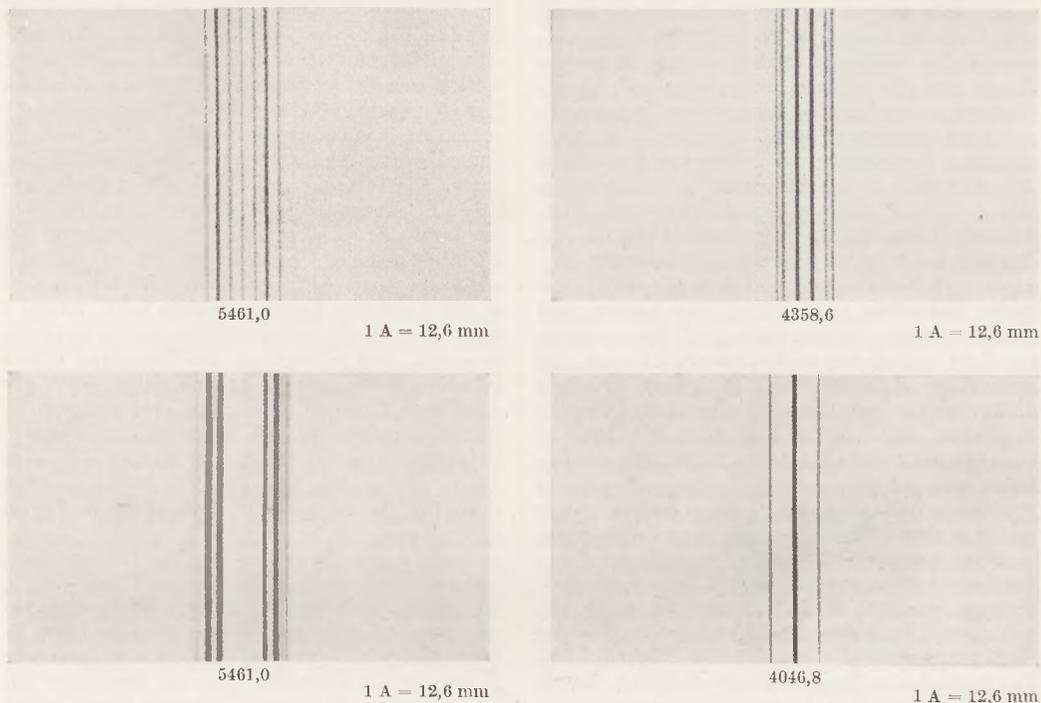


Fig. 3. Aufnahmen von Quecksilberlinien im magnetischen Felde; aus C. RUNGE und F. PASCHEN, Abh. preuß. Akad. Wiss., Physik-math. Kl., 1902 (verkleinert).

Dieser große Erfolg lockte sogleich eine Menge Beobachter auf den Plan. Man verstärkte die Magnetfelder und vervollkommnete die Technik, und bald zeigte es sich, daß die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen viel größer war, als zuerst angenommen wurde. Hinter einem gelösten Rätsel trat eine Schar neuer hervor. Außer der von der einfachsten Theorie geforderten Aufspaltung in 3 Komponenten wurde eine große Reihe viel komplizierterer Aufspaltungen in 6, 9 und noch mehr Komponenten beobachtet (s. Fig. 3). Aber auch hier gab es neue Gesetzmäßigkeiten, die sich in bedeutsamer Weise den bisher bekannten anpaßten. Der ZEEMAN-Effekt zeigte eine enge Verknüpfung mit den Eigenheiten der Serien, denn die Zahl und Anordnung der durch das magnetische Feld hervorgerufenen Komponenten ergab sich jeweils für alle Linien einer Serie gleich, für die verschiedenen Serien eines Elements aber charakteristisch verschieden. Es war der früh verstorbene irische

selbe ZEEMAN-Aufspaltung, sondern auch die Linien entsprechender Serien bei ganz verschiedenen Elementen (sogar verschiedenen Gruppen des Periodischen Systems angehörig) zeigten bei gleicher Feldstärke quantitativ dieselbe Aufspaltung nach Zahl, Schwingungsdifferenz und Intensitätsverhältnissen der Komponenten (s. Fig. 4). Danach konnte man z. B. bei Elementen, in deren Spektrum statt der Hauptserien nur eine oder zwei Linien gefunden waren, die man auf Grund der RYDBERGSchen Beziehung zwischen Haupt- und 2. Nebenserie für deren Anfangsglied hielt, sehr einfach am ZEEMAN-Typ der betreffenden Linien erkennen, daß sie in der Tat als Glieder einer Hauptserie anzusehen waren, und damit hatte man eine neue Bestätigung für die Gültigkeit der RYDBERGSchen Beziehung. So konnte denn mit Hilfe der Untersuchungen im magnetischen Felde die Aufteilung der Spektrallinien in Systeme von Serien noch in vielen Fällen vervollständigt werden.

Außerdem ergab die Erforschung der Anordnung der Komponenten bei den komplizierten ZEEMAN-Zerlegungen Gesetzmäßigkeiten, die wieder auf einfache ganzzahlige Verhältnisse führten (Fig. 4). Auch hier erwies sich also die Reihe der ganzen Zahlen ähnlich wie in den Serienformeln als von besonderer Bedeutung.

Zu allen diesen Erfolgen der experimentellen Forschung kam nun aber, 14 Jahre nach der Arbeit von RYDBERG, ein neuer Schritt der theoretischen. WALTER RITZ, ein junger Schweizer von hoher Begabung, reichte 1903 als Göttinger Doktor-dissertation eine Arbeit über die Theorie der Serienspektren ein. RITZ war ein Denker von der konstruktiven Art, im Reichtum seiner Ideen RYDBERG ähnlich, aber unendlich verschieden von ihm in der Schärfe seiner Schlüsse und der Strenge seiner Kritik. Es waren ihm kaum 7 Jahre wissenschaftlicher Tätigkeit vergönnt, da er 1909 einunddreißigjährig einer Tuberkulose erlag. Trotzdem diese Krankheit schon während der Jahre der Arbeit an seinen Kräften zehrte, hat er die Erforschung der Spektren durch eine Reihe bedeutender Abhandlungen (12) gefördert.

Es ist eine eigentümliche Tatsache, daß seine Arbeiten, obwohl sie das, was ihr Verfasser sich zum Ziel setzte, nicht erreichten, dennoch ein äußerst wichtiges Glied in der Kette der aufeinanderfolgenden Erkenntnisse darstellen, ohne das die weitere Entwicklung kaum denkbar wäre. Die Bedeutung seiner Arbeiten liegt einmal darin, daß er in aller Schärfe sich ein schwingendes System vorzustellen suchte, dessen Eigenfrequenzen sich in der Weise der Spektrallinien zu Serien ordnen würden. Er hat dazu zwei ganz verschiedene Ansätze gemacht, einen rein mechanischen und einen, der mit Elektronen und magnetischen Atomfeldern operiert. Beide Systeme sind wohl kaum je einem Physiker, auch ihrem Schöpfer nicht, als ein tatsächlich plausibles Bild der Wirklichkeit erschienen. Und doch war es wichtig, daß sie gedacht wurden. Denn sie waren vollkommen folgerichtig eronnen; die Eigenschaften, die ihnen zugeschrieben wurden, mußten ihnen auf Grund der klassischen Physik zugeschrieben werden, wenn sie das leisten sollten, was man von ihnen verlangte, nämlich Schwingungszahlen mit Seriencharakter zu liefern. Und so halfen sie gerade durch ihre wenig überzeugende Künstlichkeit den Boden für die Quantentheorie vorbereiten: wenn die Prinzipien der klassischen Physik die Vorgänge im Atom nur mit derartig künstlichen Anordnungen zu erklären vermochten, so konnte der Zweifel einsetzen, ob es berechtigt war, an diesen Prinzipien unter allen Umständen festzuhalten. Ausgesprochen wurde dieser Gedanke freilich noch nicht.

Zugleich aber leisteten die RITZschen Untersuchungen noch etwas anderes. Die eingehende Beschäftigung mit der Frage nach der Entstehung der Spektren führte ihn zu zwei neuen Erkenntnissen über den Bau der Spektren. Die eine war eine neue Serienformel, die die Schwingungszahlen besser darstellte als die RYDBERGSche und auch als die RUNGESche. Die andere war eine allge-

meine Einsicht in die Zusammenhänge verschiedener Serien: das Kombinationsprinzip. Die Auf-findung der RITZschen Serienformel ergab sich ursprünglich aus seinen Überlegungen über den Schwingungsmechanismus. Es war ihm in theoretischer Konstruktion gelungen, die allgemeinen Eigenschaften eines Systems anzugeben, dessen Schwingungszahlen den Charakter der Linienspektren zeigen mußten, nämlich eine Häufung im Endlichen. Das genauere Gesetz der Anordnung dieser Linien hing dann von den speziellen Randbedingungen des Systems ab, und RITZ nahm an, daß es nur diese waren, die sich von Element zu Element unterscheiden, während die Differential-

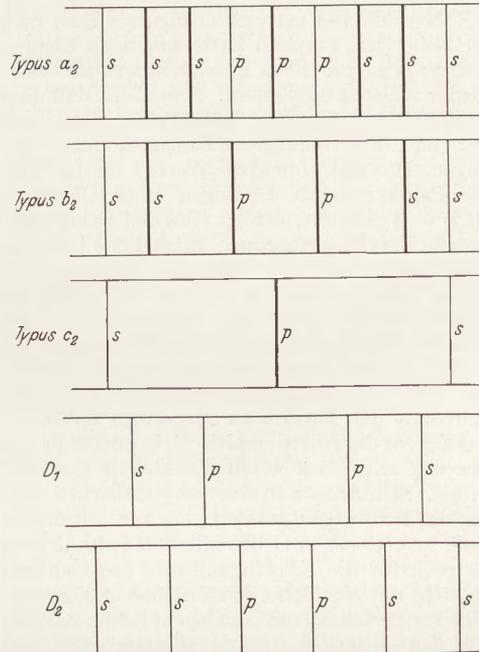


Fig. 4. Aufspaltungstypen der Linien eines Triplets der zweiten Nebenserie bei den Elementen der zweiten Gruppe (a) und der Linien eines Dubletts der Hauptserie bei den Elementen der ersten Gruppe (b), nach dem Artikel von C. RUNGE in KAYSERS Handbuch der Spektroskopie (1902). Die Buchstaben *s* und *p* bedeuten Polarisation senkrecht bzw. parallel zu den Kraftlinien.

gleichung dieselbe blieb. Die Schwingungszahlen sollten danach allgemein durch Ausdrücke der Form  $\frac{1}{k^2} - \frac{1}{l^2}$  darstellbar sein; für *k* und *l* ergaben sich aus den Randbedingungen transzendente Gleichungen der Form  $tg(ka) = \varphi(k)$ . Von der Funktion  $\varphi$  wurde weiter nichts vorausgesetzt, als daß sie sich nach Potenzen von  $\frac{1}{k}$  entwickeln ließ.

Dieser Ansatz ließ nun erkennen, daß für  $\varphi = 0$  das Wasserstoffspektrum dargestellt wurde, da die Wurzeln von  $tg(ka) = 0$  ganze Vielfache von  $\frac{\pi}{a}$ , also der Reihe der ganzen Zahlen proportional sind.

War  $\varphi$  von Null verschieden, und brach man nach dem ersten Glied ab, so entstand die Gleichung  $tg(ka) = \text{konst.}$  mit Wurzeln, die sich je um  $\frac{\pi}{a}$  unterschieden, womit sich genau die RYDBERGSchen Formeln ergaben.

In dieser Analogie fortschreitend, nahm nun RITZ ein Glied mit  $1/k$  in der Entwicklung hinzu und gelangte so als nächste Näherung zu dem Ansatz  $k = m + a + \frac{\beta}{(m+a)^2}$ .

Eine Prüfung dieser Formel am Beobachtungsmaterial zeigte eine vorzügliche Übereinstimmung, insbesondere war auch bei dieser Darstellung die RYDBERGSche Beziehung zwischen Haupt- und 2. Nebenserie viel genauer erfüllt, als man nach den bisherigen Formeln hatte erkennen können, da diese ja gerade die in Frage kommenden ersten Glieder schlecht darstellten. Man sieht, daß diese Betrachtungen von den künstlichen Annahmen über den Schwingungsmechanismus nicht abhängen. Hat man einmal die Werte  $k$  für das Wasserstoffspektrum als Lösungen einer Gleichung  $tg(ka) = 0$  gedeutet, so folgt alles andere als naheliegende Verallgemeinerung. Tatsächlich hat RITZ später selbst sein mechanisches Schwingungssystem fallen gelassen zugunsten der schon erwähnten atommagnetischen Theorie. Aber die RITZsche Formel behauptete ihren Platz ganz unabhängig davon als ein wertvolles empirisches Gesetz. Nur ihre Auffindung war es, die wir unzweifelhaft der Theorie zu verdanken haben.

Auch für die zweite empirische Entdeckung von RITZ war sein Blick durch die Theorie geschärft worden. Sein Ansatz zu einer physikalischen Deutung der Schwingungszahlen ging von vornherein davon aus, gleich zwei bewegliche Laufzahlen im Ausdruck für die Schwingungszahl anzunehmen, also nicht nur eine Serie, sondern eine unbegrenzte Reihe von Serien zugrunde zu legen. Schon BALMER hatte den Gedanken flüchtig ausgesprochen, daß an Stelle von  $2^2$  auch  $3^2$  oder höhere Zahlen treten könnten, und RYDBERG hatte durch seine Vermutung des gleichartigen Baus beider Terme etwas Entsprechendes für die Spektren anderer Elemente nahegelegt. RITZ griff das nun mit voller Konsequenz auf, obwohl zu jener Zeit noch keine der damit postulierten Serien beobachtet war. Das einzige, was vorlag, war die Tatsache, daß die Haupt- und Nebenserie jede einen der variablen Terme der andern Serie als konstanten Term besaß. Daß aber dieses Gesetz mit der neuen genaueren Serienformel sich nun wirklich als genau erfüllt erwies, machte seine Bedeutung noch wahrscheinlicher. Als nun 1908 A. BERGMANN (13) im Spektrum der Alkalien eine neue ultrarote Serie fand, bei der, wie RUNGE (14) zeigte, das konstante Glied dem 1. variablen Term der 1. Nebenserie gleich war, da kam RITZ der verallgemeinernde Gedanke: jeder in einer Serienformel vorkommende Term kann mit jedem andern desselben Elements zu einer möglichen Schwingungszahl kombiniert werden. Tatsächlich gab die Durchmusterung der Wellenlängentafeln noch eine ganze Anzahl weiterer Fälle, wo solche Kombinationslinien bereits beobachtet waren,

und die Folgezeit hat dieses Material noch reichlich vermehrt. Das Wichtigste an dem neuen Gesetze aber war etwas, was damals noch kaum bewußt erkannt wurde, und was doch die Vorbereitung für die spätere quantentheoretische Deutung bildete: die Einsicht, daß die Terme das physikalisch Primäre sind, nicht die Schwingungszahlen, die sich aus ihnen durch mannigfache Kombinationen erzeugen lassen.

RITZ hat die merkwürdige Entwicklung, die zugleich die Überwindung und die Fortsetzung seiner Gedanken war, nicht mehr erlebt. Wenig mehr als 1 Jahr nach dem Erscheinen seiner Arbeit über das Kombinationsprinzip machte der Tod seinem Schaffen ein Ende.

Nur 4 Jahre später, im Sommer 1913, erschien im Philosophical Magazine die Arbeit des jungen dänischen Physikers NIELS BOHR (15), die zum erstenmal eine umfassende Deutung der Seriergesetze anbahnte. Wo lag nun die Lösung des Rätsels? In einer völlig neuen Auffassung der Grundgesetze des Geschehens in atomaren Größenordnungen, und diese wieder wurde möglich durch Benutzung und sinngemäße Erweiterung zweier neuer Vorstellunggruppen, die in zwei ganz anderen Gebieten der Physik im Laufe der letzten 12 Jahre entstanden waren: des RUTHERFORDSchen Atommodells und der PLANCKSchen Quantenhypothese. Die Vorstellung diskreter Energiequanten, diskreter Elektronenbahnen, ließ plötzlich verstehen, warum die Serienformel eine Differenz zweier Terme darstellt: es handelte sich um die frei werdende Energie beim Übergang eines Elektrons aus einer möglichen Bahn in eine andere. Daß es BOHR gelang, auf Grund dieser Vorstellung die RYDBERGSche Konstante  $R$  quantitativ richtig aus dem PLANCKSchen Wirkungsquantum und den Elektronendaten abzuleiten, lieferte den schlagendsten Beweis für die Richtigkeit seines Gedankens. Wenn man an die künstlichen Konstruktionen der RITZschen Eigenschwingungstheorie denkt, berührt es fast wie ein Wunder, aus welchen einfachen Voraussetzungen nun auf einmal die Formel des Wasserstoffspektrums sich zwanglos ergibt. Freilich wurden für die komplizierteren Spektren Zusätze und Erweiterungen der ersten einfachsten Ansätze nötig, womit dann aber auch die RITZsche Formel als direkte Folge der neuen Ansätze hervortrat. Doch es würde zu weit führen, hierauf einzugehen; auch sind ja diese Entwicklungen in letzter Zeit so oft von berufener Seite dargestellt worden, daß hier darauf verzichtet werden kann. Der Eingang in das wunderbare Gebiet der Atomphysik war jedenfalls gefunden; der Schlüssel zur Entzifferung der Geheimschrift war da, und wenn auch die Durchführung späterhin noch manche Probleme stellte, so ist doch kein Zweifel, daß auf diesem Wege das ungeheuer mannigfaltige spektroskopische Material in einheitlichen Vorstellungen erfassbar ist und uns so die Grundgesetze der atomaren Vorgänge enthüllt.

#### Schrifttumsverzeichnis.

1. J. J. BALMER: Ann. Physik 25, 80 (1885). —
2. A. HAGENBACH: Naturwiss. 9, 451 (1921). —
3. H. KAYSER u. C. RUNGE: Abh. preuß. Akad. Wiss.,

Physik-math. Kl., 1888—1893 und Ann. Physik. 38, 41, 43, 46, 48, 52 (1889—1894). — 4. Über die Spektren der Elemente I. Abh. preuß. Akad. Wiss., Physik-math. Kl., 1888, S. 4. — 5. Im Besitze von Frau A. RUNGE geb. DU BOIS-REYMOND. — 6. J. RYDBERG: Abh. schwed. Akad. Wiss. 23 (1889). — 7. C. RUNGE u. F. PASCHEN: Abh. preuß. Akad. Wiss., Physik-math. Kl. 1895, 640. — 8. C. RUNGE u. F. PASCHEN: Ann. Physik. 61 (1897). — 9. P. ZEEMAN: Phil. Mag. 44 (1897). — 10. T. PRESTON: Nature 59,

248 (1898). — 11. C. RUNGE u. F. PASCHEN: Abh. preuß. Akad. Wiss., Physik-math. Kl., Februar 1902. — 12. W. RITZ: Ann. Physik 12 (1903); (4) 25, 660 (1908). Physik. Z. 9, 521 (1908) u. a. — 13. A. BERGMANN: Diss. Jena 1907. — Z. wiss. Phot. 6, 113, 145 (1908). — 14. C. RUNGE: Physik. Z. 9, 1 (1908). — 15. N. BOHR: Phil. Mag. 26 (1913).

In der vorliegenden Zeitschrift ist dazu zu vergleichen: 9, 35, 49 (1896). — 10, 159 (1897). — 11, 179 (1898). — 16, 169 (1903). — 25, 313 (1912).

#### 4. Unterricht und Methode.

##### Die naturwissenschaftliche Schularbeitsstätte in Wilna (Polen). Von Direktor Prof. ALEXANDER DMOCHOWSKI in Wilna.

Nach dem Weltkrieg und einer Reihe Militär- okkupationen (1914/1920) herrschte in den meisten Wilnaer Schulen, besonders in den Volksschulen, größte Raumnot und Mangel an jeglicher Schulinrichtung, an Übungsgeräten und wissenschaftlichen Hilfsmitteln und endlich an entsprechend ausgebildeten Lehrkräften. An einen physikalischen Unterricht im Sinn einer modernen Pädagogik war nicht zu denken. Diese Zwangslage führte mich zu dem Plan, eine Zentralanstalt in Wilna zu schaffen, mit einem physikalischen Kabinett und entsprechenden Arbeitsräumen zur Benutzung für die Volksschulen und Gymnasien. In dieser Zentralanstalt sollten sowohl die Lehrer Unterweisungen erhalten, als auch die Schüler hier unterrichtet werden. Dafür wurden mir im Sommer 1921 durch die kommunalen Verbände 5 große Zimmer (Säle), 5 kleinere Zimmer und ein als Schulgarten verwendbarer Hof zur Verfügung gestellt. Der zur Einrichtung der Räume und für die ersten Beschaffungen von Unterrichtsmitteln von den Schulbehörden zur Verfügung gestellte Geldbetrag belief sich auf rund 3000.— Zl.

Zunächst nahm ich Physik und Chemie für die Unterstufe in Angriff. Der Unterricht be ruht in der Hauptsache auf Schülerversuchen in gleicher Front, die durch Versuche des Lehrers ergänzt und durch Aussprachen über Sinn, An wendungen und Zusammenhänge ausgewertet werden. Meine eigene Aufgabe bestimmte ich da hin, in möglichst vielen Unterrichtsstunden zu gegen zu sein, eine Anzahl davon selbst zu leiten und in anderen durch Ausfragen der Schüler, möglichst im Plauderton, ein genaues Bild von dem Klassenstande zu gewinnen. Außerdem behielt ich mir selbst die Anleitungsstunden für die jüngeren Lehrer vor.

In dem Bestreben, das gestellte Ziel zu er reichen, ist es der Wilnaer Arbeitsstätte, obwohl sie stets über sehr bescheidene finanzielle Mittel verfügt hat, doch gelungen, zahlreiche naturwissen schaftliche Sammlungen und alle in das Gebiet der ministeriellen Lehrpläne für die Volksschulen und

Anmerkung der Redaktion. Der sehr ein gehende Bericht über diese einzigartige Anstalt konnte aus Raumangel leider nicht in dem ihm vom Verfasser gegebenen Umfang abgedruckt werden. Herr Oberstudienrat Dr. WILHELM VOLK MANN hat die Freundlichkeit gehabt, den Beitrag mit Zustimmung des Verfassers in die hier ver öffentlichte abgekürzte Form zu bringen.

Gymnasien fallenden wissenschaftlichen Hilfs mittel zu sammeln.

Die Lebensanforderungen haben die Tätigkeit der Wilnaer Arbeitsstätte außerdem noch in andere Bahnen gelenkt, und zwar auf den botanischen, zoologischen und erdkundlichen Unterricht. Im Zusammenhange damit ist in der Arbeitsstätte ein botanischer und ein zoologischer Garten, ein Aquarium (bestehend aus 46 systematisch ge ordneten Einzelaquarien), ein Kabinett für Natur schutz, ein pädagogisch-naturwissenschaftliches Museum und eine Schlosser- und Tischlerwerkstatt für die Reparaturen und den Bau physikalischer und anderer Hilfsmittel, gegründet worden. Gleich zeitig hat sich die Wilnaer Arbeitsstätte tatsächlich zu einer methodischen Zentrale entwickelt, in der die Fortbildung der Physiklehrer erfolgt. Die Wil naer Arbeitsstätte konnte sich infolge laufender Unterstützung von seiten der Schulbehörden und der kommunalen Verbände langsam, aber ständig entwickeln.

Der Stand im Jahre 1939 läßt sich kennzeichnen durch eine Hauptanstalt im Stadtinneren und sieben kleinere Anstalten in den Randgebieten der Stadt Wilna. Die Hauptanstalt verfügt über 12 große Übungsräume nebst den nötigen 45 weiteren Räumen mit zusammen 2300 m<sup>2</sup> Nutzfläche, sowie über einen 4200 m<sup>2</sup> großen Schulgarten. Im Vorort Antokol wird auf bewaldetem Hügel land ein zoo logischer und botanischer Garten in 5 ha Größe eingerichtet. Die sieben kleinen Anstalten haben je einen oder zwei Übungsräume nebst Zubehör und werden von je einer Lehrkraft verwaltet.

Zur Vorbereitung der Unterrichtsstunden, für das Abräumen und die Sammlungs pflege in der Zentrale und in den Filialen wurden 8 Helferinnen herangezogen, Absolventinnen der Volksschule, die eine feste Bezahlung erhalten; sie haben außer dem in einigen Schulstunden Hilfeleistungen bei den Schülerübungen zu übernehmen.

Die Schularbeitsstätte wurde in der letzten Zeit alljährlich von durchschnittlich etwa 400 Klassen ganz regelmäßig benutzt, wodurch dort mehr als 16 000 Schüler Unterricht erhielten. Auch höhere Schulen machten von der Einrichtung Gebrauch. Bei einer so hohen Belastung der Anstalt war es unmöglich, in ihr sämtliche naturwissenschaftlichen Unterrichtsstunden der beteiligten Schulen abzu halten. Daher wurden die Stundenpläne sämtlicher beteiligten Schulen unter meiner Mitwirkung so aufgestellt, daß jeder Klasse wöchentlich zwei aufeinanderfolgende Stunden zur Verfügung stehen. Die restlichen Lektionen (1 bzw. 2) des Stundenplanes benutzt der Lehrer bei sich in der

Schule zur Besprechung der in der Arbeitsstätte beobachteten Vorgänge, zur Vertiefung des Stoffes und zur Verbindung der besprochenen Themen miteinander. Der Übungsplan für diese Doppelstunden, aber auch der Arbeitsplan für die übrigen Stunden des Faches, muß im voraus genau aufgestellt werden. Die Helferinnen erhielten jeden Morgen den genauen Arbeitsplan für den nächsten Tag.

Jede Klasse wird sofort nach ihrem Eintreffen in den jeweils für sie bestimmten Raum geführt und findet alle Hilfsmittel bereit gestellt, so daß der Unterricht sofort beginnen kann. Eine Übungsgruppe besteht aus 3 bis 4 Schülern; sie wird zum Arbeiten, Abzeichnen, Notieren usw. angeleitet, wobei die Gehilfin den Lehrer unterstützt. Nach den Übungen wird alles Gerät wieder so hingestellt, wie es ursprünglich bereit stand, und etwaige Schäden werden gemeldet. Jede Woche sieht der Lehrer den vierten Teil der Schülerarbeitshefte durch. Diese Notizen werden von den Schülern ausschließlich an Ort und Stelle gemacht und dürfen nur verbessert, nicht aber ins reine umgeschrieben werden. Gegenwärtig werden die physikalischen Arbeitshefte fast in allen Wilnaer Volksschulen mustergültig geführt.

Alle 4 bis 5 Wochen werden die Übungen der Klassen für eine Woche unterbrochen zum Zwecke der Wiederholung, Vervollständigung und Verallgemeinerung der angeeigneten Kenntnisse. Ich selbst besuche täglich einige Unterrichtsstunden. Eine Zeitlang befrage ich die Schüler, sehe die Notizhefte durch und höre inzwischen dem Unterrichte des Lehrers zu. Physik und Chemie werden im Winter betrieben, Botanik und Zoologie im Sommer.

Das polnische Schulgesetz, sowie die ministeriellen Lehrpläne schreiben für jede Volksschule eine naturwissenschaftliche Arbeitsstätte vor. Bedenkt man aber, daß die Wilnaer Volksschulen nach dem Weltkrieg plötzlich aus dem Nichts entstanden sind, und berechnet man den Raumbedarf und die Kosten der Ausstattung aller Einzelschulen mit den notwendigen Hilfsmitteln, so ergeben sich Zahlen, deren Größenordnung allein schon die Möglichkeit der Erfüllung der Vorschriften in absehbarer Zeit ausschloß. Die Gründung der zentralen Arbeitsstätte in Wilna hat durch Herabsetzung der Ansprüche an Räumen und Geldmitteln auf ein in den damaligen Zeitverhältnissen eben noch tragbares Maß den naturwissenschaftlichen Unterricht nicht nur gefördert, sondern geradezu erst lebensfähig gemacht.

Die Erleichterung und Verringerung des naturwissenschaftlichen Schulbetriebes kann aber nur als vorübergehende Aufgabe der zentralen Arbeitsstätte gewertet werden, die nach dem Grade des Eigenlebens der Einzelschulen allmählich zurücktreten muß, wenn jede Schule zu eigener Betätigung herangereift ist. Es bleibt aber die Lehrerfortbildung; sie muß dauernd gepflegt und in die geeignete Form gebracht werden, die sich dem Unterrichtsbetrieb und den Sammlungen anpaßt, wenn die Schulen selbständig geworden

sind. Dafür muß die zentrale Arbeitsstätte eine dauernde Einrichtung sein.

Um die weitere Entwicklung der Arbeitsstätte zu fördern, müßten einige erfahrene und tüchtige Lehrkräfte angestellt werden, damit die jungen Lehrer verschiedene Lehrverfahren kennen lernen könnten. Ferner sollten in der Arbeitsstätte sowohl neue Lehrmethoden als auch neue physikalische Apparate und andere Lehrmittel und Lehrpläne geprüft werden, bevor sie ins öffentliche Schulleben gelangen. Im Fall einer solchen Tätigkeitserweiterung müßten die Lehramtskandidaten in Physik mit Ansprüchen auf Lehrstellen in Gymnasien und Volksschulen einen mehrmonatigen praktischen Kursus in der Arbeitsstätte durchmachen.

Bei Inangriffnahme der Organisation der Arbeitsstätte im Sommer 1921 mußte zuerst die für den physikalischen Unterricht auf der Unterstufe anzuwendende Methode erwogen werden. Ich wählte das Verfahren der Laboratoriumsstunden, d. h. der Stoff sollte durch eigene Übungen der Schüler erarbeitet werden, und damit waren zu verbinden Aussprachen des Lehrers mit den Schülern, Auswertung der durchgeführten Schülerversuche, Mitteilungen und Vorweisungen des Lehrers und schließlich Zeichnungen und Notizen der Kinder. Die vorwiegend, aber nicht ausschließlich qualitativen Schülerübungen wurden nicht abgesondert, sondern sie waren durch die Vorweisungen des Lehrers zu ergänzen.

Unser Bestreben geht dahin, daß die Schüler jeden wichtigeren physikalischen und chemischen Vorgang des Unterrichtsplanes am eigenen Übungstisch selbst untersuchen, und nicht etwa nur aus der Ferne beobachten, was der Lehrer auf dem Experimentiertische zeigt. Die Erfahrung hat gelehrt, daß es Kindern im Alter von 10 bis 14 Jahren außerordentliche Schwierigkeiten bereitet, die Vorgänge aufmerksam aus der Ferne zu beobachten. Im allgemeinen achten sie mehr auf die Geräte, während sie den Vorgang selbst, auf den es ankommt, nicht zu verfolgen vermögen. Deshalb erschien es ratsam, den allgemeinen Experimentiertisch für die Unterrichtsstunden in eine Reihe Schülerübungstische aufzulösen. Dadurch wird die Überfüllung der Klassen insofern gemildert<sup>1</sup>, als die Kinder in kleinere Gruppen aufgeteilt werden, die an den einzelnen Tischen mit übereinstimmenden Geräten arbeiten. Das Verfahren der Laboratoriumsstunden erleichtert dem Lehrer die Arbeit, da die Kinder in diesem Alter (10 bis 14 Jahre), sowohl die Jungen als auch die Mädchen, mit großem Interesse messen, wägen und die Übungen aus dem Gebiete der Elektrizität, der Optik, der Wärmelehre u. a. ausführen (s. die Figur). Da diese Arbeitsweise eine durchschlagende methodische und wissenschaftliche Vorbereitung

<sup>1</sup> In den letzten Jahren ist die Zahl der schulpflichtigen Kinder in allen Kulturländern gestiegen. Die Zahl der Lehrer und Schulräume (Klassen) ist ebenfalls gestiegen, aber aus finanziellen Gründen nicht entsprechend der Kinderzahl, und dadurch ist allenthalben eine Überfüllung der Klassen eingetreten.

der Lehrer erfordert, haben sich vor 17 Jahren bei der Durchführung der Methode in Wilna, aus Mangel an ausgebildeten Lehrkräften nach dem Weltkriege, Schwierigkeiten ergeben.

Eine andere Schwierigkeit bei der Durchführung des Verfahrens der Laboratoriumsstunden bestand im vollkommenen Fehlen jeglicher physikalischer Apparate und anderer Hilfsmittel bei der Gründung der Arbeitsstätte. Dabei ist zu bemerken, daß nicht nur die finanziellen Möglichkeiten der Arbeitsstätte immer stark begrenzt waren, sondern daß es damals in Polen fast keine Lehrmittelfirmen gab, die sich mit der Herstellung von Schülerübungsapparaten für die Unterstufe befaßten. Bei

schwierig, da ich die Schüler nicht kannte und das Unterrichtsthema dauernd wechselte. Die Naturwissenschaftliche Arbeitsstätte wurde damals außer von den Volksschulen noch von den unteren Klassen beinahe aller Wilnaer Gymnasien, dem Lehrerseminar und anderen staatlichen und privaten höheren Schulen benutzt. Die Zahl der höheren Schulen war in den ersten Jahren sogar größer als die der Volksschulen. In meinen Stunden ist eine große Zahl der Wilnaer Schullehrer mit der Methode der Laboratoriumsstunden bekannt geworden.

Gleichzeitig gab mir der zweijährige Umgang mit den Schülern verschiedener Schulen, sowohl



Die 6. Klasse der Wilnaer Volksschule Nr. 26 im Jahre 1931/32 bei den Übungen: Verdampfen, Sieden und Verdampfungswärme.

der Bearbeitung der einzelnen Lektionen ist mir der Mangel an didaktischen physikalischen Werken und Lehrbüchern, die für Laboratoriumsstunden bearbeitet waren, in unserer Fachliteratur deutlich zum Bewußtsein gekommen.

Um den Stand des Physikunterrichtes in den Volksschulen und auf der Unterstufe der Gymnasien in Wilna zu heben, habe ich im Laufe der letzten  $17\frac{1}{2}$  Jahre die folgenden drei Wege beschritten: 1. Die Lehrkräfte wurden anfänglich durch Schaulektionen fortgebildet und später durch Lehrerkonferenzen und Visitationen ergänzend geschult. 2. Es wurden einfache physikalische Apparate konstruiert. 3. Es wurden laufend eingehende methodische Abhandlungen aus allen Gebieten der Physik für die Unterstufe nach der Methode der Laboratoriumsstunden herausgegeben. Ich bespreche jetzt die Fortbildung der Physiklehrer in der Wilnaer Arbeitsstätte.

In den ersten 2 Jahren gab ich selbst die Physikstunden in jeder Schule, die die Naturwissenschaftliche Arbeitsstätte benutzte; es war eine Art Probelektionen nach der Laboratoriumsmethode. Die Lehrer besprachen mit mir das Thema und führten an den verabredeten Tagen ihre Klassen in die Anstalt; ich gab in Anwesenheit des Lehrers die Stunde. Der Unterricht war außerordentlich

der Volksschulen als auch der Gymnasien, die Möglichkeit, die Nachkriegsjugend im Alter von 10 bis 14 Jahren genau kennen zu lernen. Die Bearbeitung der Lektionen und die Vorbereitung der Schülerübungen und Demonstrationen, sowie die Konstruktion der benutzten Apparate, ermöglichten mir auf Grund meiner Erfahrungen die Bearbeitung einer eigenen Methodik der Physik für die Unterstufe. Das war meine erste didaktische Arbeit; sie nannte sich: „Schülerübungen aus der Physik, Chemie und Mineralogie für die zweite und dritte Klasse des unteren Gymnasiums.“ Das Buch war für die Lehrerschaft bestimmt und wurde in Wilna im Jahre 1924 in einer Auflage von 3000 Exemplaren gedruckt; nach einigen Jahren war es bereits vergriffen. Es enthielt neben einer Einführung in die Physik die Wärmelehre, die Anfänge der Optik, den Magnetismus und die Elektrizität, sowie einen chemischen und mineralogischen Teil. Jede Unterrichtsstunde war genau vorgeschrieben. Eine Beschreibung der benötigten Schülerübungs- und Demonstrationsapparate und eine Beschreibung der Einrichtung eines physikalischen Arbeitsraumes sowie ein Literaturverzeichnis für den Lehrer und verschiedene methodische Fingerzeige ergänzten das kleine Werk. Das Buch wurde vom Kultusministerium zum Gebrauch für

Lehrer empfohlen und trug wahrscheinlich dazu bei, die Lehrer aus den anderen Teilgebieten Polens mit der Methode der Laboratoriumsstunden bekannt zu machen.

Im dritten Jahre begannen die Lehrer selbst, jeder mit seiner Schule, die Übungen in der Arbeitsstätte abzuhalten. Um ihnen die Arbeit zu erleichtern, habe ich mit Beginn des Schuljahres 1923/24 Lehrerkonferenzen ins Leben gerufen, die bis heute andauern und sich auf den physikalischen, chemischen und mineralogischen Unterricht der Unterstufe erstrecken.

Systematisch, zweimal wöchentlich, halte ich diese Konferenzen in der Naturwissenschaftlichen Arbeitsstätte zwecks Vorbereitung der Volksschullehrer für die Physikstunden ab. Jeden Montag findet eine Konferenz statt für die fortgeschrittenen Lehrer, die seit mehreren Jahren in der 5., 6. und 7. Volksschulklasse Physik erteilen, und jeden Donnerstag eine solche für Anfänger, die das erste oder zweite Jahr in der 5. und 6. Klasse unterrichten. In der 7. Klasse erlaube ich Anfängern nicht zu unterrichten.

Um unseren überarbeiteten und nicht immer für den physikalischen Unterricht ausreichend vorbereiteten Lehrern einen wesentlichen Dienst zu erweisen, habe ich allwöchentlich im Laufe der verflossenen 16 Jahre den nötigen wissenschaftlichen Stoff jeweilig für drei oder vier Lektionen geordnet<sup>1</sup>, unter Benutzung der in- und ausländischen Fachliteratur und in Übereinstimmung mit den ministeriellen Lehrplänen. Gleichzeitig habe ich das für diese Lektionen notwendige Schülerübungsgerät und die Demonstrationsapparate entworfen. Diese Arbeit bezieht sich auf die 5., 6. und 7. Volksschulklasse.

Die zu den Konferenzen jeweilig erscheinenden 40 bis 50 Lehrer finden im Übungssaal auf jedem der sechs bis sieben Tische zwei Apparatekomplett und Schaustücke vor, die auf allen Tischen gleich sind. Die Lehrer führen eigenhändig alle auf die nächste Woche entfallenden Schülerübungen und Demonstrationsversuche aus, wozu ich ausführliche Erklärungen über den Gebrauch der Apparate, die Durchführung der Übungen und die bei manchen Übungen drohenden Gefahren und die zu ergreifenden Gegenmaßnahmen erteile. Ich gebe methodische Fingerzeige und bespreche den ganzen wissenschaftlichen Stoff für jede der 3 bzw. 4 Unterrichtsstunden. Auf diese Weise bereiten sich die Lehrer auf ihre Stunden für die nächste Woche vor.

In den Konferenzen gehe ich mit den Lehrern die Stunden so durch, als ob ich Schüler vor mir hätte. Außer der Durchführung der Übungen schalte ich einen bestimmten Gesprächsstoff ein, stelle der Reihe nach an alle Lehrer Fragen, dann erzähle ich einiges im Zusammenhange mit dem Unterrichtsthema, das entweder für die Schüler oder auch nur für die Lehrer bestimmt ist; wir schreiben, zeichnen usw. Aber ich unterrichte

<sup>1</sup> Für die 5. und 6. Volksschulklasse sieht der Lehrplan in Physik, Chemie und Mineralogie 3 Wochenstunden, für die 7. 4 Wochenstunden vor.

nicht nur während der Konferenzen, sondern ich lerne dabei auch selbst vieles hinzu. In den Konferenzen fühle ich genau heraus, ob mich meine Zuhörer verstehen oder nicht, d. h. ob ich gut oder schlecht unterrichte.

Ich bemerke auch, ob ich das Interesse meiner Zuhörer in der Stunde erwecke oder nicht. Es ist nicht so leicht, die Lehrer zu interessieren, wenn man bedenkt, daß die Teilnehmer bis 2 Uhr nachmittags oder noch länger in der Schule beschäftigt sind und nach einer kurzen Mittagsrast in die pünktlich um 5 Uhr beginnende Konferenz eilen. Durch die Unterhaltung mit den Lehrern wird mein Eindruck von der Stunde vervollständigt, und ich sehe deutlich ihre Mängel und die Notwendigkeit etwaiger Ergänzungen und Änderungen; ich erkenne auch die bei der Aufstellung des Stundenstoffes gemachten Fehler. Das ist keineswegs einfach, da die Lehrpläne überladen sind und die zur Verfügung stehende Zeit kurz bemessen ist.

Bei der Beobachtung der von den Lehrern ausgeführten Experimente sehe ich deutlich, ob die Versuche leicht und die Apparatur zweckmäßig und gut gebaut ist. Die gleichen Aufgaben löse ich bei den systematischen Besuchen der einzelnen Lehrer, wo ich die Kenntnisse der Kinder und ihre allgemeine intellektuelle Entwicklung nachprüfe. Meine Plaudereien mit den Kindern verfolgen u. a. auch den Zweck, die Lehrer mit den Ergebnissen ihrer Arbeit bekannt zu machen und ihnen zu zeigen, welche Teile des durchgenommenen Stoffes hätten anders bearbeitet werden müssen, und wie die einzelnen physikalischen Vorgänge zu erfassen und miteinander zu verbinden sind. Auch sind die Visitationen für mich selbst von großer Bedeutung, da ich mir eine feste Grundlage aneigne, von der aus ich bemessen kann, welche Stoffgebiete sich für die Kinder nicht eignen, welche Übungen zu schwer sind und welche Apparate dem Entwicklungsalter der Kinder nicht entsprechen. So nehme ich alljährlich Änderungen und Verbesserungen für den naturwissenschaftlichen Unterricht der unbelebten Naturwissenschaften in den Wilnaer Schulen vor. Seit einer Reihe von Jahren mache ich mir Notizen über die Lehrerkonferenzen und über alle meine Beobachtungen.

Diese Arbeit erstreckt sich bereits 16 Jahre ununterbrochen auf eine große Zahl Schulen und Schüler, die die Arbeitsstätte benutzen; sie umfaßt bis 1000 Lehrer und einige Zehntausend Kinder verschiedenen Alters, mit ungleichem Temperament, verschiedener Nationalität und aus verschiedenen sozialen Schichten, Mädchen sowie Jungen. Daher muß zugegeben werden, daß die angeführte didaktische Arbeitsleistung wohl zur Hebung des physikalischen Unterrichtsniveaus beitragen kann; sie hat große praktische Bedeutung und ist nicht auf theoretischen Erwägungen und auf der vorhandenen Fachliteratur aufgebaut. Ich bezweifle, ob ein Didaktiker, auch außerhalb Polens, über so günstige Bedingungen für methodische Untersuchungen verfügt. Gewöhnlich fußen neue Unterrichtsmethoden auf ungenügendem Schülermaterial (einige Schulen mit wenigen

Kindern, meistens aus begüterten sozialen Schichten). Es kommt daher vor, daß die auf ungenügenden Grundlagen aufgebauten neuen Strömungen bei der Beziehung auf eine größere Anzahl Schulen oft versagen.

Allerdings waren meine didaktischen Untersuchungen durch die ministeriellen Lehrpläne für die Volksschule und die unteren Klassen des Gymnasiums begrenzt, aber die genannten Lehrpläne haben sich in den letzten 16 Jahren wiederholt geändert, und ich wurde im allgemeinen von den Schulbehörden nicht allzu sehr durch Vorschriften eingeengt. Daher war es mir möglich, die Lektionen nach der erwähnten Laboratoriumsmethode auf festen Grundlagen aufzubauen und darüber eine Druckschrift erscheinen zu lassen. Für die Unterstufe veröffentlichte ich: „Elementare Schülerübungen“ unter Angabe des Gebietes in der polnischen Zeitschrift: „Die Physik und Chemie in der Schule.“ Die Mechanik erschien in den Jahren 1927 und 1928, die Optik 1928 und der Magnetismus, die Elektrostatik und der elektrische Strom 1932—1934.

Außerdem habe ich in der genannten Zeitschrift einige Ergänzungen zur Methodik folgender Gebiete veröffentlicht: Farbenuntersuchungen, Wärmestrahlung, Flüssigkeiten und Gase, Schwungmaschine, elektrische Induktionsmaschine, Archimedisches Gesetz in Gasen. Die beschriebenen Übungen und Apparate eignen sich auch bei Einführung gewisser Ergänzungen für die oberen Klassen der höheren Schulen.

Die Methodik der übrigen Gebiete habe ich zusammen mit Herrn ST. ZIEMECKI, Professor der Physik an der Landwirtschaftlichen Hochschule in Warschau, in den Jahren 1933 und 1934 bearbeitet und in Wilna unter dem Titel „Unbelebte Naturwissenschaften — Methodische Fingerzeige für den Lehrer“ (Teil I für die 5. Volksschulklasse und Teil II für die 6. Volksschulklasse) herausgegeben. Der ungekürzte Lehrstoff, der sich in den ersten 12 Jahren des Bestehens der Wilnaer Arbeitsstätte hauptsächlich für Schülerübungen und physikalisches Schülerübungsgerät angehäuft hatte, legte den Grund zu den Lehrbüchern „Unbelebte Natur“ (Physik, Chemie und Mineralogie) für die 5., 6. und 7. Klasse der Volksschulen, die gemeinsam mit Herrn Prof. ST. ZIEMECKI in den Jahren 1933—1935 zusammengestellt wurden. Diese Lehrbücher wurden vom Kultusministerium genehmigt und fanden eine weite Verbreitung in den Volksschulen Polens.

Meine Konferenzen halte ich schon 15 Jahre lang ab, aber das bedeutet nicht, daß wir immer die gleichen Themen behandeln. Erstens habe ich während der ersten 6 bis 7 Jahre allmählich die einzelnen Gebiete, die Wärmelehre, die Optik, die Elektrizität u. a. als Laboratoriumslektionen behandelt. Nachher vergrößerte ich alljährlich die Zahl der Schülerübungen und verringerte dabei die Vorweisungen durch den Lehrer. In den folgenden Jahren war ich gezwungen, die Schülerübungen abzuändern, da sich die Lehrpläne geändert hatten, was nebenbei gesagt noch anhält. Außerdem ändern sich langsam, aber stetig die Lehrer-

kollegien; so begannen z. B. vor 5 Jahren in Wilna einige Lehrer Physik in der 5. Volksschulklasse zu erteilen, die vorher in Physik nicht unterrichtet hatten. Das kam daher, daß der Anfang des Physikunterrichtes in die 5. Volksschulklasse verlegt wurde, während bis dahin Physik ausschließlich in der 6. und 7. Volksschulklasse getrieben wurde. Zu meinen Konferenzen haben alle Lehrer ohne Unterschied Zutritt, sowohl aus den Gymnasien wie auch aus den Volksschulen, einheimische sowohl als auswärtige; ich erlaube sogar Studenten und Lehrern anderer Fächer zu erscheinen; es werden dabei keinerlei Formalitäten verlangt.

Die Lehrerbildung erstreckte sich nicht ausschließlich auf die Wilnaer Schulen. Mit der Zeit begannen Lehrer aus der Provinz die Wilnaer Arbeitsstätte zu besuchen und später aus anderen Teilen Polens, zuerst aus eigenem Antrieb und dann auf Anordnung der Schulbehörde, auch für längere Zeit (3 bis 4 Wochen). Hauptsächlich wurde die Arbeitsstätte von Leitern der zukünftigen, in Aussicht genommenen ähnlichen Arbeitsstätten besucht. Außerdem wurde sie oft von Vertretern der Schulbehörde besichtigt. Nach dem Muster der Wilnaer Arbeitsstätte sind ähnliche Institute in anderen Teilen Polens ins Leben gerufen worden.

Ich möchte bei dieser Gelegenheit mit einigen Worten die Befürchtung widerlegen, daß die von mir abgehaltenen Konferenzen die Individualität des Lehrers abtöten oder zumindest sich nicht voll entfalten lassen könnten, und daß weiter die Gefahr einer Schematisierung des physikalischen Unterrichts bestehe.

Die erste Gefahr ist, wie die Praxis zeigt, nicht vorhanden, da es unter den Lehrern, ähnlich wie in anderen Berufen, nur einige wenige Persönlichkeiten gibt, die tatsächlich fördernd schaffen. Die Gesamtheit der überarbeiteten Lehrer kann auf einen gegebenen Befehl hin keine fördernde Initiative entwickeln, auch wenn der gute Wille dazu vorhanden ist. Die Allgemeinheit sucht einen festen Halt, der, wenn er ihr gegeben wird, die Möglichkeit zu einer nutzbringenden Arbeit verschafft. Aber auch der fähigste Lehrer kann nur dann zu einer tatsächlich selbständigen Arbeit angeregt werden, wenn ihm von Anfang an bestimmte Vorbedingungen in Form von genau formulierten und seinen jungen Kräften entsprechend gewählten Themen gegeben werden. Jedem fähigen Lehrer werden in der Wilnaer Arbeitsstätte auf Verlangen alle Mittel zur selbständigen Arbeit bereitgestellt; es wird ihm an nichts mangeln, und niemand wird ihn in seiner Arbeit stören. Meine Hauptaufgabe sehe ich darin, daß ich den Durchschnittslehrern tatsächlich helfe und damit auch der Allgemeinheit der Lehrer. Der Initiative des Lehrers bleibt immer noch der schwerste Teil der Arbeit überlassen, der in der Art des Umganges mit den Kindern, d. h. in der Übermittlung des Wissens, wurzelt.

Die zweite Gefahr — die Gefahr der Schablone während des Unterrichtes — ist ebenfalls bedeutungslos. In den Konferenzen lege ich den Lehrern den ganzen Lehrstoff sowie das Schülerübungsgerät

vor; ich zeige, wie man damit umgeht und belehre meine jungen Kollegen, wie die Schülerübungen auszuführen sind, d. h. ich gebe nur Richtlinien, die jeder nach seiner Eigenart weiter ausgestalten soll. Mein Wissen und meine fast 40jährige Erfahrung steht meinen jungen Kollegen zur Verfügung. Dabei denke ich an meine jungen Jahre zurück, als es noch keine didaktischen Methoden gab und mir niemand Fingerzeige erteilte. Ich mußte selbst neue Wege suchen und an den Schülern ausprobieren, was mit einem großen Kräfteverbrauch verbunden war. Nebenbei gesagt, ist das Herumexperimentieren junger Lehrer an den Schülern überhaupt unerwünscht. Ohne Rücksicht auf die großen Fortschritte in der Lehre vom Kinde, in der experimentellen Psychologie, in der Methodik und in den anderen verwandten Wissenszweigen bleibt das Unterrichten auch weiterhin eine Kunst, die große Fähigkeiten und große Erfahrung vom Lehrer erfordert. Infolgedessen müßten an der Lehrerfortbildung auch erfahrene und befähigte Pädagogen Anteil haben, die auf diese Weise ihr Wissen, ihre Erfahrung und ihre Unterrichtsmethoden auf die jüngere Generation übertragen könnten.

Die Fortbildung der Lehrer allein führt nicht zur Hebung der Höhenlage im physikalischen Unterricht, wenn der Lehrer nicht gleichzeitig die entsprechenden Bedingungen zur richtigen Anwendung des erlangten Wissens erhält. Ich helfe folgendermaßen: Wenn auch der Besuch der Unterrichtsstätte durch die Schulklassen auf die Dauer etwas beschwerlich wird, so werden den Lehrern dafür andere Bequemlichkeiten dadurch geboten, daß ihnen die Sorge um die Instandhaltung und das Aufstellen der Apparate abgenommen wird. Sie finden in den Übungssälen alles für die Übungen vorbereitet vor und können ihre ganze Aufmerksamkeit und Kraft der Stunde selbst zuwenden. Nach Beendigung der Stunde können die Lehrer mit ihren Klassen die Säle sofort verlassen, ohne sich um die Reinigung und Lagerung der Apparate kümmern zu müssen. Dies alles besorgen die angestellten Helferinnen, die nach einigen Jahren der Praxis mit den Übungen genügend vertraut sind.

Ich brauche wohl nicht besonders zu beweisen, daß darin eine wesentliche Hilfe für den Lehrer liegt. Jeder Lehrer weiß, wieviel Zeit die Vorbereitung der Apparatur, besonders bei Schülerübungen, in Anspruch nimmt. Die dem Lehrer zur Verfügung stehende Zeit ist bekanntlich knapp bemessen, besonders bei den Volksschullehrern. Ich zähle nur auf: 30 Unterrichtsstunden wöchentlich, Ordinariat, Aufsichten, zahlreiche Konferenzen, Pflicht zur völkischen Arbeit in der Schule und außerhalb, Beaufsichtigung der Schulheime am Nachmittag und abends, Arbeit in den Fliegergeschutzgruppen, im Roten Kreuz, in gesellschaftlichen und wissenschaftlichen Zirkeln usw., die Verbesserung der Hefte und endlich die Vorbereitung für die Stunden; das alles erfordert Zeit und nochmals Zeit.

Bei der Aufstellung der physikalischen Lektionen für die Volksschulen und die Unterstufe des Gymnasiums stieß ich vor 16 Jahren auf große

Schwierigkeiten infolge des Nichtvorhandenseins von Lehrmittelfirmen, die sich mit der Herstellung von Schülerübungsapparaten befaßten. An Lehrerdemonstrationsapparaten waren in den Fabriken und Handelsfirmen damals nur entweder ausländische Fabrikate oder nach ausländischem Muster hergestellte Fabrikate vorhanden. Die Apparate ausländischer Pädagogen für die Unterstufe entsprachen nicht den Anforderungen unseres Schulwesens mit Rücksicht auf die unterschiedlichen Lehrpläne und die Nichtanpassung an unsere Lebensbedingungen, wie z. B. Mangel an ausgebildeten Glasbläsern und Mechanikern, Fehlen von Gas, Elektrizität, Wasserleitung und Kanalisation in einigen Gegenden Polens, besonders auf dem Lande und in den Kleinstädten — diese Einrichtungen sind nämlich bei der Benutzung vieler ausländischer Apparate als vorhanden vorausgesetzt —, endlich besitzen wir andere Rohstoffe als das Ausland, z. B. billiges Holz, aus dem viele gute Apparate hergestellt werden können.

Aus den angeführten Gründen habe ich meine eigenen Wege verfolgt und bin sofort an die Herstellung von physikalischen und chemischen, der geistigen Entwicklung der Kinder angepaßten Apparaten herangegangen. Den Apparaten habe ich absichtlich die allereinfachste Form gegeben, damit sie jeder Lehrer bei Bedarf selber in der Schule in den Handfertigkeitstunden von den Kindern herstellen oder auch von einem einfachen Schlosser und Tischler anfertigen lassen kann. Zur Herstellung der Apparate wählte ich Stoffe, die bei uns in Polen in den kleinsten Städten zu haben sind (Holz, Blech, Draht, Fensterglas u. ä.). Beim Bau dieser einfachen Apparate zog ich neben den finanziellen Gründen noch in Erwägung, daß das wesentlich Physikalische im Experiment, unter Benutzung einfacher Apparate, viel besser in den Vordergrund tritt, und daß die Aufmerksamkeit der Kinder nicht durch allерhand entbehrliche Nebensachen abgelenkt wird, sondern sich auf den physikalischen Vorgang selbst konzentriert. Ein meine Arbeit in dieser Hinsicht fördernder Umstand war das stetige Fehlen finanzieller Mittel, besonders in den ersten Jahren meiner Tätigkeit an der Arbeitsstätte. Dieser Umstand bewahrte mich vor dem Kauf fertiger physikalischer Apparate.

Ich war bestrebt, neben den einfachsten Apparaten die größtmögliche Zahl solcher Gegenstände in den physikalischen und chemischen Unterricht einzuflechten, die die Schüler von Haus aus kennen, wie z. B. Mostrichgläser, Flaschen, Gläser, Untersätze, Tassen, Schüsseln usw., wobei chemisches Glas nach Möglichkeit vermieden wurde. Eine Ausnahme machten Proberöhren, Glasröhren und Gummischläuche. Ich gehe von der Voraussetzung aus, daß das Kind mit dem Gedanken vertraut werden muß, daß sich physikalische und chemische Vorgänge immer und überall abspielen — zu Hause, auf dem Hofe, im Walde, auf dem Felde — nicht nur in der Klasse oder im Arbeitsraum und nicht nur an den Apparaten, die es dort sieht. Bei der Arbeit mit vertrauten Gegenständen aus dem alltäglichen Leben verliert der

Schüler keine Zeit durch ihr Kennenlernen und betrachtet die sich abspielenden Vorgänge mit größerer Aufmerksamkeit.

So benutzen wir z. B. zum Auffangen der Gase an Stelle von Glaszylindern mit geschliffenen Rändern und geschliffenem Glasdeckel gewöhnliche Flaschen und Einmachegläser, die mit einem feuchten Pappdeckel bedeckt, bzw. mit einem gewöhnlichen Korken verschlossen werden; meist sind es  $\frac{1}{2}$ -l-Flaschen, die wir in einem Eimer mit Wasser, mit dem Boden nach oben, aufbewahren. Wir benutzen also die Flaschen als Gasometer und als Behälter zur Untersuchung der Eigenschaften der Gase, wie z. B. zur Verbrennung von Eisen oder Schwefel in Sauerstoff usw. Bei den Übungen in der Wärmelehre erhält jede Schülergruppe in diesen Flaschen warmes und kaltes Wasser. Kleine Fläschchen von 120 bis 130 cm<sup>3</sup> Inhalt werden zu Kalkwasser, verdünnten Säuren, Kupfersulfatlösungen, Kochsalzlösungen, Kaliumpermanganatlösungen usw. benutzt. Mit den Fläschchen wird auch durch Reibung mit Papier positive Elektrizität erzeugt. Wir benutzen sie auch als Pyknometer zur Bestimmung des spezifischen Gewichts von Flüssigkeiten und zur Volumenbestimmung fester Körper. Gewöhnliche Teegläser werden als Kalorimeter, für den elektrischen Strom sowie zur Diffusion und Osmose u. ä. benutzt. Fußballblasen werden zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes von Luft und zur Anwendung des Archimedischen Gesetzes verwendet; Taschenlampenglühbirnen benutzen wir als Stromanzeiger sowie für die Farbenzusammensetzung u. a. Doch unsere Apparate sind keine Spielzeuge, die für kurze Zeit aus Materialien unter der Hand angefertigt werden, sondern es sind einfache, aber dauerhaft konstruierte Geräte. Ich bin bemüht, den Apparaten ein schönes Aussehen zu geben, um den Schönheitsinn der Kinder zu fördern, denn die Kinder achten mehr auf schöne Apparate als auf häßliche.

Wir haben in unserer Arbeitsstätte für die Planung und Konstruktion neuer Apparate sehr günstige Bedingungen, denn wir sind imstande, unsere Apparate fortwährend bei den Schülerübungen in Hunderten von Schulklassen, die die Arbeitsstätte besuchen, zu begutachten. Wir können also tatsächlich feststellen, ob die einzelnen Apparate für die Kinder verständlich sind, ob es sich mit den Apparaten leicht arbeitet, ob sie aus gesundheitlichen Gründen unbedenklich sind, wie groß die Genauigkeit ist, mit der sie arbeiten, und ob sie der Experimentierkunst der jungen Physiker die nötige Festigkeit entgegenstellen.

Die fortwährend andauernden Untersuchungen geben die Möglichkeit, die Apparate systematisch zu verbessern und so den Unterricht auf alle Gebiete der Physik auf der Unterstufe, nach der Methode der Laboratoriumsstunden, also nach eigenhändigen Schülerübungen, zu erstrecken. Um den Physiklehrern eine ähnliche Arbeit zu erleichtern, habe ich alle in der Wilnaer Arbeitsstätte hergestellten Apparate beschrieben und mit genauen Abbildungen im Druck erscheinen lassen, mit genauer Angabe der Maße und des Materials, aus dem sie hergestellt werden können.

Die Konstruktion der Apparate durch die Lehrer hat außer den finanziellen Gründen noch eine große, rein didaktische Bedeutung, da die Lehrer dann beim physikalischen Unterricht aktiver mitarbeiten und dadurch Erfahrungen und Kenntnisse sammeln. Die mit eigener Hand hergestellten Apparate werden selbstverständlich benutzt und nicht nur hinter verglasten Türen zur Schau gestellt; bei Beschädigungen weiß sich der Lehrer bei der Reparatur zu helfen. Wenn der Lehrer Apparate konstruiert, die von anderen erfunden worden sind, interessiert er sich für die Arbeit und beginnt die Apparate allmählich nach eigenen Erfahrungen zu verbessern. Neben den Lehrern beginnen dann auch in diesem Sinne manche Kinder zu arbeiten und gelangen so auf ein Gebiet zur Entfaltung ihrer Erfindergabe. Damit bildet sich der Lehrer erfahrene und hingebende Helfer heran, die ihm bei der Vorbereitung der Übungen große Dienste erweisen können.

Weiteren Kreisen der polnischen Lehrerschaft wurde die Möglichkeit gegeben, mit den Apparaten der Wilnaer Arbeitsstätte, außer in den Publikationen, noch auf einigen Ausstellungen bekannt zu werden. Zum Zwecke der Versorgung der Zentrale und aller unserer Filialen (Bezirksarbeitsstätten) mit den nötigen physikalischen Apparaten habe ich schon vor 13 Jahren in der Wilnaer Arbeitsstätte eine kleine Schlosser- und Tischlerwerkstatt, in der ein Mechaniker, ein Schlosser und ein Tischler beschäftigt werden, eingerichtet.

Als Übungssäle (Vortragssäle) dienen bei uns gewöhnlich große Zimmer mit einfachen Möbeln (für die Schülerübungen gewöhnliche Tische ohne Schubladen, Hocker und Schemel ohne Lehne, einige Wandtafeln und ein Tisch mit Schublade für den Lehrer). Wir vermeiden alle kostspieligen Einrichtungen an den Schülertischen, wie z. B. Wasserzuleitung, Kanalisation, elektrischen Strom oder gar Gas. Ohne das alles kommt man auf der Unterstufe ohne weiteres aus; die genannten Einrichtungen verteuern die Ausstattung jeder physikalischen Arbeitsstätte sehr bedeutend und erschweren dadurch ihre Entstehungsmöglichkeit.

In der Wilnaer Arbeitsstätte werden auf jedem Tisch zwei  $\frac{1}{4}$ -l-Flaschen mit Wasser bereitgestellt, das ist unsere Wasserleitung. Zwei mittelgroße Tonschüsseln auf jedem Tisch stellen die Kanalisation dar; in die Schüsseln werden während der zweistündigen Lektionen die verbrauchten Flüssigkeiten, Filtrierpapier, Papierabfälle u. ä. hineingeworfen. Die erwähnten Flaschen mit Wasser und die Schüsseln erfüllen, wie die Praxis gezeigt hat, sowohl bei den Schülerübungen als auch in den Lehrerkonferenzen vollkommen ihren Zweck.

Als Wärmequellen benutzen wir gewöhnlich Kerzen oder kleine Spirituslampen. Die Kerzen dienen auch als Lichtquellen. Als Stromquellen erfüllen gewöhnliche Taschenlampenbatterien vollkommen ihren Zweck.

Bei der Arbeit in einem solchen Zimmer mit gewöhnlichen Möbeln, ohne jegliche Sonder-einrichtung, überzeugen sich die Schüler unter

Zuhilfenahme von einfachem Rüstzeug, daß sie überall und stets von physikalischen und chemischen Vorgängen umgeben sind. So festigt sich zuerst bei der Schuljugend und dann auch bei

den Erwachsenen die Überzeugung, daß in unserem Leben und in der uns umgebenden Natur physikalische und chemische Vorgänge in steter Verbindung miteinander stattfinden.

### Neu erschienene Bücher und Schriften.

**Vektoranalysis.** Von Dr. SIEGFRIED VALENTINER. Fünfte, erneut durchgesehene Auflage. 136 Seiten mit 13 Figuren. Berlin: Walter de Gruyter & Co. 1938. Preis RM 1,62.

Das bekannte Büchlein erscheint in einer neuen Auflage. Es enthält im ersten Teile die Rechnungsregeln der Vektoranalysis in knapper, auf die Anwendung zugeschnittener Form. Im zweiten Teile werden Anwendungen aus den physikalischen Gebieten Potentialtheorie, Hydrodynamik und Elektrizität gebracht. Der dritte Teil enthält einen Abriß über die Vektorfunktionen, Dyaden und Tensoren. *O. Brandt.*

**Lehr- und Aufgabenbuch der Algebra** für technische Lehranstalten, Gewerbe- und Berufsschulen. Von G. WIEGNER. 14. Aufl., 1. Heft, 80 Seiten. Leipzig: Dürrsche Buchhandlung. Preis RM. 1,25; Lösungen dazu: RM 0,68.

Das vorliegende Heft enthält die vier Grundrechenarten mit Benutzung von Buchstabenzahlen und betonter Verwendung von Bestimmungsgleichungen. Die Aufgaben sind sehr zahlreich und in solche für den Unterricht selbst und solche für die häusliche Arbeit des Schülers eingeteilt, so daß der Bedarf reichlich gedeckt ist. Sie sind auch genügend einfach und die vielseitigen Anwendungen im Gesichtskreise des Schülers gehalten, so daß sie wirklich nutzbar sind und nicht wegen zu großen Aufwands an Zeit und Mühe nur als Paradestücke dastehen. Ihre Eignung wird dadurch bezeugt, daß das vorliegende Heft in 14. Auflage erscheint. Die Ableitung der einzutübenden Rechenregeln geht den einzelnen Übungsabschnitten voraus. Diese Regeln werden, wie auf der Unterstufe üblich, aus einfachen und einleuchtenden Beispielen mit bestimmten Zahlen gewonnen. Doch sollten an den Stellen, wo es auf diese Weise nicht angeht, Scheinableitungen vermieden werden, wie z. B. bei der Feststellung, daß das Produkt zweier negativen Zahlen positiv ist. Bekanntlich kann man die Zweckmäßigkeit der Regel dadurch begründen, daß die Entwicklung von  $(a-b)(c-d)$  für  $a > b$ ,  $c > d$  auch gelten soll für  $a < b$ ,  $c < d$ , in welchem Falle sie zunächst keinen Sinn hat, so daß ihr einer vorgeschrieben werden kann. Die Einführung der negativen Zahlen läßt sich nicht dadurch begründen, daß man „offenbar“ die Zahlen 1, 2, 3, . . . ebenso von 0 subtrahieren wie sie zur Null addieren kann, sondern sie ist einfach als zweckmäßige Fortsetzung der Zahlenreihe über die Null hinaus wie an der Thermometerskala hinzustellen. Ganz zu verwerfen ist die Erklärung der Null durch eine unendlich kleine Größe. In dieser Beziehung wären noch manche Mängel namhaft zu machen, selbst wenn man einen sehr milden Maßstab der mathematischen Strenge anlegt, wie es bei einem Buche

der vorliegenden Art selbstverständlich ist. Auch die Ausdrucksweise läßt mitunter zu wünschen übrig; so z. B. darf es nicht heißen: Welche Werte erhält die Gleichung? wenn die Unbekannte in ihr gemeint ist, oder: eine Gleichung bleibt ihrem Werte nach unverändert, wenn ausgedrückt werden soll, daß sie richtig bleibt; auch ein Satzbau wie: Die Punkte miteinander verbunden, ergibt eine gerade Linie, sollte nicht vorkommen.

*R. Pyrkosch.*

**Gewöhnliche Differentialgleichungen.** Von Dr. G. HOHEISEL, a. o. Prof. in Greifswald; 3. neu bearbeitete Auflage; 126 Seiten; Sammlung Götschen, Band 920. Berlin: Walter de Gruyter & Co 1938. Preis in Leinen geb. RM. 1,62.

Die 3. Auflage der „Gewöhnlichen Differentialgleichungen“ der Sammlung Götschen umfaßt nur 126 Seiten gegen 159 der 2. Auflage. Die Einsparung entfällt der Hauptsache nach auf das Kapitel III, welches die Randwertaufgaben behandelt und in physikalischer Beziehung besondere Bedeutung hat. Der Ausgangspunkt dabei ist eine lineare Differentialgleichung 2. Ordnung  $p_0 y'' + p_1 y' + p_2 y = r$ , in der die  $p$  und  $r$  stetige Funktionen von  $x$  in einem Intervall  $(a, b)$  sind. Die gewöhnlichen Anfangswerte  $y(x_0)$ ,  $y'(x_0)$  werden aber durch 2 lineare Gleichungen in  $y(a)$ ,  $y'(a)$  und  $y(b)$ ,  $y'(b)$  ersetzt, welche die Randbedingungen darstellen. Da die Gleichung, wenn  $p_1$  und  $p_2$  außer von  $x$  noch stetige Funktionen eines Parameters  $\lambda$  sind, nur für bestimmte Werte von  $\lambda$  lösbar ist, gelangt man zu den Eigenwerten und Eigenfunktionen der Differentialgleichung, die in der heutigen Physik eine so hervorragende Rolle spielen. Der Zusammenhang mit der Lehre von den Integralgleichungen tritt in der neuen Auflage gegen die vorhergehende zurück; dafür wird die Bedeutung der GREENSchen Funktion für die Lösung des Problems hervorgehoben, die schon vorher bei der Zurückführung der Lösung einer inhomogenen Gleichung auf die einer homogenen eingeführt worden ist. Die Darstellung ist in diesem Kapitel auch sonst wesentlich geändert und besonders dadurch gekürzt worden, daß anstatt der sog. Oszillationstheoreme andere Hilfsmittel benutzt werden. Allerdings dürften die Ansprüche, die an den Leser bei der Durcharbeitung gestellt werden, dadurch nicht gerade geringer geworden sein.

Als Ganzes wird das Büchlein dem Fortgeschrittenen eine knappe, nach neuzeitlichen, streng kritischen Gesichtspunkten verfaßte Darstellung und Übersicht eines Gegenstandes etwa für Examenszwecke geben können, der ihm nicht mehr fremd ist. Aber auch der Anfänger wird davon Nutzen haben, wenn er auf die schwierigen Abschnitte

zunächst verzichtet und die einfachen wie auch praktisch wichtigsten vornimmt, wobei er in der Aufgabensammlung (Sammlung Götschen, Bd. 1059) den nötigen Übungsstoff findet, auf den in dem Büchlein öfter hingewiesen wird.

Didaktische Rücksichten müssen bei so beschränktem Umfange wohl etwas beiseite stehen, doch zeigt das Beispiel der Variation der Konstanten, das bald am Anfang im einfachsten Falle herausgestellt und an ihm erklärt wird, wie sehr der Verfasser dem Leser entgegenkommt, indem er ihm nicht gleich die Bewältigung eines schweren Problems in seiner ganzen Allgemeinheit zumutet. An einigen Stellen, wie z. B. im § 10 des Kapitels I, wäre eine Veranschaulichung durch bestimmte einfache Fälle, vielleicht auch figürlich, erwünscht. Es wird auch Sache der nächsten Auflage sein, die letzten Reste einer früheren undeutschen Ausdrucksweise zu beseitigen, wie z. B.: „In  $\Phi = 0$  eingesetzt, erhält man“, und eine Anzahl Druckfehler zu beseitigen, die in den Rechnungen, besonders des 1. Teils des Buches, vorkommen.

*R. Pyrkosch.*

**Lehrbuch der Physik.** Von ULRICH SEILER †. Erster Teil: Mechanik und Akustik. Dritte Auflage. Neu bearbeitet von W. HARDMEIER. 206 Seiten mit 264 Abbildungen. Zürich: Polygraphischer Verlag A.G. 1937. Preis Fr. 7,—.

In der vorliegenden dritten Auflage ist das für den Gebrauch an Schweizer höheren Lehranstalten bestimmte Lehrbuch von 4 auf 3 Teilbände zusammengezogen worden. Der erste Teilband (Mechanik und Akustik) liegt vor. Infinitesimalrechnung wird nicht angewandt. Der Text ist klar, leicht verständlich und anschaulich und wird durch viele schematische Abbildungen unterstützt. Sowohl das Ganze als auch manche Einzelheiten (z. B. Skisprung als Gleitflug u. a.) sind auch für den deutschen Lehrer reizvoll und anregend.

*E. Lamla.*

**Advanced experiments in practical physics.** By J. E. CALTHROP. XIX und 120 Seiten. London: William Heinemann 1938. Preis geb. 8 sh 6 d.

Den Titel des vorliegenden Buches wird man sinngemäß mit „Aufgaben für das physikalische Praktikum für Fortgeschrittene“ übersetzen. Diese Praktika dienen nicht nur einer — auf das Anfängerpraktikum folgenden — vertieften Ausbildung, sondern an den meisten Hochschulen auch einer allmählichen Einführung in den besonderen Gedankenkreis der wissenschaftlichen Arbeiten des betreffenden Institutes. Aus diesem Grunde sind die dort gestellten Aufgaben in den einzelnen Instituten durchweg sehr verschiedener Art. So ist offenbar auch dieses Buch in mancher Hinsicht charakteristisch für gewisse Arbeitsrichtungen am Queen Mary College der Universität London, dem Institut des Verfassers. Es ist in drei Abschnitte geteilt: Materialeigenschaften und Wärme, Licht, Elektrizität und Magnetismus, und enthält eine Erläuterung von insgesamt 48 Aufgaben mit der zugehörigen Theorie.

Jeder, der mit physikalischen Übungen zu tun hat, wird dieses Buch mit Interesse lesen und man-

che Anregungen aus ihm schöpfen können. Einzelne Aufgaben sind ziemlich allgemein bekannt; aber eine beträchtliche Anzahl Aufgaben wird den meisten Lesern — wenigstens als Praktikumsaufgaben — neu sein, und es wird mancher von ihnen geneigt sein, es auch einmal mit diesen zu versuchen. Einige einfachere Aufgaben würden sich auch schon für Schülerübungen eignen. Überhaupt hat der Verfasser nach Möglichkeit versucht, die Aufgaben mit einfachen Mitteln durchzuführen, und in vielen Fällen wird erwartet, daß der Lernende sich wesentliche Teile seiner Hilfsmittel selbst herstellt. So werden die Anregungen dieses Buches auch dem deutschen Leser sehr willkommen sein.

*Wilhelm Westphal.*

**Einführung in die Lehre vom Schuß (Ballistik).** Von KARL GEY und HORST TEICHMANN. Zweite verbesserte Auflage. Mathematisch-Physikalische Bibliothek, Reihe II, Bd. 11. 116 Seiten mit 61 Abbildungen und 2 Tafeln. Leipzig u. Berlin: B. G. Teubner 1937. Preis geb. RM 3,20.

Die erste Auflage des Büchleins ist in dieser Zeitschrift [48, 188 (1935)] ausführlich gewürdigt worden. In der vorliegenden zweiten Auflage werden neu behandelt: Bombenabwurf vom Flugzeug, Eigenschaften „der Dicken Bertha“ und der Paris-Kanone, Fortschritte der ballistischen Meßtechnik; der Abschnitt über den Luftwiderstand und die Treffwahrscheinlichkeit ist ungearbeitet, eine veraltete Schußtafel durch eine neue ersetzt worden.

Die Brauchbarkeit des Büchleins ist dadurch noch gesteigert worden, und die zweite Auflage kann ebenso wie die erste warm empfohlen werden.

*E. Lamla.*

**Technische Thermodynamik.** Zweiter Teil. Von FR. BOŠNJAKOVIĆ. Band 12 der Sammlung „Wärmelehre und Wärmewirtschaft in Einzeldarstellungen“, herausgegeben von H. PFÜTZNER. XIV und 290 Seiten mit 243 Abbildungen und einer Aufgabensammlung (24 Seiten). Dazu eine Mappe mit 7 Diagrammtafeln. Dresden u. Leipzig: Th. Steinkopff 1937. Preis des Buches geb. RM 18,—; geb. RM 19,—. Preis der Mappe mit Tafeln RM 8,—.

Verfasser stellt sich die ebenso reizvolle wie praktisch wichtige Aufgabe, die verschiedenen Wärmeprobleme, die bei Zweistoffgemischen auftreten, unter einheitlichem thermodynamischem Gesichtspunkte zu behandeln. Einige Kapitelüberschriften mögen über den Inhalt berichten: Verflüssigung von Gasen, Dampf-Luft-Gemische, Eigenschaften der Zweistoffgemische (Mischbarkeit, mehrere Phasen), technologische Prozesse mit Zweistoffgemischen (Destillation, Rektifikation, Eindampfen u. a.), Absorptionskältemaschinen, Prozesse mit Arbeitsleistung, Verbrennung und Vergasung, chemische Umsetzungen u. a. Verfasser untersucht die einzelnen Vorgänge und zeigt, wie man Diagramme für sie entwerfen kann. (Bei diesen werden als Koordinaten vor allem die Zusammensetzung des Gemisches bzw. der Phase, der Wärmeinhalt und die Entropie benutzt.) Eine

Reihe fertiger Diagramme ist in besonderer Mappe beigegeben (Wasserdampf-Luft, Wasser-Ammoniak, Wasser-Äthylalkohol u. a.). Eine praktisch wichtige Folge aus dem Entropiediagramm ist die Möglichkeit, den Mehraufwand zu berechnen, den ein Prozeß erfordert gegenüber dem Fall, daß er reversibel geführt würde. Verfasser will damit dem Wärmeingenieur die Möglichkeit geben, wirksam den Mahnruf zu beherzigen: Kampf den Nichtumkehrbarkeiten.

Alles in allem liegt ein Buch vor, das viele neue Wege weist und Anregungen gibt und deshalb für den Studenten der Technik wie den praktischen Ingenieur gleich brauchbar und wichtig ist.

*E. Lamla.*

**Einführung in die Großwetterforschung.** Von F. BAUR. 51 Seiten mit 12 Abbildungen im Text. Heft 88 der Mathematisch-Physikalischen Bibliothek, Reihe I, herausgeg. von W. LIETZMANN und A. WITTING. Leipzig u. Berlin: B. G. Teubner 1937. Preis RM 1.20.

„Die Aufgabe der Großwetterforschung ist es, alle die Gesetzmäßigkeiten sowie irdischen und außerirdischen Einflüsse festzustellen, die mit den Witterungserscheinungen zusammenhängen und ihre zeitlichen und räumlichen Unterschiede bedingen.“ In 6 Hauptabschnitten behandelt der Verfasser die wichtigsten Probleme und die bisherigen Ergebnisse: I. Großwetter und mittlere Luftdruckverteilung; II. Wärmehaushalt und allgemeiner Kreislauf der Atmosphäre; III. Witterungsperioden und Wetter-Rhythmen; IV. Geophysikalische Einflüsse auf das Großwetter; V. Kosmische Einflüsse auf das Großwetter; VI. Die langfristige Witterungsvorhersage. Die Unterteilung dieses Stoffes in 16 kürzere Stücke mit besonderen Überschriften bildet eine sehr geschickte Erleichterung für das Zurechtfinden in der Gesamtdarstellung.

Das ungemein anregend geschriebene Büchlein gibt einen ausgezeichneten Einblick in das ganze Fragengebiet, zu dem das Großwetter in Beziehung steht. Es wird klar herausgestellt, welche Zusammenhänge schon jetzt als wissenschaftlich gesichert anzusehen sind. Den vorläufig noch problematischen Dingen geht der Verfasser nicht etwa aus dem Wege, sondern er knüpft an scharfe Kennzeichnung der Aufgaben wertvolle Erörterungen über die Forschungswege, auf denen die Erarbeitung tieferer Einsichten versucht wird. Dem Schulphysiker kann dringend empfohlen werden, bei seiner Vorbereitung auf Unterricht in der Wetterkunde sich diesem zuverlässigen Führer anzuvertrauen.

*Mth.*

**Optik.** I. Teil. Von Dr. G. LEIMBACH und F. FISCHER. 106 Seiten mit 164 Abbildungen. Berlin: Albert Nauck & Co. 1938. Preis brosch. RM 3.—

Die Verfasser geben eine Zusammenstellung der einfachsten bekannten Versuche aus der geometrischen Optik. Mit dem Gebrauche der Niedervolt-Glühlampe schließen sie den heutigen Gepflogenheiten an. Auch der Aufbau der optischen

Bank aus Stativteilen und überhaupt die Art, beweglich zu experimentieren, ist begrüßenswert. Es ist schade, daß keine Auswahl der brauchbarsten Versuche getroffen ist, sondern daß in dem Streben nach möglichst Vielheit auf 99 Seiten 159 Versuche beschrieben werden. Es ist wenig verwunderlich, daß sich bei dieser Fülle einige Unebenheiten eingeschlichen haben. Wenn die Verfasser z. B. den Beweis führen „einfallender und reflektierter Strahl liegen in einer Ebene“, so wird das als Bestätigung des Satzes, daß zwei sich schneidende Gerade stets in einer Ebene liegen, vielleicht interessieren, man wird aber mit Erstaunen sowohl in der Versuchsanordnung wie im Text die Berücksichtigung des Einfallslotes vermissen. Die Aufklärung der übrigen Unebenheiten kann hier unterbleiben, da das Büchlein ja wohl auch nicht als Unterrichtsanleitung dienen wird, sondern mehr den Charakter einer Aufstellung der mit gewissen experimentellen Hilfsmitteln anzustellenden Versuche trägt. Es ist schade, daß die Skizzen der Versuchsanordnungen, die im allgemeinen recht anschaulich sind, an sehr vielen Stellen durch grobe perspektivische Verzeichnungen entwertet werden.

*O. Brandt.*

**Praktische Lichttechnik.** Hilfsbuch zur Anwendung der lichttechnischen Normen. Unter Mitarbeit von Dr.-Ing. ALBERT DRESLER, Dr. OTTO REEB, Dr.-Ing. MANFRED RICHTER und Dipl.-Ing. ERNST WITTING. Bearbeitet und herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. habil. WILHELM ARNDT. Mit 98 Abbildungen und 25 Tabellen. Berlin: Union Deutsche Verlagsgesellschaft Roth & Co. 1938. Preis RM 18.—

Aus dem Vorwort: „Die Bedeutung der Lichttechnik und der von ihr, auch in Gemeinschaft mit anderen Fachkreisen zu lösenden Aufgaben zum Wohle des Volksganzen wird heute in ständig steigendem Maße von allen Seiten erkannt. Das zeigt sich in vielen Ausbreitungserscheinungen, äußert sich aber zutiefst und am überzeugendsten wohl darin, daß das Reichsamt „Schönheit der Arbeit“ der Deutschen Arbeitsfront diese Bedeutung der Lichttechnik durch die ständige Einrichtung des Hauptausschusses „Gutes Licht — gute Arbeit“ anerkannt hat und der Pflege, Verbreitung und Anwendung lichttechnischen Gedankengutes kulturellen Wert beimißt.“

Die Verfasser behandeln Grundgrößen, Bezeichnungen und Einheiten in der Lichttechnik, photometrische Bewertung und Messung von Lampen und Beleuchtung, Bewertung und Messung von Farben, Leitsätze für Tagesbeleuchtung, Leitsätze für die Beleuchtung mit künstlichem Licht, Bewertung und Messung von Beleuchtungsgläsern und anderen lichttechnischen Baustoffen, Bewertung von Scheinwerfern. Das Buch ist in erster Linie als Fachbuch für den Praktiker geschrieben, gibt aber in seiner Vielseitigkeit darüber hinaus jedem, der sich mit Beleuchtungsfragen beschäftigt, wertvolle Anregung.

*O. Brandt.*

**Das Mikroskop,** seine wissenschaftlichen Grundlagen und seine Anwendung. Von A. EHRINGHAUS.

Band 14 der Mathematisch-Physikalischen Bibliothek, Reihe II, 2. Auflage. 156 Seiten mit 83 Abbildungen. Leipzig u. Berlin: B. G. Teubner 1938. Preis geb. RM 3,60.

Das Buch ist für alle diejenigen bestimmt, die zwar schon einige praktische und theoretische Kenntnisse über das Mikroskop besitzen, aber tiefer in das Gebiet eindringen möchten, ohne umfangreiche Spezialwerke zu benutzen. In 15 Kapiteln wird das ganze Gebiet behandelt. Nach Zusammenstellung der für das Verständnis notwendigen Begriffe und Gesetze aus der Optik werden Lupe und Mikroskop behandelt. Es folgen Messungen an Präparaten, Messungen der Konstanten des Mikroskopes, Prüfung der Leistung, Beschreibung aller wichtigen Hilfsapparate, Ultramikroskopie usw. Den Schluß bildet ein Kapitel über Anwendung des Mikroskopes in der Wissenschaft und Technik; endlich ist noch ein kurzes Kapitel über das Elektronenmikroskop angefügt.

Die Darstellung benutzt absichtlich mathematische Hilfsmittel nur in geringem Maße. Sie ist trotzdem außerordentlich klar und führt den Leser schnell zum Verständnis der Hauptsache, da stets mit ein paar Sätzen das Wesentliche hervorgehoben wird. Begriffe wie: numerische Apertur, Eintritts- und Austrittspupille des Objektives, Okularkreis usw. werden sehr gut verständlich gemacht. Für die Behandlung des Mikroskopes und die Zurichtung von Präparaten werden praktische Winke gegeben; an einigen Stellen erhält der Leser auch Anweisungen für eigene Versuche. Das Bändchen ist sehr zu empfehlen.

*P. Henckel.*

**Der Bau eines Spiegelfernrohres.** Von L. NEUROTH. Band 167 der Sammlung „Spiel und Arbeit“. 76 Seiten mit 25 Textabbildungen, 15 Zeichnungen und 6 Figurentafeln. Ravensburg: Otto Maier 1938. Preis brosch. RM 2,—.

Der Verfasser gibt Anleitung, wie sich ein Liebhaber mit möglichst einfachen Mitteln ein Spiegelfernrohr selbst bauen kann. Das Wichtigste ist das Schleifen des Hohlspiegels. Hier wird Gebrauch gemacht von einer Erfahrung, die zuerst THOMSEN ausgesprochen haben soll und die so lautet: Bringt man zwischen zwei horizontale, etwa gleich große Glasplatten irgendein Schleifmittel und bewegt unter mäßigem Druck die obere Platte nach allen Seiten hin und her, so wird die obere Platte konkav, die untere konvex geschliffen. Auf Grund dieser Tatsache wird der Prozeß des Schleifens und des Polierens durchgeführt. Mit Hilfe der FOUCAULTSchen Schattenprobe werden die Brennweiten der Randzonen und des mittleren Teiles bestimmt. Es folgt das Parabolisieren und Versilbern. Schließlich wird der verhältnismäßig einfache Zusammenbau des ganzen Fernrohres beschrieben.

Für den Physiker wirkt es störend, daß der Verfasser das Wort „Brennpunkt“ vielfach falsch gebraucht. An 8 Stellen, S. 25, 26 und 36, ist dafür „Bildpunkt“ zu setzen, auf S. 47 „Schnittpunkt.“ Man muß einen Schüler, dem man das

Buch in die Hand gibt, darauf hinweisen, weil sonst Verwirrung entsteht. Im übrigen aber enthält das Buch viele interessante Einzelheiten aus den Erfahrungen, die der Verfasser im Laufe von 15 Jahren bei der eigenen Herstellung von Teleskopspiegeln gesammelt hat. Über die Voraussetzungen für den Erfolg sagt er: „Nötig sind Geduld und Ausdauer; wer diese Eigenschaften nicht hat, unterlasse es, ein Spiegelteleskop anzufertigen, denn er wird nie etwas Brauchbares zustande bringen.“ Wenn man einen Schüler mit den geforderten Charaktereigenschaften hat, der über genügend freie Zeit verfügt, so empfiehlt es sich, ihm das Bändchen in die Hand zu geben und die Ausführung der Arbeit nahezuzeigen. Er kann viel dabei lernen.

*P. Henckel.*

**Électricité et Magnétisme.** Von G. JOCHMANS und F. DESCANS. 416 Seiten mit 408 Abbildungen. Bruxelles: A. de Boeck. Preis geb. Fr. 150,—.

Das Buch ist vor allem für Studierende der Universität Brüssel, und zwar für angehende Elektroingenieure bestimmt. Es gibt in klarer und anschaulicher Form eine gute Einführung in die allgemeine Theorie der Elektrizität und des Magnetismus und (im letzten Drittel) Anwendungen der Theorie auf quasistationäre und rasch veränderliche Zustände. Ein reizvolles Kapitel behandelt die MAXWELLSche Ableitung der Gesetze der Induktion aus den Gesetzen der LAGRANGE-HAMILTONSchen Dynamik.

*E. Lamla.*

**Einführung in die Vierpoltheorie der elektrischen Nachrichtentechnik.** Von R. FELDTKELLER. Schriftenreihe: Physik und Technik der Gegenwart. Abt. Fernmeldetechnik. Herausgeg. von H. FASSBENDER. Bd. 2, 142 Seiten mit 85 Abbildungen im Text. Leipzig: S. Hirzel 1937. Preis kart. RM 8,80; geb. RM 10,—.

Die Vierpoltheorie gehört heute zum unentbehrlichen Rüstzeug für jeden, der sich mit den Problemen der elektrischen Nachrichtentechnik befaßt. Unter einem Vierpol versteht man eine elektrische Schaltung zur Übertragung von Wechselströmen, bei der nur die Eingangs- und Ausgangsklemmen zur Messung zugänglich sind, während die Schaltung in ihren Einzelheiten unbekannt ist. Es ist Aufgabe der Theorie, die Zusammenhänge zwischen Eingangsscheinwiderstand, Übertragungsfähigkeit und Scheinwiderstand des an den Ausgang angeschlossenen elektrischen Gebildes darzustellen und in übersichtliche Formeln zu bringen, so daß man mit ihrer Hilfe umständliche und zeitraubende Rechnungen erspart.

Dem Verfasser ist es gelungen, eine „Einführung in die Vierpoltheorie“ in wirklich vollkommener Weise zu schreiben. Das Buch gliedert sich in die Abschnitte: I. Grundlagen, II. Lineare symmetrische Vierpole, III. Symmetrische Vierpole ohne Verluste, IV. Lineare unsymmetrische Vierpole, V. Allgemeine Theorie der linearen Vierpole, VI. Matrizen einfacher Netzwerke.

Es würde zu weit führen, auf die verschiedenen Abschnitte näher einzugehen. Die Darstellung ist klar, flüssig und übersichtlich. Dies gilt besonders

von der im V. Abschnitt behandelten Matrizenrechnung. Der Verfasser gibt hier einen guten Überblick über dieses sehr zweckmäßige Rechenverfahren und bringt zum Schluß eine wertvolle Formelsammlung der Matrizenausdrücke für eine große Zahl Schaltungen.

Das Buch wird jedem, der auf dem Gebiet der Fernmeldetechnik arbeitet, ein sehr wertvolles Hilfsmittel sein.  
*L. Bergmann.*

**Piezoelektrizität des Quarzes.** Von ADOLF SCHEIBE. Bd. 45 der Wissenschaftlichen Forschungsberichte, Naturwissenschaftliche Reihe. Herausgeg. von R. ED. LIESEGANG. XII, 233 Seiten mit 175 Abbildungen. Dresden-Leipzig: Theodor Steinkopf 1938. Preis brosch. RM 20.—, geb. RM 21.—.

Selten hat eine zunächst sehr unscheinbare physikalische Entdeckung eine so vielseitige und mannigfache Anwendung in Wissenschaft und Technik gefunden, wie dies bei der Piezoelektrizität der Fall ist. Allerdings mußten rund 40 Jahre seit den ersten Versuchen der Gebr. CURIE im Jahre 1880 vergehen, bis die piezoelektrischen Quarze in der Hochfrequenztechnik ihre erste praktische Anwendung in größerem Maße fanden. Heute wird fast jeder drahtlose Sender von einem schwingenden Quarz gesteuert, und die sog. Quarzresonatoren dienen in der Meßtechnik zur genauesten Feststellung der Frequenzen elektrischer Schwingungskreise. In der Akustik werden die schwingenden Quarzstäbe und Platten zur Erzeugung von Ultraschallwellen höchster Frequenz und größter Energie benutzt, und auf dem Gebiete der Druckmessung liefert der Quarzindikator ein sehr bequemes Hilfsmittel zur Messung und Registrierung schnell veränderlicher Drucke.

Bisher gab es kein zusammenfassendes deutsches Buch, das die Piezoelektrizität des Quarzes und ihre vielen Anwendungen behandelte, und es ist sehr zu begrüßen, daß sich der Verfasser der mühevollen Arbeit unterzogen hat, das umfangreiche Schrifttum zu sichten und in einer Monographie darzustellen. Das Buch gliedert sich in folgende Teile:

A. Statische Piezoelektrizität des Quarzes. 1. Die piezoelektrischen Effekte; 2. Nachweis der Piezoelektrizität; 3. Piezoelektrische Kristalle; 4. Beziehungen zwischen elastischen und piezoelektrischen Größen der piezoelektrischen Kristalle.

B. Der Quarzkristall als Resonator. 5. Das Resonanzphänomen; 6. Quarzstäbe als piezoelektrische Resonatoren; 7. Ringschwingungen; 8. Dehnungsschwingungen bei Quarzplatten; 9. Die Halterung und Ausführungsformen von Quarzresonatoren und Steuerquarzen; 10. Thermostaten für Quarzresonatoren und Steuerquarze; 11. Induktivität, Kapazität und Widerstand des schwingenden Quarzresonators; 12. Optische Methoden zur Untersuchung schwingender Kristalle.

C. Quarzgesteuerte Röhrensender. 13. Frequenzstabilisierung mittels Steuerquarz; 14. Der Steuerquarz in Selbsterregungsschaltungen.

D. Verschiedenes. 15. Piezoelektrische Quarzkörper als Ultraschallsender und Empfänger; 16. Einige besondere Verwendungszwecke schwingenden Quarzes; 17. Röntgen-Laue-Diagramme bei schwingenden Quarzplatten und Stäben.

Es ist unmöglich, auf die einzelnen Teile besonders einzugehen; die Darstellung ist überall klar und verständlich. Der Verfasser, der selbst bahnbrechend auf diesem Gebiete gearbeitet hat, legt besonderen Wert auf die experimentellen Tatsachen, ohne aber die theoretischen Ergebnisse zu vernachlässigen. Daß bei dem großen Umfange des zu behandelnden Gebietes nicht alles in gleicher Ausführlichkeit gebracht werden konnte, ist verständlich. Hier gibt ein ausführliches Schrifttumsverzeichnis die Möglichkeit, im Bedarfsfalle auf die Originalarbeiten zurückzugreifen.

Die Ausstattung des Buches und die zahlreichen Bilder und Zeichnungen sind durchweg sehr gut. Für jeden, der sich mit den interessanten Erscheinungen der Piezoelektrizität befaßt, insbesondere aber auch für den Lehrer und Studierenden, wird das Buch ein brauchbares und wertvolles Hilfsmittel sein.  
*L. Bergmann.*

**Fernsehen.** Die neuere Entwicklung insbesondere der deutschen Fernsehtechnik. Vorträge von M. v. ARDENNE, F. BANNEITZ, E. BRÜCHE, W. BUSCHBECK, A. KAROLUS, M. KNOLL, R. MÖLLER, F. SCHRÖTER. Herausgeg. von F. SCHRÖTER. 260 Seiten mit 228 Abbildungen. Berlin: Julius Springer 1937. Geh. RM 19,50, geb. RM 21.—.

Seit dem Erscheinen des Handbuchs der Bildübertragung und des Fernsehens im Jahre 1932 hat dieses Gebiet der Nachrichtentechnik eine stürmische Entwicklung insbesondere durch die Einführung der BRAUNschen Kathodenstrahlröhre erhalten. Das vorliegende Buch, das aus einer Vortragsreihe im Elektrotechnischen Verein und im Außeninstitut der Berliner Technischen Hochschule entstanden ist, beabsichtigt, einen grundlegenden Überblick über den derzeitigen Stand der Fernsehtechnik zu geben. Das Buch gliedert sich in folgende Abschnitte:

1. Entwicklung und Stand des Fernsehens, von F. BANNEITZ; 2. Physikalische Grundlagen, Möglichkeiten und Grenzen der Fernsehübertragung, von F. SCHRÖTER; 3. Die mechanischen Bildzersetzer und ihre Synchronisierung, von R. MÖLLER; 4. Geometrische Elektronenoptik, von E. BRÜCHE; 5. Die Kathodenstrahlröhre in der Fernsehtechnik, von M. KNOLL; 6. Die Fernsehsendung, von W. BUSCHBECK; 7. Der Fernsehempfang, von M. v. ARDENNE; 8. Das Großbildproblem beim Fernsehen, von A. KAROLUS.

Dieser Überblick zeigt den reichen Inhalt des Buches, an dem die sachkundigsten Kenner auf diesem Gebiete mitgearbeitet haben. Die Darstellung ist durchweg klar und in jeder Weise verständlich geschrieben und wird durch eine große Anzahl Bilder in ganz ausgezeichneter Wiedergabe ergänzt. Ein Schrifttumsverzeichnis von rund 150 Einzelarbeiten aus den letzten Jahren gibt die Möglichkeit zu einem tieferen Eindringen in das heute so aktuelle Gebiet. Das Buch kann jedem,

der für das Fernsehgebiet interessiert ist, vor allem auch dem Lehrer und Studierenden, nur bestens empfohlen werden.

*L. Bergmann.*

**Angewandte Atomphysik.** Von RUDOLF SEELIGER. Eine Einführung in die theoretischen Grundlagen. IX, 461 Seiten und 175 Abbildungen. Berlin: Julius Springer 1938. Preis brosch. RM 24.—, geb. RM 26.—.

In dem letzten Jahrzehnt hat die atomphysikalische Forschung in immer größerem Maß eine Bedeutung auch für viele Zweige der Technik erlangt. Als Beispiele seien genannt: die Entwicklung der modernen Beleuchtungsröhren, die nur auf Grund der Erkenntnisse der Lichtquantentheorie möglich war; ferner die modernen Elektronenröhren und das Elektronenmikroskop, deren Durchbildung erst nach Kenntnis der Bewegungsvorgänge von Elektronen in elektrischen und magnetischen Feldern ermöglicht wurde. Die Vorgänge der Elektrizitätsleitung in flüssigen und festen Körpern, die Vorgänge in dielektrischen und magnetischen Stoffen haben erst auf Grund der Atomphysik eine in vieler Hinsicht gerade für praktische Anwendungen wertvolle Klärung erfahren.

In dem vorliegenden Buch hat sich der Verfasser die Aufgabe gestellt, eine zusammenfassende Darstellung der theoretischen Grundlagen der Atomphysik unter besonderer Berücksichtigung der praktischen Anwendungen zu geben. Das Buch gliedert sich in folgende Abschnitte: 1. Kinetische Theorie der Gase; 2. Bau der Atome; 3. Elektronen im Hochvakuum; 4. Elektrizitätsleitung in Gasen; 5. Elektrizitätsleitung in festen Körpern; 6. Elektrizitätsleitung in Flüssigkeiten; 7. Dielektrika und Magnetika.

Aus dieser Übersicht geht die Auswahl und Begrenzung des behandelten Stoffes hervor. Die Darstellung, die stets von den Betrachtungen der klassischen Physik ausgeht, ist außerordentlich klar und verständlich geschrieben; dabei wird nur ein Minimum an mathematischen Kenntnissen vorausgesetzt. Am Anfang eines jeden Kapitels befindet sich eine kurze Übersicht, die einmal die Bedeutung des betreffenden Stoffes für die Zwecke der Praxis angibt und ferner in knapper Auswahl Hinweise auf das diesbezügliche Schrifttum gibt. Die Ausstattung des Buches und die Wiedergabe der vielen Abbildungen sind vorzüglich.

Die Lektüre des sehr lesenswerten Buches wird nicht nur dem Physiker und wissenschaftlichen Forscher, sondern auch dem Lehrer und Studierenden große Freude machen.

*L. Bergmann.*

**Numerical problems in advanced physical chemistry.** Von J. H. WOLFENDEN. 227 Seiten. Oxford: At The Clarendon Press 1938. Preis geb. 7 sh 6 d.

Das Buch von J. H. WOLFENDEN ist eine außerordentlich wertvolle Bereicherung der physikalisch-chemischen Literatur; es stellt — zum mindesten für den deutschen Leser — eine völlig neue Art Lehrbuch dar. Der Verfasser hat wie jeder, der physikalische Chemie lehrt oder lernt, die tiefe

Lücke empfunden, die durch die schnelle Entwicklung dieser Wissenschaft notwendigerweise zwischen den theoretischen Erörterungen der Lehrbücher und der Laboratoriumsarbeit, den Messungen und den experimentellen Beobachtungen, deren Ergebnisse die Theorien sind, entstehen mußte. Er hat deshalb zahlreiche Probleme (133) aus Originalarbeiten ausgewählt, die zum größten Teil innerhalb der letzten 15 Jahre erschienen sind. Die Auswahl wurde nach zwei Gesichtspunkten getroffen; erstens sollten die Arbeiten genügend viele experimentelle Ergebnisse enthalten, um aus ihnen eine vollständige Rechnung ableiten zu können, und zweitens sollten die Arbeiten ein deutliches Bild der Arbeitsmethoden des betreffenden Gebiets geben. Die Probleme sind unter folgende Hauptgruppen geordnet: Fundamentalkonstanten (1—5); Stöchiometrie (6—10); Gasgleichgewichte (11—18); heterogene Gleichgewichte (19—29); Thermochemie und Thermodynamik (30—40); Leitfähigkeit von Lösungen und Überführungszahlen (41—47); Gleichgewichte in Lösungen (48—68); Elektrochemie (69—74); Kinetik thermischer Reaktionen (75—92); Photochemie (93—98); Molekülstruktur (99—119); Kristallstruktur (120—125); Radioaktivität (126—133). Anschließend sind die Antworten auf die in den Problemen gestellten Fragen und eine Tafel mit den wichtigsten Konstanten gegeben.

Zweifellos wird die Beschäftigung mit einem Buche, das die Ergebnisse der Forschung bis in die allerneueste Zeit in einer so klugen und instruktiven Auswahl bringt, für jeden Leser ungewöhnlichen Nutzen haben. Leider sind aber die Aufgaben — da das Buch im wesentlichen für englisch sprechende Studenten bestimmt ist — zu vier Fünfteln aus englischen bzw. amerikanischen Arbeiten entnommen. Wenn also das Buch von WOLFENDEN für eine Übertragung ins Deutsche nicht gut geeignet ist, so wäre ein entsprechendes Lehrbuch, das auf die sicherlich nicht weniger geeigneten deutschen Arbeiten zurückgreift, sehr wünschenswert.

*W. Groth.*

**Quantitative chemische Versuche.** Von Prof. Dr. PAUL RISCHBIETH. Übungen für den Gebrauch an Hochschulen und höheren Lehranstalten. 155 Seiten mit 19 Figuren, 1 Tafel. 2. unveränderte Auflage. Hamburg: Boysen & Maasch 1938. Preis geb. RM 4,80.

Der Verlag hat nach dem Tode RISCHBIETHS die Zusammenstellung seiner quantitativen Versuche, welche hauptsächlich seine bekannten, in dieser Zeitschrift zuerst veröffentlichten gasvolumetrischen Demonstrationsversuche enthält, unverändert neu herausgebracht. Auf die Besprechung der ersten Auflage in dieser Zeitschrift 42, 283 (1929) sei hier verwiesen. Jüngere Fachgenossen, welche die 1. Auflage des Büchleins noch nicht besitzen, haben jetzt die Möglichkeit, die 2. Auflage und damit einen wertvollen Ratgeber für gasvolumetrische Versuche zu erwerben. *Dm.*

**Chemisches Praktikum für Mediziner.** Von Dr. HANS BODE und Prof. Dr. HANS LUDWIG.

2. Auflage. 131 Seiten. Leipzig u. Wien: Franz Deuticke 1938. Preis geb. RM 4,—.

Die vorliegende Anleitung zum chemischen Arbeiten weicht von der üblichen Art der Mediziner-Praktika insofern ab, als sie nicht mit Einzelreaktionen der Elemente beginnt, sondern zuerst allgemeine Begriffe wie Säuren, Basen, Salze, elektrolytische Dissoziation, Lösungen, Hydrolyse, Oxydation, Reduktion an zahlreichen einfachen Versuchen erläutert und damit die Grundlage für ein allgemeineres Verständnis der dann folgenden Reaktionen der wichtigsten Metalle und Säuren legt. Es folgen je eine Tabelle für die Prüfung auf Metall-Ionen und Säure-Ionen, kurze Anweisungen zur Maßanalyse und ein 48 Seiten umfassender organischer Abschnitt, der zahlreiche bekannte, gut ausgewählte Versuche zur Erkennung und Unterscheidung der für den künftigen Arzt besonders wichtigen Stoffe und Stoffgruppen enthält.

*Dm.*

**Praktikum der gewerblichen Chemie.** Von Prof. Dr. MAX HESSENLAND. 1. Teil: Anorganische Chemie. 2. Teil: Organische Chemie. 301 Seiten mit 51 Abbildungen. München: J. F. Lehmann 1938. Preis in Leinwand geb. RM 16,—.

Der Verfasser, Professor für chemische Technologie und Warenkunde an der Handelshochschule in Königsberg i. Pr., gibt hier eine Zusammenstellung der in seinem Laboratorium seit Jahren ausgeführten Versuche aus der praktischen Chemie. Das Buch hat es nicht auf wissenschaftlich-fachmännische Ausbildung der Studierenden abgesehen, sondern es bezweckt eine Einführung in die Chemie des täglichen Lebens im weitesten Sinne, besonders in die Bedeutung der Chemie in Gewerbe, Handel und Industrie.

Die kurze Einführung in das Arbeiten im chemischen Laboratorium und die damit verbundenen Gefahren umfaßt eine Zusammenstellung der wichtigsten Geräte und Stoffe, ihre Unterbringung in Flaschen und deren Beschriftung, außerdem Gefahrenverhütungs- und Arbeitsvorschriften. Der anorganischen Chemie sind 108, der organischen 147 Seiten gewidmet. Der anorganische Teil beginnt mit einigen ganz einfachen Vorversuchen zur Erläuterung allgemeiner Begriffe, wie Gemenge, Verbindung, Synthese, Analyse; dann folgen einige Versuche über Verbrennung, Oxydation, Sauerstoff, Reduktion, und an diese schließen sich physikalische Vorversuche an, z. B. Schmelzpunktsbestimmungen, Ermittlung des spezifischen Gewichtes, Kälteerzeugung und einzelne Versuche zur Elektrolyse und zum Verhalten der Lösungen. Diese Versuche entsprechen im wesentlichen den bekannten Einführungsversuchen, wie sie nach den neuen Lehrplänen der höheren Schulen etwa für die 5. Klasse in Frage kommen. Im anorganischen Teile findet man im übrigen eine Anzahl der einfacheren Versuche wieder, die in den bekannten Anleitungen zur Ausführung von Schulexperimenten beschrieben sind. Neues findet sich dort, bis auf einige Versuche über Korrosion und über das Gießen von Steingut, kaum.

Der organische Teil hingegen enthält neben zahlreichen aus den Experimentierbüchern bekannten Versuchen auch eine ganze Reihe handels- und gewerbekundlicher Untersuchungen und Versuche und gibt dazu auch lehrbuchmäßige Erläuterungen. Darin dürfte die besondere Eigenart des Buches bestehen. Einige Beispiele zeigen am besten, worum es sich handelt: Die Eigenschaften der Motortreibstoffe und der Schmiermittel und die Anforderungen, die der Handel an sie stellt, werden beschrieben und durch einige Versuche erläutert. Ferner findet man Anleitungen zur Herstellung von Likören, von Kolophonium, von Haut- und Körperpflegemitteln, wie auch zur Gewinnung eines ätherischen Öles durch Wasserdampfdestillation (Kümmelöl), zur Synthese eines ätherischen Öles (Wintergrünöl) oder eines Arzneimittels (Aspirin). Die Unterscheidung der Malerfarben und Lacke, die Bewertung von Getreide, Mehl und Textilien sind, ihrer Bedeutung für die Studierenden der Handelshochschule entsprechend, eingehender beschrieben.

Das Buch will in erster Linie eine gedruckte Anleitung für die Studierenden der Handelshochschule sein, deren Bedürfnissen die üblichen, an Hochschulen gebräuchlichen Anleitungen zur Einführung in das praktische chemische Arbeiten zu wenig angepaßt sind. Es will darüber hinaus namentlich für Gewerbe- und Berufsschullehrer, aber auch für die Lehrer der Chemie an höheren Schulen, lebensnahen Stoff für ihren Unterricht liefern. Diesen Zwecken wird das Buch, das mit klaren Abbildungen versehen ist und eine umfassende Schrifttumsübersicht enthält, durchaus gerecht werden.

*Dm.*

**Die Erzeugung von Eisen und Stahl.** Herausgegeben vom DATSCH. 3. völlig veränderte Auflage. 24 Seiten mit 6 Tafeln und mehreren graphischen Darstellungen. Berlin: B. G. Teubner. Kart. RM 0,80.

Das Schriftchen stellt den Werdegang des Eisens von den Erzen bis zu den schweren Schmiedestücken und dem Halbzeug übersichtlich dar und erläutert die Beschreibungen durch klare, einprägsame Anschauungstafeln, z. B. für die Aufbereitung der Erze, das Hochofenwerk, die Roheisenweiterverarbeitung. Der Schlußabschnitt über die Roheisenwirtschaft führt an der Hand einer Karte über die Verbreitung der Eisenerze und mehrerer graphischen Darstellungen in die großen Aufgaben ein, die der Vierjahresplan der Eisenwirtschaft stellt. — Inzwischen ist schon die 4. Auflage des für die Schüler höherer Schulen empfehlenswerten Schriftchens erschienen.

*Dm.*

**Das Gallium.** Von ERICH EINECKE. Eine kritische Würdigung der Erkenntnisse mit experimentellen Beiträgen. 156 Seiten mit 24 Abbildungen. Leipzig: Leopold Voss 1937. Preis kart. RM 12,—.

Diese Einzelbeschreibung des seltenen Elementes bietet durch ihre Vollständigkeit und Übersichtlichkeit dem Lehrenden eine Gelegenheit, sich ohne großes Zeitopfer einen Überblick zu verschaffen. Manche Eigenschaften des Galliums

erweisen sich als kennenswert, so z. B. der niedrige Schmelzpunkt 29,8°. Das Hauptvorkommen im Mansfelder Kupferschiefer gibt Deutschland eine Art Monopolstellung, so daß die Möglichkeiten, Gallium zu verwenden, beachtet werden müßten. Die Aufzeigung dieser Möglichkeiten und die Betrachtung bereits ausgeprobter Gebiete — Verwendung von Ga-Legierungen als Amalgamersatz in der Zahnheilkunde — machen das Werk besonders lesenswert. Die Ausstattung durch den Verlag ist ganz vorzüglich. *G. Mangliers.*

**Wehrgeologie.** Von Dr. KURD VON BÜLOW unter Mitarbeit von Major a. D. Dr. W. KRANZ und Major Dipl.-Ing. ERICH SONNE. Mit Beiträgen der preußischen Bezirksgeologen Prof. Dr. O. BURRE und Prof. Dr. WILH. DIENEMANN. 170 Seiten, 6 farbige Karten und 5 Übersichtstafeln. Leipzig: Quelle & Meyer 1938. Preis in Halbleinen RM 6,80.

Was hätte der Berichterstatter darum gegeben, wenn er im Weltkrieg ein solches Buch zur Verfügung gehabt hätte, als er plötzlich als Kriegsgeologe an die Grenze in Nordschleswig abkommandiert wurde! Aber damals war außer KEILHACKS Praktischer Geologie so gut wie nichts vorhanden, was man zur Bewältigung der plötzlich auftretenden Aufgaben hätte heranziehen können. Seitdem und eben durch die Erfahrungen des Weltkrieges ist die Wehrgeologie ein selbständiger Zweig der Geologie geworden, von dessen Vielseitigkeit und Bedeutung das vorliegende Buch Zeugnis ablegt. Geologische Kenntnisse sind für den heutigen Krieg unentbehrlich, denn Feldbefestigung, Legen von Sperren, Entwässerungen, Wegebau, Brunnenbau, Minierarbeiten, Rohstoffbeschaffung usw. gehören zu den alltäglichen Arbeiten der Truppe. Viele von diesen Arbeiten begegnen nicht nur den Pionieren und Technikern, sondern sind von allen Waffengattungen selbständig zu lösen.

Jedem Soldaten die einfachsten Grundkenntnisse von der Beschaffenheit des Bodens zu vermitteln, gehört ebenso zu den Aufgaben, die sich das Buch gestellt hat, wie die Einführung der Geologen in die eigentlichen militärischen Aufgaben ihrer Wissenschaft, in die „Kriegsgeologie“, und der oberen militärischen Stellen in die militärische Bedeutung der Wehrgeologie. Im 1. Abschnitte werden die praktisch wichtigen Grundbegriffe der Geologie, nämlich einmal die Gesteine selbst und dann ihre Bearbeitbarkeit, ihr Verhalten zum Wasser, ihre Stand- und Deckenfestigkeit, ihre Leitfähigkeit für den Schall und ihre Schußfestigkeit dargestellt. Dann folgt eine kurze Einführung in den Gebrauch militärgeologischer Karten. Der bei weitem größte 3. Teil behandelt militärisch angewandte Geologie, nämlich: erdbauliche Arbeiten, wasserbauliche Aufgaben, Wasserbeschaffung, -bekämpfung und -beseitigung, Roh- und Baustoffbeschaffung, Straßen-, Wege- und Bahnbau. Allen geologisch-geographisch Interessierten wird das Buch eine Fülle neuer Gesichtspunkte bringen, und bei manchem wird es auch die Erinnerungen an eigene Tätigkeit im Weltkriege wieder lebendig werden lassen. Das Buch kommt gerade zur rechten Zeit, um den Lehrern der Naturwissen-

schaften geeigneten Stoff darzubieten für die Behandlung wehrgeologischer Fragen im Unterrichte der höheren Schulen. *Dm.*

**Die Lagerstätten der nutzbaren Mineralien.** Von F. BEYSCHLAG, P. KRUSCH und J. H. L. VOGT. III. Bd.: Kohle, Salz, Erdöl. 2. Teil: Steinsalz und Kalisalze von Dr. E. FULDA. 240 Seiten mit 94 Abbildungen. Stuttgart: Ferdinand Enke 1938. Preis geb. RM 20,—.

Der 1. Abschnitt dieser Schrift behandelt die allgemeine Salzgeologie. Er beginnt mit der Geschichte der Salzgewinnung, beschreibt die Salzminerale und Salzgesteine, die Abscheidung der Salze aus Lösungen, die Entstehung der Salzlagerstätten, Salztektonik, Salzauslaugung und Hut-salzbildung. Der Frage der Entstehung der Salzlagerstätten schenkt der Verfasser besondere Aufmerksamkeit; er hat sich die von MARTIN WILLFAHRT [Geol. Rdsch. 24 (1933)] aufgestellte Großflutentheorie zu eigen gemacht und sie auf Grund seiner reichen Erfahrungen weiter ausgebaut. Diese Theorie läßt die von OCHSENTIUS zwischen Meer- und Salzwasserbucht angenommene Barre fallen, hält aber an der Senke fest, die jedoch nicht mehr über eine Barre mit dem Meer in Verbindung bleibt, sondern von diesem vollständig getrennt ist, etwa durch ein breites Watt oder ein Schelf. Nur bei Großfluten, die aus der früher größeren Erd-Mondnähe erklärt werden, konnte Meerwasser in das Salzwasserbecken gelangen. Der vom Meere hinreichend getrennte „Salzsee im Großwatt“ erhielt periodisch Zugänge von Meerwasser und vermehrte dadurch seinen Salzgehalt. Bis heute hat der Abstand zwischen Erde und Mond sich jedoch so weit vergrößert, daß es zu Großfluten im Sinne WILLFAHRTS und damit zur Bildung von großen Salzlagern nicht mehr kommen kann.

Der 2. umfangreichere Teil des Buches ist der regionalen Salzgeologie gewidmet. Da werden zuerst die Salzlager Deutschlands an Hand zahlreicher anschaulicher Abbildungen und Profile eingehend dargestellt. Aber auch die Salzlagerstätten der übrigen Länder Europas, namentlich auch Rußlands, und schließlich die der ganzen Welt werden beschrieben, soweit sie bekannt sind. Sehr vollständige Verzeichnisse über weitergehendes Schrifttum, Schätzungen von Salzvorräten und eine umfassende Statistik über die Erzeugung von Kochsalz und von Kalisalzen ergänzen dieses ausgezeichnete Werk, das in keiner höheren Schule fehlen sollte; macht es uns doch mit einem unserer wertvollsten deutschen Bodenschätze gründlich bekannt. *Dm.*

**Das chemische Luftschutz-ABC.** Von Dr. GERHARD PETERS. Eigenschaften, Gefahren und Abwehr der chemischen Kampfstoffe. Gemeinverständlich dargestellt für alle. 77 Seiten mit 23 Abbildungen. Stuttgart: Ferdinand Enke 1938. Preis geh. RM 1,80.

Diese kleine Schrift wendet sich in ihrem Haupttext an Laien mit Durchschnittserfahrung aus dem täglichen Leben; in den Kleindruckeinschaltungen auch an chemisch vorgebildete Leser.

also Chemiker, Lehrer, Ärzte. Der Verfasser hat es vorzüglich verstanden, die für den Laien wichtigsten chemischen Fragen über die Kampfstoffe auf wenige, im Text durch Fettdruck hervorgehobene lapidare Sätze zusammenzudrängen. Das zeichnet dieses Luftschutz-ABC vorteilhaft aus vor manchen anderen ähnlichen Schriften über den zivilen Luftschutz, die meist zu viel wollen, zu wissenschaftlich vorgehen und daher eher verwirren als klären. Den Vereinfachungen, die der Verfasser im Interesse einer besseren Übersicht, namentlich bei der Einteilung der Kampfstoffe, vornimmt, kann man daher nur zustimmen. An einigen Stellen ist dies allerdings — aber scheinbar bewußt — auf Kosten der wissenschaftlichen Exaktheit geschehen; aber schließlich pflegen sich ja Chemiker, Lehrer und Ärzte über die chemische Seite des Luftschutzes nicht gerade aus einem Luftschutz-ABC von 77 Seiten Umfang zu unterrichten. Wer aber Luftschutzvorträge hält, kann aus dem Schriftchen lernen, wie man kurz und bündig das praktisch Wichtigste herausstellt. Auch der Schlußabschnitt über eine schwierige Seite des Luftschutzes, nämlich die Erkennung der Art der Kampfstoffvergiftungen und über die danach einzurichtende erste Hilfe, beschränkt sich geschickt auf das Wesentlichste.

*Dm.*

**Chemie des Luftschutzes.** Von Ing. Dr. RUDOLF GÖTZ, Prof. an der höheren Bundesgewerbeschule in Villach. 50 Seiten mit 29 Abbildungen. Wien u. Leipzig: Franz Deuticke 1938. Preis RM 1,60.

Dieses bereits durch Erlaß des Bundesministeriums für Handel und Verkehr vom 23. Januar 1937 zum Unterrichtsgebrauch an den höheren Abteilungen der höheren Bundesgewerbeschulen zugelassene, aber erst nach dem Anschluß Österreichs erschienene Schriftchen ist als Lernbehelf an österreichischen Mittelschulen und höheren Lehranstalten für die Einführung in die chemischen Grundlagen des Luftschutzes gedacht. Es stellt eine Art Ergänzung chemischer Schullehrbücher auf dem Gebiete des Luftschutzes dar und enthält zur Veranschaulichung 33 gut ausgewählte Versuche. Wenn auf S. 44 gesagt wird, das Löschen der Thermitbrandbomben sei praktisch nur mit Sand möglich, Phosphor könne mit viel Wasser gelöscht werden, entzünde sich aber wieder, so steht dies mit den eigenen Ausführungen des Verfassers im Text, aber auch mit den heute im Reich herrschenden Ansichten zum Teil im Widerspruch. Der Abschnitt über die Chemie der Kampfstoffe könnte ohne Schaden gekürzt und auf eine klarere Übersicht über ganz wenige Stoffe beschränkt werden. Die Schüler werden durch eine zu große Häufung von Namen, Formeln und

Unterscheidungsmerkmalen nur zu leicht verwirrt. Diese Bemerkung trifft aber für viele ähnliche Schriften in derselben Weise zu und bedeutet daher keine Ablehnung des sorgfältig bearbeiteten Heftes.

*Dm.*

**Sinn und Aufgaben der Geschichte der Chemie.** Von Dr. ERICH PIETSCH. Sonderdruck aus Z. angew. Chem., 33 Seiten. Berlin: Verlag Chemie 1937. Preis brosch. RM. 1,20.

Die Geschichte der Chemie findet nicht die ihrer Bedeutung entsprechende Würdigung bei den Chemikern, weder bei den Vertretern der Praxis noch bei den Wissenschaftlern. Seit dem Erscheinen des Kosmos von A. v. HUMBOLDT und von KOPPS Geschichte der Chemie ist der Versuch einer diesen Werken entsprechenden Gesamtschau der Naturwissenschaften überhaupt oder der Chemie nicht wiederholt worden. Der Verfasser sieht in der materialistischen, wesentlich auf Förderung des Tatsachenwissens gerichteten Einstellung der Menschen des Technischen Jahrhunderts den Grund dafür, daß der Blick „bis ins Innere der Wirklichkeit“ nicht durchdringen konnte, daß die Fragen nach den metaphysischen Komponenten des Naturgeschehens nicht gestellt wurden.

Mit der Überwindung des mechanistischen Zeitalters sind wir im Zuge des geistigen Umbruchs unserer Zeit in die Lage versetzt, wieder lebendige Beziehungen zu einem höheren Zweck alles Geschehens herzustellen: wir müssen mit E. DIESEL „lebendige unmittelbare Zustände anstreben, die im Beglückenden wie im Tragischen der Idee des Menschen und seinem Dasein als Sohn dieser Erde angemessen sind“.

Diese neue Gesinnung kann aber nicht traditionsfremd und geschichtsfeindlich sein, sondern sie muß gerade aus der Geschichte starke und ausrichtende Kräfte für die Zukunft schöpfen. Sie muß die Kräfte, welche die Entwicklung der Chemie bedingen, in lebendige Resonanz zu den wirkenden Kräften der betreffenden Kulturperiode setzen. An verschiedenen Beispielen wie Alchemie, Phlogiston, Indigo, Abraumalze, Chloralkalielektrolyse weist der Verfasser dies nach.

Es mag darauf hingewiesen werden, daß für den chemischen Unterricht der höheren Schulen seit 40 Jahren und bis auf den heutigen Tag die Forderungen des Verfassers aus denselben Gründen erhoben und in Schullehrbüchern verwirklicht worden sind, wofür nur die Namen ARENDT, RUSKA und WINDERLICH als Beispiele genannt werden mögen. Daher werden die Forderungen des Verfassers in den Kreisen der Chemielehrer der höheren Schulen lebhaften Widerhall finden.

*Dm.*