

Elektrische Einheiten und schöne Gleichungen.

Von Fritz Emde in Stuttgart.

1. Nicht eine, sondern mehrere Einheiten für jede Größenart. Bei der Angabe von Größen liebt man es, die Einheit nicht sehr verschieden von der anzugebenden Größe zu wählen; dann vermeidet man Maßzahlen mit vielen Nullen. In Werkzeichnungen gibt man die Maße in Millimetern an, Landstraßen mißt man in Kilometern, die Entfernung der Fixsterne in Lichtjahren; Längen im Atom betragen etliche Nanometer. Die Dauer von Telefongesprächen berechnet man in Minuten, von Eisenbahnfahrten in Stunden, Abschnitte der Geschichte in Jahrhunderten, die Dauer der mit dem Kathodenstrahl-Oszillographen aufgenommenen Vorgänge in Mikrosekunden. Briefgewichte gibt man in Gramm, die Tragfähigkeit eines Kranes in Tonnen an. Radium steht meist nur in wenigen Milligrammen zur Verfügung.

Sollte es sich nicht empfehlen, auf dem elektromagnetischen Gebiet ebenso zu verfahren? Nun, das tut man auch. Die Spannung eines galvanischen Elements beträgt 1 bis 2 Volt, eines Thermoelements einige Millivolt. Hochspannungen gibt man in Kilovolt an. Die elektrische Feldstärke, bei der die Luft unter gewöhnlichen Umständen zwischen ebenen Elektroden durchschlagen wird, beträgt 2,8 kV/mm. Rundfunkwellen kommen von fernen Stationen mit Feldstärken von etlichen Mikrovolt/Meter an. Ein Kupferdraht von 1 mm² Querschnitt und 1 km Länge hat einen Widerstand von 17 Ohm. Isolationswiderstände zählen nach Megohm. Den Verbrauch von Glühlampen gibt man in Watt an, von Elektromotoren in Kilowatt. In großen Überlandwerken rechnet man sogar nach Megawatt. In Haushaltungen werden gewöhnlich Sicherungspatronen für 6, seltener für 10 Ampere verwendet. Ein Mensch verträgt bei Niederfrequenz nur etliche Milliampere; elektrische Schmelzöfen und Galvanisierungsanlagen brauchen Ströme von einigen Kiloampere. Die Induktivitäten von Freileitungen zählen nach Millihenry/km, ihre Kapazitäten nach Nanofarad/km. Die Induktion des magnetischen Erdfeldes erreicht noch nicht ein halbes Gauß. Die Induktion, die in elektrischen Maschinen und Transformatoren im Betrieb gewöhnlich vorhanden ist, ist von der Größenordnung 10 Kilogauß, wobei im Eisen die magnetische Feldstärke wenige Amp/cm beträgt.

Keineswegs besteht also ein Bestreben, mit möglichst wenig Einheiten auszukommen und die Maßzahlen mit hohen positiven oder negativen Potenzen von 10 anzugeben. Der Brauch strebt eher von einem Maßsystem weg als zu ihm hin.

Von den cgs-Einheiten ist in unseren Beispielen nur die Einheit für die magnetische Induktion, das Gauß, vorgekommen. Im übrigen benutzt man die sog. „internationalen“ Einheiten. Streng genommen ist das Gauß in der heutigen Meßtechnik auch nicht eine cgs-Einheit, sondern eine Abkürzung für 10^{-8} Voltsek/cm².

2. Lichtgeschwindigkeit und Wellenwiderstand. Das elektromagnetische Verhalten des leeren Raumes ist durch zwei Konstanten charakterisiert. Denken wir uns etwa zwei Kupferschienen von Rechteckquerschnitt (lange Seite des Rechtecks = h), die sich mit ihren flachen Seiten im Abstand $a \ll h$ parallel gegenüberstehen. Die eine Schiene kann man als Hinleitung, die andere als Rückleitung für einen elektrischen Strom benutzen. Legt man an das eine Ende dieser Doppelleitung plötzlich eine elektrische Spannung U , so läuft eine elektrische Welle über die Schienen. Die Kapazität des Gebildes ist für die Längeneinheit $C \approx \Delta \frac{h}{a}$ („Kapazitätsbelag“), die Induktivität

für die Längeneinheit $L \approx \Pi \frac{a}{h}$ („Induktivitätsbelag“). Die Wanderwelle hat die Phasengeschwindigkeit

$$\frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{\Pi \Delta}} = 299\,790 \frac{\text{km}}{\text{sek}} \equiv c.$$

Zu der angelegten Spannung U gehört ein ganz bestimmter Wellenstrom I . Es ist nämlich

$$\frac{U}{I} = \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{a}{h} \sqrt{\frac{\Pi}{\Delta}}$$

der „Wellenwiderstand“ der Leitung. Er ist um so größer, je länger die elektrischen Kraftlinien (a) und je kürzer die magnetischen Kraftlinien sind (h). Oder es ist der Wellenwiderstand für die Feldstärken

$$\frac{U:a}{I:h} = \frac{\text{elektrische Feldstärke}}{\text{magnetische Feldstärke}} = \sqrt{\frac{\Pi}{\Delta}} = 376,53 \text{ Ohm} \equiv F.$$

Ist z. B. der Wellenwiderstand einer Freileitung $\sqrt{L/C} = 500 \text{ Ohm}$ und legt man 100 kV an, so führt die Wanderwelle einen Strom von 200 Amp.

Der Wellenwiderstand F ist ungefähr gleich dem Widerstand eines Konstantandrahtes von 1 mm Dicke und 600 m Länge. Wählt man eine andere Widerstandseinheit, so ändert sich natürlich auch die Maßzahl für den Wellenwiderstand F . Er wird aber immer noch durch 600 m Konstantendraht dargestellt. Wir sagen: Nur die „Maßzahl“ für F , nicht die „Größe“ F habe sich geändert. F sei eine „konstante Größe“, genau ebenso wie die Lichtgeschwindigkeit c .

Die Lichtgeschwindigkeit $c \approx 3 \cdot 10^5 \text{ km/sek}$ und der Wellenwiderstand $F \approx 377 \text{ Ohm}$ ersetzen offenbar vollkommen die Kapazitätskonstante Δ und die Induktivitätskonstante Π des leeren Raumes. Denn es folgt¹

$$\Delta = \frac{1}{F c} = 0,885\,90 \cdot 10^{-8} \frac{\text{sek}}{\text{km}} \frac{1}{\text{Ohm}},$$

$$\Pi = \frac{F}{c} = 1,2560 \cdot 10^{-3} \frac{\text{sek}}{\text{km}} \text{ Ohm}.$$

3. Wunscheinheiten und verkörperte Einheiten. Das Meter hatte man sich so gewünscht, daß 10^7 Meter grade gleich der Länge des Erdmeridian-Quadranten würden. Das in Paris aufbewahrte Urmeter erfüllt aber diesen Wunsch nicht genau, es ist fast um 0,2 mm zu kurz geraten. Doch verlängert man darum das Meter nicht. Man kümmert sich nicht weiter um den Erdquadranten, wenn man irgendwelche anderen Längen mißt. Ähnlich ist es mit den elektrischen Einheiten gegangen. Auch sie sollten allerlei Wünsche erfüllen, konnten aber nur nach dem damaligen Stande der Meßgenauigkeit verkörpert werden (durch Silbercoulombmeter, Quecksilbersäule und Westonelement). Als eine höhere Meßgenauigkeit erreicht war, zeigte sich sofort, daß die Wünsche nur unvollkommen verkörpert waren. Das tat jedoch der Brauchbarkeit der verkörperten Einheiten nicht den geringsten Abbruch. Nebenbei sei bemerkt, daß man heute wünscht, man hätte damals anders gewünscht².

¹ Vgl. G. MIE: Elektrodynamik, S. 484. Leipzig 1932.

² Kann man überhaupt ein System aus Einheiten bilden, die erstens weder Riesen-, noch Zwerg-einheiten sind und bei denen zweitens gewisse Naturkonstanten ganze Potenzen von 10 werden, so daß diese Konstanten keine zusätzlichen Ziffernmultiplikationen und -divisionen verursachen? Um diese Frage zu beantworten, betrachte man etwa das System, das durch die folgenden vier Einheiten bestimmt ist: Geschwindigkeitseinheit = $10^{-7} \times$ Lichtgeschwindigkeit, Beschleunigungseinheit = $10^{-3} \times$ Fallbeschleunigung, Einheit der Massendichte = $10^{-3} \times$ Massendichte des Wassers, Widerstandseinheit = $10^{-2} \times$ Wellenwiderstand. Daraus kann man unter andern die folgenden Einheiten ableiten, die man verkörpern kann:

$$3,056\,97 \cdot 10^{-3} \text{ sek}$$

$$29,189\,1 \text{ Volt}$$

$$9,164\,35 \text{ cm}$$

$$7,752\,06 \text{ Amp.}$$

Auch aus diesen Einheiten kann man die übrigen ausrechnen, z. B. $0,754\,791 \cdot 10^6 \text{ Dyn}$; $0,691\,717 \text{ Joule}$; $226,276 \text{ Watt}$; $0,769\,673 \text{ g}$.

Die bestehenden Systeme kranken vor allem daran, daß die Sekunde als systemerzeugende Einheit zu lang ist. Eine bequemere Gebrauchseinheit als das Meter ist der (natürlich dezimal zu teilende) Fuß (und gar erst der Kubikfuß gegenüber dem Kubikmeter).

Wie man sieht, steht es um die elektrischen Einheiten nicht schlecht. Sie sind mit großer Genauigkeit reproduzierbar. Glücklicherweise werden außerdem in allen Ländern dieselben elektrischen Einheiten benutzt — im Gegensatz zu den Einheiten für Längen und Gewichte. Die Beziehungen der elektrischen Einheiten zu den Naturgesetzen sind von durchsichtiger Einfachheit. Von Komplikation ist nichts zu bemerken. Weshalb sollte man sich über die elektrischen Einheiten den Kopf zerbrechen?

4. Verkörperte Einheiten aus der theoretischen Elektrizitätslehre verbannt. Das Bild sieht jedoch ganz anders aus, wenn man das Laboratorium verläßt und das schwere Geschütz der Analysis gegen die elektromagnetischen Erscheinungen aufführt. Zunächst kann man den Einheiten Volt, Ampere, ... immer noch nicht ihre niedere Herkunft vergessen. Sind sie doch vor einem halben Jahrhundert als Bastarde des absoluten elektromagnetischen cgs-Systems der British Association auf die Welt gekommen. Daß sie von diesen cgs-Einheiten längst unabhängig geworden sind, hat ihrer wissenschaftlichen Reputation nicht viel genutzt¹.

Noch ein anderer Umstand hat es den Einheiten Volt, Ampere, ... erschwert, in die Theorie einzudringen: Die Dimensionen der elektrischen und der magnetischen Größen galten fast bis in die Gegenwart als vogelfrei. Zwar ist niemand auf den Gedanken gekommen, eine Geschwindigkeit nach Ohm zu messen (etwa: Lichtgeschwindigkeit = 30 Ohm!), was wohl auch kaum Anklang gefunden hätte. Aber umgekehrt: einen Widerstand durch eine Geschwindigkeitseinheit, eine Induktivität oder eine Kapazität durch eine Längeneinheit ausdrücken, — das erregte nicht den geringsten Anstoß. Dabei haben diese Längeneinheiten eine schwankende Bedeutung. Z. B. hält HEAVISIDE für die Induktivität ein 12,57 mal so „langes“, für die Kapazität ein 12,57 mal so „kurzes“ „Zentimeter“ in Bereitschaft, nämlich das erste = $\text{cm} \times II$, das zweite = $\text{cm} \times I$ (wobei cm ein gewöhnliches Längen-Zentimeter bedeutet).

5. Koeffizienten in den Zahlenwertgleichungen. Der entscheidende Grund dafür, daß die Theoretiker die Einheiten Volt, Ampere, ... bis heute ablehnen, ist aber ein anderer. Man denke sich einmal für jede Größenart eine willkürliche Einheit festgesetzt ohne Rücksicht darauf, welche Einheiten für die andern Größenarten festgesetzt worden sind. Werden nun die Formeln für die zu diesen Einheiten gehörigen Maßzahlen aufgeschrieben, so enthält jede Formel im allgemeinen einen Koeffizienten, der mit den Naturgesetzen nichts zu tun hat und nur davon abhängt, welche Einheiten man gewählt hat. Dieselben Koeffizienten könnten natürlich auch noch bei unendlich vielen andern Sätzen von Einheiten auftreten. Auf diese Koeffizienten richtet sich nun eigentlich das Interesse der Theoretiker. Die Theoretiker sprechen zwar oft von den Einheiten, die sie „zugrunde legen“. Sie denken aber in Wahrheit nur an die Koeffizienten. Nun sind zwar die Koeffizienten durch die Einheiten vollständig bestimmt, aber nicht umgekehrt die Einheiten durch die Koeffizienten. Wenn die Koeffizienten gegeben sind, kann man zwar nicht alle, aber immer noch mindestens eine Einheit ganz beliebig wählen.

Die verschiedenen elektrischen „Maßsysteme“, von denen so oft gesprochen wird, sind also in Wahrheit nicht Einheiten-Systeme, sondern Koeffizienten-Systeme. Es denkt auch niemand daran, die Einheiten eines solchen „Maßsystems“ zu verkörpern, sondern man bleibt bei den imaginären Wunscheinheiten stehen, von deren Größe man überdies gewöhnlich kaum eine rechte Vorstellung hat.

Die Formeln für die zu den Einheiten Volt, Ampere, ... gehörigen Maßzahlen enthalten unbequeme Koeffizienten. Deswegen lehnen fast alle Theoretiker diese Einheiten ab, obgleich allein nach Volt, Ampere, ... gemessen wird. Andererseits sind die Naturgesetze von den Einheiten unabhängig. Eine noch so mißliche Wahl der Einheiten kann die Naturgesetze nicht komplizierter machen. Die imaginären Wunscheinheiten, die in den theoretischen Darstellungen an Stelle der verkörperten Einheiten

¹ W. JAEGER: Die Entstehung der internationalen Maße der Elektrotechnik, S. 4, 8, 13, 30, 42, 79. Berlin: Julius Springer 1932.

auftreten, müssen je länger um so mehr als eine Wunderlichkeit empfunden werden. Obendrein sind sie auch eine ganz überflüssige Plage für die lernende Jugend.

Welche unerwünschten Wirkungen eine zu weitgehende Beseitigung der Koeffizienten haben kann, zeigt das folgende Beispiel. Bei H. HERTZ wird der Wellenwiderstand in der Form

$$1 \times \frac{300 \text{ Volt/cm}}{0,796 \text{ Amp/cm}} = 1 \times 1$$

zum Verschwinden gebracht, bei H. A. LORENTZ in der Form

$$1 \times \frac{1063 \text{ Volt/cm}}{2,821 \text{ Amp/cm}} = 1 \times 1.$$

Damit ist dann auch der Begriff des Wellenwiderstandes in den Einheiten verlorengegangen. Deshalb wird in allen Darstellungen, die mit diesen Einheiten rechnen, von ihm nicht gesprochen.

Die Einheit der elektrischen Spannung kann nur irgendeine Anzahl von Volt sein. Bei HERTZ und bei LORENTZ entsteht aber der Schein, als hätte die elektrische Spannung die Dimension

$$\text{Volt} \times \sqrt{\frac{\text{sek}}{\text{cm Ohm}}} \left(= \sqrt{\frac{\text{Wattsek}}{\text{cm}}} \right).$$

Die Dimensionen der elektrischen Größen galten eben als vogelfrei.

6. Größengleichungen. J. WALLOT hat das große Verdienst, gezeigt zu haben, wie man die verkörperten Einheiten benutzen und dennoch zu Formeln mit einfachen Koeffizienten gelangen kann, ja darüber hinaus, daß diese Formeln für alle Einheiten gelten, daß man also bei ihnen die Einheiten beliebig, sogar ganz systemlos wählen darf. Durch welches Zaubermittel erreicht WALLOT dieses erstaunliche und erfreuliche Ergebnis? Für jeden Buchstaben setzt er nicht eine Maßzahl ein, sondern das „Produkt“ aus einer Maßzahl und aus einer Einheit. Für die gesuchte Größe erhält er dann nicht nur eine Maßzahl, sondern auch die Einheit, die zu dieser Maßzahl gehört. In der Mechanik wird dieses Mittel längst allgemein benutzt, auch in einem Teilgebiet der Elektrizitätslehre, etwa im Bereich des OHMSchen und des JOULESchen Gesetzes. Aber auf dem eigentlichen elektromagnetischen Gebiet schien dieses Verfahren undurchführbar. Doch hat WALLOT gezeigt, daß man die elektromagnetischen „Größengleichungen“ sogar mit sehr einfachen Koeffizienten schreiben kann, z. B. genau ebenso wie HEAVISIDE. Allerdings hat HEAVISIDE seine Gleichungen immer als „Zahlenwertgleichungen“ aufgefaßt. Diesen Gleichungen zuliebe wären die gebräuchlichen Einheiten durch „rationale“ Einheiten ersetzt worden, wenn es nach seinem Wunsch gegangen wäre.

Die Größengleichungen genügen aufs vollkommenste den Ansprüchen sowohl des Theoretikers, wie des Experimentators. In den Veröffentlichungen des AEF ist das Verfahren ausführlich erläutert¹. Wir brauchen hier nicht darauf einzugehen.

7. Gibt es im leeren Raum zwei oder vier Felder? Jedoch hat man an der besonderen HEAVISIDESchen Form der Größengleichungen Anstoß genommen. Nach HEAVISIDE gilt in der Materie

$$\mathfrak{D} = \Delta \epsilon \mathfrak{E} \quad \text{und} \quad \mathfrak{B}' = \Pi \mu \mathfrak{H}.$$

(Wir verwenden andere Buchstaben als HEAVISIDE.) Im leeren Raume ist $\epsilon = \mu = 1$, folglich $\mathfrak{D} = \Delta \mathfrak{E}$ und $\mathfrak{B} = \mathfrak{B}' = \Pi \mathfrak{H}$. Man hat demnach im leeren Raume zwei elektrische Felder $\mathfrak{E}$ und $\mathfrak{D}$, je nachdem man den elektrischen Zustand aus Spannungsmessungen oder aus Ladungsmessungen ermittelt. Ähnlich hat man zwei magnetische Felder im leeren Raume: $\mathfrak{B}$, ermittelt aus elektrischen Spannungsstößen, und $\mathfrak{H}$, ermittelt aus elektrischen Strömen.

Manche Theoretiker halten das für eine Irreführung. Es gebe im leeren Raume nur ein einziges elektrisches Feld, das man allerdings auf zweierlei Weise messen

¹ Elektrotechn. Zeitschr. 1927, 426 bis 432; 1930, 586 bis 590 und 622 bis 624.

könne, und ebenso nur ein einziges magnetisches Feld. In der Materie seien die beiden elektrischen Felder nur verschieden gebildete Mittelwerte eines einzigen Feldes; sie müßten also dieselbe Dimension haben. (Ebenso die beiden magnetischen Felder.)

Der Unterschied trifft wohl mehr die Ausdrucksweise als die Sache. Er ist mehr philologischer als physikalischer Natur.

8. „Didaktische“ Schreibweise der Größengleichungen. Wenn aber jemand darauf besteht, im leeren Raum nur von einem einzigen elektrischen und einem einzigen magnetischen Felde zu sprechen, so ist er dadurch keineswegs genötigt, auf die Größengleichungen zu verzichten. Er muß sie nur ein wenig anders schreiben, als HEAVISIDE seine Zahlenwertgleichungen geschrieben hat. Und zwar muß er unter der Verschiebung $\mathfrak{D}$ und unter der magnetischen Feldstärke $\mathfrak{H}$ etwas andres verstehen als HEAVISIDE, nämlich unter $\mathfrak{D}$ HEAVISIDES $\mathfrak{D}/\Delta$ und unter $\mathfrak{H}$ HEAVISIDES $\Pi \mathfrak{H}$. Man setze also bei HEAVISIDE überall $\mathfrak{D} = \Delta \mathfrak{D}'$ und $\mathfrak{H} = \mathfrak{H}'/\Pi$ und lasse nachträglich die Striche wieder weg.

Nicht betroffen werden von dieser Änderung die folgenden Gleichungen:

$$\varrho \mathfrak{G} = \mathfrak{E} + \mathfrak{E}^e, \quad \mathfrak{B} = \mathfrak{B}' + \mathfrak{M}, \quad \oint \mathfrak{B}' d\mathfrak{f} = - \oint \mathfrak{M} d\mathfrak{f},$$

(ϱ = spezifischer Widerstand, $\mathfrak{G}$ = Stromdichte, $\mathfrak{M}$ = permanente Magnetisierung)

Induktionsfluß = $\Phi = \int \mathfrak{B} d\mathfrak{f}$, eingeprägte elektromotorische Kraft = $E = \int \mathfrak{E}^e dr$.

Induktionsgesetz:
$$\sum_{\circ} (R_{\nu} I_{\nu} - E_{\nu}) = - \frac{d\Phi}{dt}.$$

Verschiebungsfluß = $\Omega = \int \mathfrak{D} d\mathfrak{f}$, Durchflutung = $\Theta = \int \mathfrak{G} d\mathfrak{f}$, Magnetomotorische Kraft von permanenten Magneten = $M = \int \mathfrak{H}^e dr$, Magnetische Spannung = $P\Phi - M = \int \mathfrak{H} dr$ (P = „magnetischer Widerstand“). Elektrische Gefällskraft und magnetische Wirbelkraft für die Volumeneinheit:

$$\mathfrak{N}_1 = - \frac{1}{2} \Delta \mathfrak{E}^2 \text{ grad } \varepsilon + [\mathfrak{G} \mathfrak{B}'].$$

Bei der HEAVISIDESchen Schreibweise lauten alle diese Gleichungen genau ebenso. Alle folgenden Beziehungen sind anders als bei HEAVISIDE:

$$\mathfrak{D} = \varepsilon \mathfrak{E}, \quad \mathfrak{B}' = \mu \mathfrak{H}, \quad \mathfrak{M} = \mu \mathfrak{H}^e, \quad \oint \mathfrak{D} d\mathfrak{f} = Q/\Delta \quad (\text{POISSONSche Gleichung}).$$

Durchflutungsgesetz:
$$\sum_{\circ} (P_{\nu} \Phi_{\nu} - M_{\nu}) = \Pi \Theta + \frac{1}{c^2} \frac{d\Omega}{dt}.$$

Energiedichte und Strahlvektor: $2w_e = \Delta \mathfrak{D} \mathfrak{E}, \quad 2w_m = \frac{\mathfrak{B} \mathfrak{H}}{\Pi}, \quad \mathfrak{S} = \frac{[\mathfrak{E} \mathfrak{H}]}{\Pi}.$

Elektrische und magnetische Quellenkraft und magnetische Gefällskraft für die Volumeneinheit:

$$\mathfrak{N}_2 = \Delta \mathfrak{E} \text{ div } \mathfrak{D} + \frac{\mathfrak{H}}{\Pi} \text{ div } \mathfrak{B}' - \frac{\mathfrak{H}^2}{2\Pi} \text{ grad } \mu.$$

Ebene geradlinig polarisierte Wanderwelle:

$$\mathfrak{E} = \frac{\mathfrak{D}}{\varepsilon} = j E_0 f(x - vt)$$

$$\mathfrak{B} = \mu \mathfrak{H} = k \frac{E_0}{v} f(x - vt)$$

$$\mathfrak{S} = i \frac{E_0^2}{I_1} \{f(x - vt)\}^2$$

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon \mu}}$$

$$I_1 = I \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}$$

i, j, k zueinander rechtwinklige Einheitsvektoren.

Bei dieser Schreibweise treten die Vakuumkonstanten Δ und Π an ihrem wahren Entstehungsort auf, nämlich Δ in der Poissonschen Gleichung und Π im Durchflutungsgesetz. Man erkennt also, wie diese Konstanten gemessen werden. Deswegen kann man diese Schreibweise der Größengleichungen passend die „didaktische“ nennen. Sie entspricht der Auffassung der Elektronentheorie, daß ε und μ durch Elektronenbewegungen vorgetäuscht werden, während die HEAVISIDESche Schreibweise der

MAXWELLSchen Auffassung entspricht, daß die Beziehung zwischen den beiden elektrischen Vektoren und die Beziehung zwischen den beiden magnetischen Vektoren in Parallele zu setzen seien zum HOOKEschen Gesetz, das den Verzerrungstensor mit dem Spannungstensor verknüpft. Vom MAXWELLSchen Standpunkt sollte man statt der Produkte $\varepsilon \Delta$ und $\mu \Pi$ je einen einzigen Buchstaben schreiben („absolute Dielektrizitätskonstante“ und „absolute Permeabilität“) und daher statt Δ und Π etwa mit HEAVISIDES ε_0 und μ_0 . Vom Standpunkt der Elektronentheorie hat Δ mit ε und Π mit μ nichts zu tun.

Um zur HEAVISIDESchen Schreibweise zurückzukehren, muß man in den vorhergehenden Formeln überall $\mathfrak{D}/\Delta$ statt $\mathfrak{D}$ und $\mathfrak{H}/\Pi$ statt $\mathfrak{H}$ schreiben.

Bei unsern Größengleichungen darf man für jede Größe die Einheit ganz beliebig wählen. Es wird aber empfehlenswert sein, sich an die verkörpert Einheiten zu halten. Dann wird man $\mathfrak{E}$ und $\mathfrak{D}$ etwa in Volt/cm, $\mathfrak{B}$ und $\mathfrak{H}$ in Voltsek/cm² = 10⁸ Gauß, $\Delta \mathfrak{D}$ in Ampsek/cm², $\mathfrak{H}/\Pi$ in Amp/cm angeben.

9. Größengleichungen in der Relativitätstheorie. Selbstverständlich brauchen die Größengleichungen vor der Relativitätstheorie nicht Halt zu machen. Wir können uns hier darauf beschränken, die „Materialgleichungen“ anzugeben, die bei der Körpergeschwindigkeit $v \neq 0$ komplizierter sind als bei $v = 0$. Zunächst werden zwei Hilfsvektoren $\mathfrak{E}'$, $\mathfrak{H}'$ bestimmt:

$$\begin{aligned}\varepsilon \mathfrak{E}' &= \mathfrak{D} + \frac{[v \mathfrak{B}]}{\mu} & \left[\frac{\text{Volt}}{\text{cm}} \right] \\ \mu \mathfrak{H}' &= \mathfrak{B} - \frac{[v \mathfrak{D}]}{c^2 \varepsilon} & \left[\frac{\text{Voltsek}}{\text{cm}^2} \right]\end{aligned}$$

und daraus mit $v = cq$ (meist $|q| < 10^{-6}$, also $q^2 < 10^{-12}$)

$$\begin{aligned}\mathfrak{E} &= \mathfrak{E}' - \frac{\varepsilon \mu - 1}{\varepsilon \mu - q^2} [q [\mathfrak{E}' q]] \approx \mathfrak{E}' & \left[\frac{\text{Volt}}{\text{cm}} \right] \\ \mathfrak{H} &= \mathfrak{H}' - \frac{\varepsilon \mu - 1}{\varepsilon \mu - q^2} [q [\mathfrak{H}' q]] \approx \mathfrak{H}' & \left[\frac{\text{Voltsek}}{\text{cm}^2} \right]\end{aligned}$$

In leitenden Körpern ist

$$\mathfrak{E} = e \frac{\mathfrak{G} - [q [\mathfrak{G} q]]}{\sqrt{1 - q^2}}. \quad \left[\frac{\text{Volt}}{\text{cm}} \right]$$

Die Ausdrücke in den doppelten eckigen Klammern sind die mit q^2 multiplizierten und daher stark verkleinerten Feldvektor-Komponenten in der Bewegungsrichtung, wenn die andere Komponente senkrecht zur Bewegungsrichtung gewählt wird.

Die Randintegrale der so bestimmten Vektoren $\mathfrak{E}$ und $\mathfrak{H}$ gehen in das Induktionsgesetz und Durchflutungsgesetz ein. Trägt man für $\mathfrak{E}$ und $\mathfrak{H}$ in diesen Gesetzen die Ausdrücke für $\mathfrak{E}'$ und $\mathfrak{H}'$ ein (was genau genug ist), so lassen sich die Versuche von H. A. WILSON und von A. EICHENWALD bequem deuten¹.

10. HEAVISIDESche oder „didaktische“ Schreibweise? (Im folgenden durch die Zeiger H und d unterschieden.) Sollte die „didaktische“ Schreibweise der Größengleichungen der HEAVISIDESchen nicht vielleicht auch für den praktischen Gebrauch überlegen sein? Die Umstellung von Δ ist für die Zahlenrechnung weder vorteilhaft, noch nachteilig. In Zahlentafeln, die aus Messungen entstanden sind, findet man kaum elektrische Verschiebungen oder Verschiebungsflüsse, sondern Spannungen und Ladungen oder Feldstärken und Ladungsdichten.

Anders ist es mit der Umstellung von Π . Steht Π besser in der magnetischen Materialgleichung oder im Durchflutungsgesetz? Entscheidend sind hier die ferromagnetischen Körper. Bei diesen ändern sich $\mathfrak{H}$ und $\mathfrak{B}$ nicht proportional, sondern $\mathfrak{H}$ ist eine empirische Funktion von $\mathfrak{B}$. Bei Elektromagneten soll aus dem Induktionsfluß die Durchflutung gefunden werden, die ja zu der magnetischen Randspannung in einem festen Verhältnis steht. Die Zahlenrechnung wird am bequemsten, wenn die magnetische Randspannung mit derselben Einheit gemessen wird wie die Durchflutung, die magnetische Feldstärke also mit derselben Einheit wie ein Strombelag (etwa Amp/cm).

¹ Siehe z. B. G. MIE: Elektrodynamik, S. 47 bis 70 und 252 bis 258. Leipzig 1932.

Hier ist also $\mathfrak{H}_H = \mathfrak{H}_d / \Pi$ vorteilhafter. Wenn man aber an den die empirische Funktion darstellenden Kurven nicht $\mathfrak{H}_H$, sondern $\mathfrak{H}_d = \Pi \mathfrak{H}_H$ abliest (Magnetisierungskurven der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt), so gelangt man erst nach einer parasitären Division mit Π zur Durchflutung.

Bei den nicht-ferromagnetischen Körpern (Luftspalte) ist $\mathfrak{H}_H = \mathfrak{H}_d / \Pi = \mathfrak{B} / \Pi$. Die Division mit Π ist hier in jedem Fall unvermeidlich.

Umgekehrt ist es bei permanenten Magneten (Durchflutung = 0). Bei ihnen mißt man unmittelbar $\mathfrak{H}_d = \Pi \mathfrak{H}_H$. In der Beziehung $\mathfrak{M} - \mathfrak{B} = \mu (-\mathfrak{H}_d)$ sind bei permanenten Magneten μ und $\mathfrak{M}$ konstant, z. B. $\mu = 20$, $|\mathfrak{M}| = \mu \Pi |\mathfrak{H}_H^e| = 7000$ Gauß, $|\mathfrak{M}| : \mu = \Pi |\mathfrak{H}_H^e| = 350$ Gauß. Es wird niemand einfallen, durch eine parasitäre Division mit Π die Werte von $\mathfrak{H}_H = \mathfrak{H}_d / \Pi$ auszurechnen (im Beispiel: $|\mathfrak{H}_H^e| = 279$ Amp/cm).

Elektromagnetische Kreise müssen viel öfter berechnet werden als permanentmagnetische. Daher wird man die HEAVISIDESche Definition der magnetischen Feldstärke vorziehen. Die Theoretiker werden es gern sehen, daß dann beim POYNTINGschen Vektor der Nenner Π wegfällt. Die praktische Einheit für $\mathfrak{H}_H$ ist das Amp/cm, die unpraktische das Oersted = 0,796 Amp/cm. Die Einheit für $\Pi \mathfrak{H}_H$ und für $\mu \Pi \mathfrak{H}_H = \mathfrak{B}'$ ist das Gauß = 10^{-8} Voltsek/cm².

Ist es aber nicht bedauerlich, daß der Anblick der Gleichungen dann immer wieder die veraltete MAXWELLSche Analogie zum HOOKESchen Gesetz nahelegt? Man kann nicht hoffen, in absehbarer Zeit ε und μ aus Elektronenkonfigurationen und Elektronenbewegungen zu berechnen, sondern wird noch lange darauf angewiesen sein, die gemessenen Werte zu benutzen, also doch analog zum HOOKESchen Gesetz zu verfahren¹.

Zusammenfassend stellen wir folgende Thesen auf:

1. Die Naturgesetze sind unabhängig von den Einheiten. Darum sollte die theoretische Darstellung in einer von den Einheiten unabhängigen Form gehalten sein. Darum Größengleichungen!
2. Aus den Einheiten, in denen die gegebenen Größen ausgedrückt sind, entsteht durch Größengleichungen eine (vielleicht ganz ungebräuchliche) Einheit für die gesuchte Größe. Umrechnung der gesuchten Größe auf die gewünschte Einheit.
3. Man braucht die tatsächlich stets in Volt, Ampere, ... gemessenen oder gegebenen Größen nicht erst auf irgendwelche Wunschseinheiten umzurechnen, um bei der Anwendung der Theorie einfach, bequem und sicher numerisch rechnen zu können.
4. Mit einer „Theorie der Maßsysteme“ sollten die Studenten künftig in der theoretischen Elektrizitätslehre nicht mehr behelligt werden. Das wäre eine große Erleichterung ohne sachlichen Verlust.
5. Die „didaktische Schreibweise“ der Größengleichungen soll die HEAVISIDESche nicht verdrängen.

Kleine Mitteilungen.

Bestimmung der Erdbeschleunigung mit frei fallendem Stab.

Von Dr.-Ing. Helmut Löhner in Berlin (Heeres-Feuerwerkerschule).

A. Einleitung. Eine große Rolle im Dynamik-Unterricht spielt das Studium der freien Fallbewegung durch den Vorlesungsversuch und durch Schülerübungen. Der Schüler lernt die Fallgesetze als den wichtigsten Sonderfall einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung kennen. Es ist also notwendig, durch den Vorlesungsversuch den

¹ Bei der alten orthodoxen Schreibweise nach dem elektromagnetischen cgs-System hat man eine Mischung von $\mathfrak{D}_H$ mit $\mathfrak{H}_d$, wobei die Maßzahlen der Vakuumkonstanten durch π ausgedrückt werden: $\Gamma \approx 12 \pi \cdot 10^{10}$ Nanohm, $A \approx \frac{10^{-20}}{36 \pi} \frac{\text{sek}}{\text{cm}} \text{ Nanohm}$, $\Pi \approx 4 \pi \frac{\text{sek}}{\text{cm}} \text{ Nanohm}$. Besser wäre eine Mischung von $\mathfrak{D}_d$ mit $\mathfrak{H}_H$. Man sieht auch, wie es mit der angeblichen Dimensionslosigkeit von Π steht. Schon MAXWELL wußte, daß man in Wahrheit eine vierte Grundgröße braucht (Art. 623).

Beweis für die 3 Gesetze des freien Falls ($g = \frac{\Delta v}{\Delta t}$, $h = \frac{1}{2}gt^2$, $v = \sqrt{2gh}$) zu liefern und gleichzeitig zu zeigen, daß die Fallbeschleunigung $g = \text{const} = 9,81 \text{ m/sek}^2$ ist.

Die in Vorlesungen und Übungen durchgeführten Fallversuche lassen sich im wesentlichen in 3 Gruppen teilen: 1. die Versuche, bei denen die Fallbewegung verlangsamt wird; 2. die Versuche, bei denen g aus $h = \frac{1}{2}gt^2$ errechnet wird und schließlich 3. die Versuche, bei denen g aus $g = \frac{d^2h}{dt^2}$ bestimmt wird.

Zur ersten Gruppe gehören z. B. die Verfahren der GALILEISCHEN Fallrinne und der ATWOODSCHEN Fallmaschine. Beide eignen sich dazu, eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung vorzuführen. Sie fallen aber im Unterricht aus zum Nachweise der Fallgesetze und zur Bestimmung von g , weil im einen Falle der Schüler schon die Gesetzmäßigkeiten der schiefen Ebene und das Trägheitsmoment der rollenden Kugel kennen muß und im anderen Falle bereits die Zusammenhänge zwischen Kraft, Masse und Beschleunigung bzw. zwischen Gewicht, Masse und Erdbeschleunigung, und dazu das Trägheitsmoment der Rolle vorausgesetzt werden. Auch zeigen die gemessenen g -Werte große Streuungen wegen der schwer auszugleichenden Reibung. Es ist also notwendig, die Gesetze des freien Falls im Unterricht am frei fallenden Körper zu untersuchen.

Die zweite Gruppe von Fallversuchen arbeitet mit einem frei fallenden Körper. Gemessen wird in diesen Verfahren bei einem Fallversuch jeweils eine Fallzeit und eine Fallhöhe. Ein Versuch liefert somit nur einen Wert für g nach der Formel $h = \frac{1}{2}gt^2$. Zum Beweise der Konstanz von g müssen also mehrere Versuche durchgeführt werden. Die Meßgenauigkeit der einzelnen Verfahren ist sehr verschieden. Bei der WHITINGSCHEN Anordnung (Metallkegel fällt auf Pendelstange) ist der mittlere Fehler mindestens 2 bis 3%¹. Das Verfahren von W. BAHRDT (Körper fällt aus bekannter Höhe auf rotierendes Rad) ergab beim veröffentlichten Beispiel² g -Werte von 9,58 bis 9,95 m/sek², während das ähnliche Verfahren von G. NYMAN nach eigenen Angaben³ bei 9 Versuchen mit 1 bis 3 m Fallhöhe Werte für g zwischen 9,74 und 9,90 m/sek² bzw. einen mittleren Fehler des Mittelwertes von 0,17% ergab. Bei den Verfahren von O. MICHAELIS, W. VOLKMANN und J. NEUBERGER (Trommelchronograph, Funkeninduktor, Stimmgabel) ergibt sich bei 3,85 m Fallhöhe ein mittlerer Fehler von 0,1 bis 0,3%⁴. Ein von N. WOŁODKEWITSCH beschriebenes Verfahren⁵ (Klingeltransformator-Chronograph) ergab nach eigenen Angaben g -Werte von 9,30 bis 9,80 m/sek² bzw. einen Mittelwert von 9,60 m/sek² $\pm$ 0,55% (enthält also systematischen Fehler). Das Verfahren von H. NOTHMANN⁶ (g -Bestimmung aus Fallhöhe und Wurfweite) ergab bei 20 Versuchen g -Werte von 9,4 bis 10,07 m/sek² und einen Mittelwert von 9,65 m/sek². Zu erwähnen sind schließlich noch die Schauversuche von F. F. MARTENS⁷, bei denen eine Stahlkugel, die von bekannter Höhe auf eine Stahl- oder Glasplatte herabfällt, von der Platte einige Male reflektiert wird.

Bei der dritten Gruppe von Fallversuchen werden auf einem frei fallenden Stab oder einer Platte Zeitmarken notiert, aus denen Fallräume und Fallzeiten abgelesen werden können. Aus einem einzigen Fallversuch ergeben sich nach der Formel $g = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ 5 bis 15 Werte für die Fallbeschleunigung. Leider ist bei diesen Versuchen

¹ Nach H. HAHN: Handbuch für physikalische Schülerübungen, 3. Aufl., S. 138. 1929.

² W. BAHRDT: Zeitschr. phys.-chem. Unt. 24, 205 (1911).

³ G. NYMAN: Zeitschr. phys.-chem. Unt. 39, 278 (1926).

⁴ O. MICHAELIS, W. VOLKMANN u. J. NEUBERGER: Zeitschr. phys.-chem. Unt. 35, 10 und 13 (1922); 39, 71 (1926).

⁵ N. WOŁODKEWITSCH: Zeitschr. phys.-chem. Unt. 42, 109 (1929).

⁶ H. NOTHMANN: Zeitschr. phys.-chem. Unt. 47, 8 (1934).

⁷ F. F. MARTENS: Zeitschr. phys.-chem. Unt. 42, 61 (1929).

die Genauigkeit eine erheblich geringere, die Streuung der g -Werte eine fast unerträglich große, da es sich bei diesen Verfahren ja um die Bestimmung eines zweiten Differentialquotienten handelt: $g = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2h}{dt^2}$.

Bei dem GRIMSEHLSchen Fallversuch¹ (auf frei oder in Führung fallende berußte Platte schreibt eine Stimmgabel) hat man mit mittleren Fehlern von 3 bis 6% zu rechnen, selbst bei sorgfältiger Durchführung des Versuches. Auch bei dem POHLschen Fallversuch² (frei fallender Stab und Tintenspritzer auf Elektromotor) hat man im allgemeinen immerhin mit mittleren Fehlern der Mittelwerte von 3 bis 5% zu rechnen. (Ein angegebenes Beispiel ergab g -Werte von 8,75 bis 11,25 m/sek² und einen Mittelwert von 9,75 m/sek² $\pm$ 3%.)

Die relativ großen Fehlergrenzen bei den Verfahren von E. GRIMSEHL und R. W. POHL rühren davon her, daß die Fallräume zwischen den Zeitmarken nicht mit der Genauigkeit gemessen werden können, die bei den kurzen Fallzeiträumen (Δt etwa 0,02 sek im allgemeinen) notwendig ist, wenn man g als zweiten Differentialquotienten berechnen will.

Das im folgenden beschriebene Verfahren, das zur dritten Gruppe zu zählen ist, beseitigt nun diesen Fehler. Bei diesem neuen Fallapparat ist es möglich, die einzelnen Fallräume Δh auf $\frac{1}{10}$ mm abzulesen (Bruchteile von $\frac{1}{10}$ mm können geschätzt oder mit optischem Gerät ermittelt werden). Diese genaue Vermessung von Δh ist möglich, weil die Zeitmarken — von einem Roßhaar in Ruß gezeichnet — nur etwa $\frac{1}{20}$ mm stark sind.

Das Verfahren gestattet aber auch ohne weiteres die Prüfung aller 3 Fallgesetze. Die Berechnung von g ergab bei den 3 verschiedenen Formeln folgende Fehlergrenzen:

1. Aus $g = \frac{\Delta v}{\Delta t}$: $\mu = \pm 0,1$ bis 1% je nach Größe von Δt .
2. Aus $g = \frac{2h}{t^2}$: $\mu = \pm 0,01\%$ (9,810 bis 9,817 m/sek²).
3. Aus $g = \frac{v^2}{2h}$: $\mu = \pm 0,1\%$ (9,765 bis 9,832 m/sek²).

B. Genaue Messung der Fallhöhe. Das im Unterricht an der Feuerwerkerschule neuerdings zur Herleitung der Gesetze des freien Falls und zur g -Bestimmung in Anwendung gebrachte Versuchsvorgehen sei im folgenden kurz beschrieben. An einem Elektromagneten M (Fig. 1) hängt ein Fallstab F , ein berußter Messingstab mit Weicheisenspitze. Wird der den Elektromagneten M durchfließende Strom durch Betätigung eines Tasters T unterbrochen, so fällt der Fallstab F senkrecht frei herab. Auf der Achse eines kleinen Experimentiermotors E ist eine runde Scheibe S angebracht, auf der mit einer kleinen Schraube ein kurzes Roßhaar R so befestigt ist, daß das Roßhaar wenige Millimeter über den Rand der Scheibe hinausragt (Fig. 1 und 3).

Die Entfernung des Fallstabes von der rotierenden Scheibe wird nun so eingestellt, daß das Roßhaar den berußten Fallstab gerade noch trifft oder berührt und dabei in die Rußschicht einen feinen Strich zeichnet. Nun bringt man den Motor auf die gewünschte Drehzahl, z. B. 3000/min, und läßt den Stab durch Unterbrechung des Magnetstroms herabfallen. Während der Stab an der rotierenden Scheibe vorbeifällt, zeichnet das Roßhaar eine Reihe feiner Striche in die Rußschicht. Diese feinen

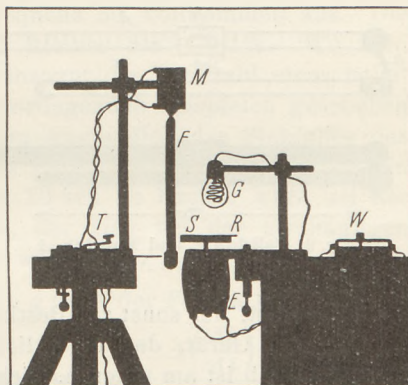


Fig. 1. Meßanordnung, schematisch.

¹ Ausführliche Beschreibung des Versuches bei FRIEDRICH C. G. MÜLLER: Die Technik des physikalischen Unterrichts, 2. Aufl., S. 65. 1926.

² R. W. POHL: Einführung in die Mechanik und Akustik, S. 17. — H. HOMANN: Zeitschr. phys.-chem. Unt. 39, 97 (1926). — HERMANN LORENZ: Zeitschr. phys.-chem. Unt. 43, 9 (1930).

Striche sind die „Zeitmarken“, ihre Entfernungen voneinander sind die „Fallräume“ Δh bzw. ihre Entfernungen vom Nullstrich die „Fallhöhen“, die zur Berechnung von g dienen.

Der Vorteil der Verwendung des Roßhaares als Zeitschreiber besteht darin, daß die Zeitmarken, die Striche des Roßhaares in der Rußschicht, nur etwa 0,05 mm dick sind. Nur die „Nullmarke“, der Strich, den das Roßhaar zeichnet, so lange der Stab noch hängt, ist etwa 0,2 mm dick, da dieser Strich ja nicht nur ein Strich ist, sondern die Summe aus hunderten von Roßhaarstrichen bildet. Durch diese Feinheit der Zeitmarken ist es möglich, die Fallhöhen h und die Fallräume Δh mit

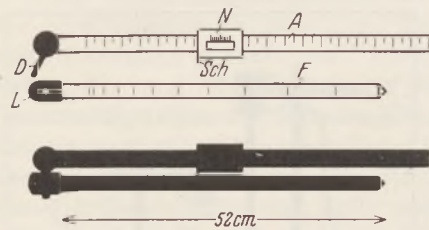


Fig. 2. Fallstab F und Maßstab A mit Nonius N .

$1/10$ mm Genauigkeit zu messen und unter Umständen sogar noch Bruchteile von $1/10$ mm zu schätzen oder optisch zu messen.

Die Messung der Fallhöhen kann sehr bequem, rasch und genau mit einem Kathetometer erfolgen. Im vorliegenden Fall ergab sich aber noch eine weitere sehr praktische Möglichkeit zur Messung der Fallhöhen, die sehr empfehlenswert ist. Als Fallstab F wurde der „Zeitmesserstab“ des „Flugzeitenmessers nach LE BOULENGÉ“ (Zeiss-Ikon,

Hahn) benutzt, der sonst zur Bestimmung der Anfangsgeschwindigkeiten der Geschosse dient — ein Gerät, das eigentlich auf keiner höheren Schule fehlen sollte. Dieser Zeitmesserstab ist am unteren, dicken Ende mit einer Bohrung L (Fig. 2) versehen. In diese Bohrung paßt genau ein Dorn D , der drehbar an einem Maßstab A befestigt ist. Der Maßstab trägt einen Nonius N mit einer Schneide Sch , die bei der Messung genau auf die Zeitmarke zu stellen ist.

Die Zeitmessung ist bei diesem Verfahren genau wie bei einigen früheren (z. B. dem von R. W. POHL) in Wirklichkeit eine Drehzahlmessung, denn aus der Drehzahl des Motors im Augenblick des Herabfallens des Fallstabes ergibt sich der zeitliche Abstand der Roßhaarstriche. Die Drehzahlmessung kann z. B. mit einem technischen Drehzahlmesser geschehen. Besser ist es aber im Interesse der Genauigkeit des Versuchs, einen kleinen Synchronmotor zu verwenden, der an das meist 50-periodige Wechselstromnetz der Stadt angeschlossen werden kann. An Stelle eines Synchronmotors kann man auch, wie es im vorliegenden Falle geschah, einen regelbaren Motor nehmen und die Drehzahl stroboskopisch mit einer an das Stadtnetz angeschlossenen Glühlampe messen, d. h. die Drehzahl

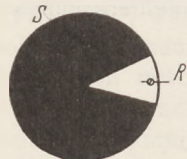


Fig. 3. Stroboskopische Scheibe S mit Roßhaar R .

langsam so lange erhöhen, bis das weiße Segment auf der schwarzen Scheibe S (Fig. 3) in der Beleuchtung der Glühlampe stillzustehen scheint. Noch genauer wird die Zeitmessung, wenn man die Glühlampe an Gleichstrom anschließt und durch eine elektrisch erregte Stimmgabel den Gleichstrom im Takte der genau bekannten, nötigenfalls geeichten Stimmgabelschwingung unterbrechen läßt.

Die Aufhängung des Fallstabes F geschah genau wie bei der Verwendung des Stabes als Zeitmesserstab des Flugzeitenmessers mit der Eisenspitze am ebenfalls zugespitzten Eisenkern des Elektromagneten M . Der nach der Ausschaltung des Magnetstromes nachbleibende remanente Magnetismus beeinflusst selbstverständlich in den ersten 2 bis 3 cm Fallweg noch die Fallbewegung. Wenn man aber zum Anhängen des Stabes den Magnetstrom so gering macht, daß der Stab eben noch hängen bleibt, ist diese Beeinflussung verschwindend klein und bringt keine Störung des Versuches¹. Um aber auch noch diese kleine Fehlerquelle zu vermeiden, wurde bei einem Teil der Versuche durch den gleichen Taster T , der den Magnetstrom ausschaltet, in die Magnetspule ein Wechselstrom eingeschaltet, dessen Frequenz

¹ Siehe auch W. BAHRDT: Zeitschr. phys.-chem. Unt. 24, 209 (1911). — ÖTTINGER u. J. WEISS: Zeitschr. phys.-chem. Unt. 24, 150 (1911).

etwa 30 bis 100mal so groß war wie die Drehzahl des Motors M beim Versuch. Selbstverständlich kann man ebensogut an Stelle der elektromagnetischen Aufhängung eine rein mechanische wählen, z. B. einen dünnen Faden, der im geeigneten Augenblick mit einer Stichflamme durchgebrannt wird oder mit einem Häkchen, das auf einer Rasiermesserschneide hängen kann, die dann rasch (z. B. durch Federkraft) schräg nach unten weggezogen wird.

C. Zeitmessung. 1. Mit Wechselstromnetz (50 Perioden) und Synchronmotor oder Stroboskop. Die Verwendung des 50-periodigen Wechselstromnetzes als Grundlage der Zeitmessung ist heute wohl in der Mehrzahl der Schulen möglich. Für Hörsaalvorführungen reicht die Genauigkeit der Frequenz 50 vollkommen aus. Die Fehlerquellen der Wechselstromfrequenz sind meist kleiner als $\pm 0,1\%$. Wo kein Synchronmotor zur Verfügung steht, kann man ebensogut die Drehzahl eines beliebigen Motors stroboskopisch regeln, wie das in den vorliegenden Beispielen geschehen ist. Dabei ist aber streng darauf zu achten, daß im Augenblick des Stabfalles das Segment bzw. die Segmente auf der Scheibe S auch genau „stillstehen“. Schon ein langsames „Wandern“ der Segmente, z. B. einmal in 10 sek im Kreise, wäre bei der Periode 50 ein „systematischer“ Fehler von 0,2%, der sich bei der zweimaligen Differentiation von h nach t für g noch verdoppeln würde.

Das Hauptinteresse liegt auf der Berechnung von g nach der Formel $g = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2h}{dt^2}$

oder $g = \frac{\Delta v}{\Delta t}$, wobei $v = \frac{\Delta h}{\Delta t}$, also $\Delta v = \Delta \left(\frac{\Delta h}{\Delta t} \right)$ und damit $g = \frac{\Delta \left(\frac{\Delta h}{\Delta t} \right)}{\Delta t} = \frac{\Delta (\Delta h)}{(\Delta t)^2}$ ist. Das bedeutet also eine zweimalige Differenzenbildung von h und Division durch das Quadrat von Δt .

In der folgenden Tabelle ist das Ergebnis eines Fallversuches mitgeteilt. Die Drehzahl war stroboskopisch mit Wechselstromnetz und Glimmlampe zu 50 je sek bestimmt worden. Die Zeit Δt ist somit 0,02 sek. Die Fallhöhen sind in Zentimetern angegeben. Die Nullstelle des Maßstabes liegt hier natürlich nicht bei der „Nullmarke“. Es war $h_0 = 0,915$ cm.

Tabelle I.

	$h + h_0$	Δh	$\Delta (\Delta h)$	Δt	$(\Delta t)^2$	g	f	f^2
0	0,915	—	—			—	—	—
1	1,235	—	—			—	—	—
2	1,935	0,700	—			—	—	—
3	3,020	1,085	0,385			962	22	484
4	4,505	1,485	0,400			1000	16	256
5	6,385	1,880	0,395			987	3	9
6	8,655	2,270	0,390			975	9	81
7	11,320	2,665	0,395			987	3	9
8	14,370	3,050	0,385	$\frac{1}{50}$ sek = 0,02 sek	0,0004	962	22	484
9	17,832	3,462	0,412			1030	46	2116
10	21,700	3,868	0,406			1015	31	961
11	25,955	4,255	0,387			967	17	289
12	30,590	4,635	0,380			950	34	1156
13	35,612	5,022	0,387			967	17	289
14	41,042	5,430	0,408			1020	36	1296
15	46,860	5,818	0,388			970	14	196

$$g_{\text{mi}} = 984 \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}; \quad \Sigma f^2 = 7626$$

Nach diesem Versuch ergibt sich somit die Erdbeschleunigung zu $g = 984 \pm 7 \text{ cm/sek}^2$, also mit einer Fehlergrenze von $\pm 0,7\%$. Sämtliche 13 Werte liegen zwischen 962 und 1030 cm/sek^2 .

Da man nicht weiß, wo sich im Augenblick des Fallbeginns das Roßhaar befindet, weiß man natürlich auch nicht, wie groß die Zeit ist, die zwischen dem Fallbeginn

und der ersten Zeitmarke liegt, so daß man die Höhendifferenz $h_1 - h_0$ zur g -Berechnung nicht mitverwerten kann. Der „Anfangspunkt“ der Fallbewegung ist zwar örtlich genau genug bekannt (Nullmarke), zeitlich aber nicht.

2. *Mit technischem Drehzahlmesser.* Gegenüber den guten Ergebnissen des eben beschriebenen Versuches erwies sich eine Messung mit einem technischen Drehzahlmesser als sehr mangelhaft. Allerdings wurde absichtlich ein Drehzahlmesser verwendet, wie er normalerweise gekauft wird, ohne besonders sorgfältige Eichung. Dabei ist außerdem noch zu bedenken, daß die Ablesegenauigkeit eines solchen Drehzahlmessers erheblich geringer ist als die Konstanz der Wechselstromfrequenz.

Das Meßergebnis war 924 ± 3 cm/sek². Fehlergrenzen also $\pm 0,3\%$, systematischer Fehler aber 6% ! Die Differenz zwischen dem wirklichen Wert für g und dem gemessenen ist eben zurückzuführen auf die Angaben des Drehzahlmessers, der an dieser Stelle z. B. 3% Fehler zeigt.

3. *Mit Stimmgabelstroboskop.* Die Stimmgabel ist ja schon seit langem ein beliebtes Gerät zur zuverlässigen Messung kurzer Zeiten. Für diese Fallversuche eignet sich nun die Stimmgabel als Grundlage der Zeitmessung ganz besonders gut. Bei dem im folgenden angegebenen Versuch wurde eine Stimmgabel mit 435 Schwingungen je Sekunde elektrisch erregt und zur Unterbrechung eines Gleichstroms verwendet, an dem eine Glühlampe angeschlossen war. Durch die 435 Unterbrechungen des Stromes in 1 sek wird also erreicht, daß die Glühlampe genau im Takte der Stimmgabelschwingung in 1 sek 435 mal aufleuchtet. Auf der Scheibe S waren 12 (später auch 16) Segmente angebracht, so daß bei „Stillstand“ der 12 Segmente $\Delta t = \frac{12}{435}$ sek = $0,027587$ sek war. Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse eines Versuches mit diesem Stimmgabelstroboskop (h in cm, t in sek).

Tabelle 2.

	$h + h_0$	Δh	$\Delta(\Delta h)$	Δt	$(\Delta t)^2$	g	f	f^2
0	3,460	—	—	$\frac{12}{435}$ = $0,0276$	$0,000761$	—	—	—
1	4,210	—	—			—	—	—
2	5,620	1,410	—			—	—	—
3	7,780	2,160	0,750			985,7	3	9,0
4	10,685	2,905	0,745			979,0	3,7	13,7
5	14,340	3,655	0,750			985,7	3	9,0
6	18,745	4,405	0,750			985,7	3	9,0
7	23,900	5,155	0,750			985,7	3	9,0
8	29,800	5,900	0,745			979,0	3,7	13,7
9	36,448	6,648	0,748			983,0	0,3	0,1
10	43,840	7,392	0,744			977,5	5,2	27,0

$$g_{\text{mi}} = 982,7 \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}; \quad \Sigma f^2 = 90,5$$

Es ergibt sich also nach diesem Versuch: $g = 982,7 \pm 1,3$ cm/sek², d. h. eine Fehlergrenze von nur $\pm 0,13\%$. Die 8 Einzelwerte schwanken zwischen 977,5 und 985,7 cm/sek².

D. Auswertungen des Fallversuches. 1. *Nach den Formeln:* $g = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ und $v = \frac{\Delta h}{\Delta t}$ bzw. $g = \frac{d^2 h}{dt^2}$. Unter C. sind in Tabelle 1 und 2 bereits zwei Beispiele für die Auswertung des Fallversuches nach den obigen Formeln ausgeführt. Es genügt also hier, noch auf eine weitere Möglichkeit zur Auswertung auf diesem Wege kurz hinzuweisen. Man kann an Stelle des Zeitraumes Δt ebensogut als Fallzeitraum das Doppelte, also $2 \cdot \Delta t$, oder das 3fache usw. verwenden. Man erhält dann zwar entsprechend weniger Werte, aber die Differenzen der einzelnen Werte gegeneinander werden dafür geringer. In Tabelle 3 ist das schon in Tabelle 2 gegebene Beispiel so ausgewertet worden, daß als Δh jeweils der Abstand der einen Strichmarke bis zur übernächsten verwendet wird. Dann ist $\Delta t = 2 \cdot \frac{12}{435}$ sek.

Tabelle 3.

	$h + h_0$	Δh	$\Delta(\Delta h)$	Δt	$(\Delta t)^2$	g	f	f^2
0	3,460	—	—	$2 \cdot \frac{12}{435} = 0,05517$	0,003044	—	—	—
1	4,210	—	—			—	—	—
2	5,620	—	—			—	—	—
3	7,780	3,570	—			—	—	—
4	10,685	5,065	—			—	—	—
5	14,340	6,560	2,990			982,0	0,7	0,49
6	18,745	8,060	2,995			983,7	1,0	1,00
7	23,900	9,560	3,000			985,2	2,5	6,25
8	29,800	11,055	2,995			983,7	1,0	1,00
9	36,448	12,548	2,988			981,2	1,5	2,25
10	43,840	14,040	2,985			980,3	2,4	5,76

$$g_{\text{mi}} = 982,7 \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}; \quad \Sigma f^2 = 16,75$$

Bei dieser Auswertung des Versuches mit $\Delta t = 0,05517$ sek ergibt sich also: $g = 982,7 \pm 0,8 \text{ cm/sek}^2$, das bedeutet eine Fehlergrenze von $\pm 0,08\%$, wobei die 6 Einzelwerte zwischen 980,3 und 985,7 cm/sek^2 liegen.

2. Auswertung nach der Formel $h = \frac{1}{2}gt^2$. Durch die Festlegung des Anfangspunktes der Bewegung durch die Roßhaarstriche bei hängendem Stabe wird auch die Auswertung der Messungen nach der Formel $h = \frac{1}{2}gt^2$ ermöglicht. Die Nullmarke hatte bei den vorliegenden Versuchen im allgemeinen eine Strichdicke von etwa 0,2 bis 0,4 mm. Die Fallhöhe läßt sich daher mit ausreichender Genauigkeit bestimmen. Dagegen ist die Fallzeit zunächst unbekannt, da man nicht weiß, an welcher Stelle der Kreisbahn das Roßhaar im Augenblick des Fallbeginns sich befand. Deshalb muß der Anfangszeitpunkt erst berechnet werden¹. Dies kann geschehen entweder nach der Formel $h = \frac{v}{2} \cdot t$, oder nach der Formel $h = \frac{1}{2}gt^2$ unter Verwendung des bei der ersten Auswertung nach $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ erhaltenen g -Wertes. Beide Berechnungen ergaben praktisch denselben Wert für die Fallzeit vom Anfangspunkt bis zu einer der ersten Zeitmarken. Im vorliegenden Beispiel ergab sich für die ersten 4,320 cm Fallweg, also bis zur 3. Zeitmarke, die Fallzeit 0,093766 sek. Damit wurde nun für die weiteren Fallhöhen g berechnet, wie es in der Tabelle 4 dargestellt ist (h cm, t sek).

Tabelle 4.

	$h + h_0$	h	t	t^2	$2h$	g	f	f^2
0	3,460	0	$\Delta t = \left\{ \begin{array}{l} 0,027587 \\ 0,093766 \end{array} \right\}$	—	—	—	—	—
1	4,210	—		—	—	—	—	—
2	5,620	—		—	—	—	—	—
3	7,780	4,320		—	—	—	—	—
4	10,685	7,225	0,121353	0,014727	14,450	981,2	0,1	0,01
5	14,340	10,880	0,148940	0,022183	21,760	981,0	0,3	0,09
6	18,745	15,285	0,176527	0,031161	30,570	981,0	0,3	0,09
7	23,900	20,440	0,204114	0,041663	40,880	981,2	0,1	0,01
8	29,800	26,340	0,231701	0,053686	52,680	981,7	0,4	0,16
9	36,448	32,988	0,259288	0,067229	65,976	981,5	0,2	0,04
10	43,840	40,380	0,286875	0,082297	80,760	981,3	0	0

$$g_{\text{mi}} = 981,3 \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}; \quad \Sigma f^2 = 0,40$$

¹ Siehe hierüber auch FRIEDRICH C. G. MÜLLER: Die Technik des physikalischen Unterrichts, 2. Aufl., S. 68. 1926.

Hiernach ergibt sich: $g = 981,3 \pm 0,1 \text{ cm/sek}^2$, also eine Fehlergrenze von nur $\pm 0,01\%$. Die 7 Einzelwerte liegen dabei zwischen 981,0 und 981,7 cm/sek^2 . Die Proportionalität von h zu t^2 ist durch die Gegenüberstellung von t^2 und $2h$ in der Tabelle für die Schüler besonders deutlich veranschaulicht.

3. *Auswertung nach der Formel $v = \sqrt{2gh}$.* Die Auswertung des Fallversuchs nach der Formel $v = \sqrt{2gh}$ ist unter Mitverwertung des Nullstrichs ermöglicht durch das mit t proportionale Anwachsen von v . Wir erhalten dadurch die genaue Geschwindigkeit an den einzelnen Zeitmarken als Mittelwert zwischen der zeitlich mittleren Geschwindigkeit $v' = \frac{\Delta h}{\Delta t}$ im Fallraum Δh vor der betreffenden Zeitmarke und v'' im Fallraum hinter der betreffenden Zeitmarke. Die einzelnen Fallräume werden ja in genau gleichen Zeiträumen Δt zurückgelegt. Es ist $v_h = \frac{v' + v''}{2}$, also $\left(\frac{v' + v''}{2}\right)^2 = 2gh$ oder $g = \frac{\left(\frac{v' + v''}{2}\right)^2}{2h}$. In Tabelle 5 ist der bereits angegebene Versuch auf diesem Wege ausgewertet worden, und zwar wieder wie zuvor vom 3. Zeitmarkenstrich ab.

Tabelle 5.

	$h + h_0$	h	Δh	Δt	$v' \text{ u. } v''$	$\frac{v' + v''}{2}$	$\left(\frac{v' + v''}{2}\right)^2$	$2h$	g	f	f^2
0	3,460	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	4,210	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	5,620	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	7,780	4,320	2,160	0,027587	78,32	91,850	8436,4	8,64	976,5	4,8	23,0
4	10,685	7,225	2,905		105,38	118,990	14159,0	14,45	980,0	1,3	1,7
5	14,340	10,880	3,655		132,60	146,175	21367,0	21,76	982,0	0,7	0,5
6	18,745	15,285	4,405		159,75	173,350	30050,5	30,57	983,2	1,9	3,6
7	23,900	20,440	5,155		186,95	200,425	40170,0	40,88	982,7	1,4	2,0
8	29,800	26,340	5,900		213,90	227,450	51733,5	52,68	982,5	1,2	1,5
9	36,448	32,988	6,648		241,00	254,550	64795,5	65,976	982,2	0,9	0,8
10	43,840	40,380	7,392		268,10	—	—	—	—	—	—

$$g_{\text{mi}} = 981,3 \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}; \Sigma f^2 = 33,1$$

Nach dieser Auswertung des Versuches ergibt sich $g = 981,3 \pm 0,9 \text{ cm/sek}^2$, also ein mittlerer Fehler des Mittelwertes $\mu = \pm 0,09\%$. Die 7 Einzelwerte liegen dabei zwischen 976,5 und 983,2 cm/sek^2 . Die Nebeneinanderstellung von $2h$ und $\left(\frac{v' + v''}{2}\right)^2$ zeigt dem Schüler eindrucksvoll das Anwachsen von v^2 proportional zu h .

E. Fehlergrenzen. Wie sich aus den Tabellen 1, 2 und 3 deutlich ergibt, ist bei der Auswertung nach $g = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ die Meßgenauigkeit in starkem Maße von der Drehzahl des Motors abhängig, d. h. also von der Größe von Δt . Die Fehlergrenzen sind um so größer, je kürzer die Zeitdifferenz Δt , d. h. je höher die Drehzahl des Motors ist. Es ist also vorteilhaft, die Drehzahl des Motors nicht zu hoch zu wählen. Die Kurve in Fig. 4 stellt die ungefähre Abhängigkeit des mittleren Fehlers μ des Mittelwertes von der Zeitdifferenz Δt dar, wie sie sich aus einer Reihe von Fallversuchen mit verschiedenen Motordrehzahlen ergab.

Bei Benutzung der Fallformel $h = \frac{1}{2} g t^2$ ergibt sich selbstverständlich ein erheblich kleinerer Fehler des Mittelwertes. Der mittlere Fehler ist hier im allgemeinen nur etwa $\mu = \pm 0,01\%$.

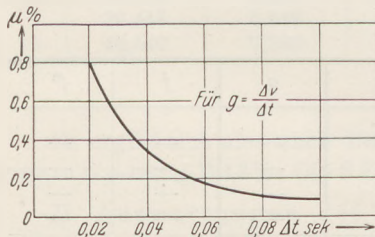


Fig. 4. Abhängigkeit der Fehlergrenzen von den Fallzeiträumen.

F. Zusammenfassung. 1. Die vorliegende Mitteilung gibt ein neues Verfahren zum Studium der Fallgesetze bzw. zur Bestimmung der Erdbeschleunigung.

2. Bei diesen Fallversuchen wird die Fallhöhe aus Zeitmarken ermittelt, die ein Roßhaar in die Rußschicht eines Metallstabes zeichnet.

3. Das Roßhaar ist auf einer rotierenden Scheibe angebracht, die auf der Welle eines Synchronmotors befestigt ist, oder deren Drehzahl mit technischem Drehzahlmesser bzw. mit Glühlampe an Wechselstromnetz oder Stimmgabelunterbrecher stroboskopisch gemessen wird.

4. Die Auswertung der Messungen nach den 3 Fallformeln: $g = \frac{\Delta v}{\Delta t}$, $h = \frac{1}{2} g t^2$ und $v = \sqrt{2gh}$ wird an einigen Beispielen gezeigt.

5. Die Meßgenauigkeit der Fallversuche ist eine relativ hohe. Bei der Auswertung nach $g = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ ergibt sich $\mu = \pm 0,1$ bis 1% , je nach Δt ; bei der Auswertung nach $h = \frac{1}{2} g t^2$ dagegen wird $\mu = \pm 0,01\%$.

6. Diese hohe Meßgenauigkeit macht das Verfahren bei sorgfältiger Versuchsdurchführung dazu geeignet, durch Umkehrung des Rechenweges bei bekanntem g das Zeitmeßinstrument zu eichen, also z. B. eine Eichkurve für einen technischen Drehzahlmesser aufzustellen, oder die Frequenz des Wechselstromes des Stadtnetzes zu verschiedenen Tageszeiten nachzuprüfen, eine Reihe von Stimmgabeln zu eichen usw.

Das Vertauschungsproblem der Zeiger.

Von H. Bock in Hamburg.

Bei der Uhr treten im Laufe der zwölfstündigen Periode eine große Anzahl Zeigerstellungen ein, die eine Zeigervertauschung zulassen, ohne daß dabei eine unmögliche Stellung zustande käme. Das ist z. B. der Fall um $4^h 31^m 53,28^s$, oder bei der zugeordneten Stellung um $6^h 22^m 39,44^s$. Ein flüchtig auf die Uhr geworfener Blick kann daher zu Irrtümern Anlaß geben.

Wir stellen die allgemeinere Frage: Welche Stellungen sind vertauschbar bei zwei Zeigern, deren Umlaufgeschwindigkeiten sich wie $n_1:n_2$ verhalten, wobei die n teilerfremde ganze Zahlen sind? Es sei $n_1 > n_2$.

Die Periode ist zu Ende, sobald der erste Zeiger n_1 und der zweite n_2 Umläufe gemacht hat; sollte das Zusammentreffen am Ausgangspunkt nämlich schon nach dem p -ten Teil dieser Umläufe stattfinden, so müßten die Werte $\frac{n_1}{p}$ und $\frac{n_2}{p}$ ebenfalls ganze Zahlen sein, was der Voraussetzung widerspricht. In einer Periode laufen die Zeiger also $(n_1 - n_2)$ -mal übereinander weg: diese $(n_1 - n_2)$ Deckstellungen sind natürlich umkehrbar und liegen aus Symmetriegründen in gleichen Abständen. Außerdem treten aber vertauschbare Stellungen auch dann ein, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

$$\alpha_1 : \alpha_2 = n_1 : n_2, \quad (1)$$

$$(\alpha_1 + 2k_1\pi) : (\alpha_2 + 2k_2\pi) = n_2 : n_1. \quad (2)$$

Die k sind die über die α hinaus gemachten ganzen Umläufe; sie können positiv oder negativ sein. Aus den Gleichungen (1) und (2) ergeben sich die α :

$$\alpha_1 = \frac{2\pi \cdot n_1}{n_1^2 - n_2^2} \cdot z, \quad (3) \quad \alpha_2 = \frac{2\pi \cdot n_2}{n_1^2 - n_2^2} \cdot z, \quad (4)$$

worin $z = -n_1 \cdot k_1 + n_2 \cdot k_2$ (5)

die Ordnungszahl der Stellung darstellt. Es ist eine ganze Zahl, die jeden beliebigen Wert annehmen kann, da die n teilerfremd sind. Begrenzt ist die Reihe der z aber dadurch, daß die α in dem Bereiche zwischen 0 und $2\pi \cdot n$ bleiben sollen:

$$0 \leq -n_1 \cdot k_1 + n_2 \cdot k_2 \leq n_1^2 - n_2^2. \quad (6)$$

Das ist die erste Determination. Eine zweite ergibt sich daraus, daß auch die durch Vertauschung entstehenden Lagen aus dem genannten Bereiche nicht hinausfallen dürfen:

$$0 \leq \alpha_1 + 2k_1\pi \leq 2\pi n_2, \quad (7) \quad 0 \leq \alpha_2 + 2k_2\pi \leq 2\pi n_1. \quad (8)$$

Das gibt durch Elimination der α in beiden Fällen:

$$0 \leq n_1 k_2 - n_2 k_1 \leq n_1^2 - n_2^2 \quad (9)$$

als zweite Determination. Da $\alpha_1 - \alpha_2 = 2\pi \cdot \frac{z}{n_1 + n_2}$, so tritt immer dann eine Deckstellung mit $(\alpha_1 - \alpha_2) = 2\pi m$ ein, wenn z ein ganzes Vielfaches von $(n_1 + n_2)$ ist.

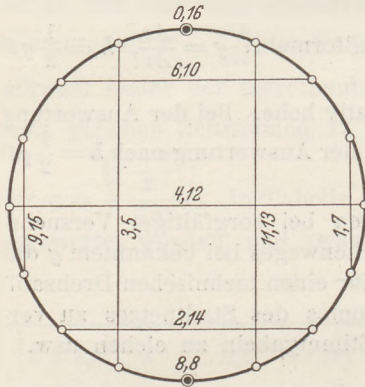
Nach Aussonderung der durch die Determinationen verbotenen Fälle bleiben gerade noch $(n_1^2 - n_2^2)$ Möglichkeiten für die Wahl der k übrig. Das erkennt man so: Die Lösung der linearen Kongruenz $n_2 \cdot k_2 - z \equiv 0 \pmod{n_1}$ [vgl. Gleichung (5)] kann man nach bekanntem Algorithmus auch so in Parameterform schreiben:

$$k_1 = n_2 \cdot u + c_1, \quad k_2 = n_1 \cdot u + c_2, \quad (10)$$

worin die c ganze Zahlen sind. Durch Einführung dieser k in die Determination (9) kommt:

$$u \cdot (n_1^2 - n_2^2) + n_1 c_2 - n_2 \cdot c_1 = y, \quad (11)$$

dessen Wert zwischen 0 und $(n_1^2 - n_2^2)$ liegen soll. Weil der Parameter u in ganzen Zahlen fortschreitet, so gibt es für jedes z im allgemeinen bloß ein u , dessen y die Determination (9) erfüllt. Die Paare der k sind daher den z eindeutig zugeordnet, und es gibt in einer Periode im ganzen $(n_1^2 - n_2^2)$ umkehrbare Stellungen, von denen $(n_1 - n_2)$ Deckstellungen



Umkehrstellungen für $n_1 : n_2 = 5 : 3$.

sind; zwischen je zweien von ihnen liegen also $(n_1 + n_2 - 1)$ vertauschbare.

Für die Ordnungszahl z beträgt der Winkel z. B. des langsameren Zeigers nach Gleichung (4) $\alpha_2 = z \cdot \frac{n_2}{n_1^2 - n_2^2}$ Umgänge; bei der zugeordneten Umkehrstellung muß die Ordnungszahl z' der Beziehung genügen:

$$z' \cdot \frac{n_1}{n_1^2 - n_2^2} = z \cdot \frac{n_2}{n_1^2 - n_2^2} + k_2, \quad (12)$$

$$\text{oder:} \quad z' = \frac{1}{n_1} \cdot [n_2 \cdot z + k_2 \cdot (n_1^2 - n_2^2)]. \quad (13)$$

Und entsprechend für den schnelleren Zeiger:

$$z' = \frac{1}{n_2} \cdot [n_1 \cdot z + k_1 \cdot (n_1^2 - n_2^2)]. \quad (13')$$

Beide Beziehungen geben natürlich denselben Wert. Da sich die den z zugeordneten k nur auf dem Umweg über die genannte Kongruenz angeben lassen, so erfordert auch die Ermittlung der z' diesen Weg.

Zahlenbeispiel. Es sei $n_1 = 5$ und $n_2 = 3$. Dann beträgt die Anzahl der umkehrbaren Stellungen einer Periode $(5^2 - 3^2) = 16$, wovon $(5 - 3) = 2$ Deckstellungen sind. Z. B. ist hier nach Gleichung (5) für die 11. Umkehrstellung ($z = 11$) $k_1 = -1$ und $k_2 = 2$. Daher kommt nach Gleichung (13) $z' = 13$; d. h. die 11. und die 13. Stellung entstehen auseinander durch Umkehrung. Für die Ordnungszahl 11 ist:

$$\alpha_1 = \frac{5}{16} \cdot 11 \cdot 2\pi = (3 + \frac{7}{16}) \cdot 2\pi, \quad \alpha_2 = \frac{3}{16} \cdot 11 \cdot 2\pi = (2 + \frac{1}{16}) \cdot 2\pi.$$

Dagegen in der Umkehrstellung:

$$\alpha_1 = (\frac{3}{16} \cdot 11 + 2) \cdot 2\pi = (4 + \frac{1}{16}) \cdot 2\pi, \quad \alpha_2 = (\frac{5}{16} \cdot 11 - 1) \cdot 2\pi = (2 + \frac{7}{16}) \cdot 2\pi,$$

oder mit z' gerechnet:

$$\alpha_1 = \frac{5}{16} \cdot 13 \cdot 2\pi = (4 + \frac{1}{16}) \cdot 2\pi, \quad \alpha_2 = \frac{3}{16} \cdot 13 \cdot 2\pi = (2 + \frac{7}{16}) \cdot 2\pi.$$

Den Determinationen $0 < \alpha_1 < 10 \cdot \pi$ und $0 < \alpha_2 < 6 \cdot \pi$ ist somit Genüge geleistet. Man beachte, daß $k_1 = (2 - 3)$ und $k_2 = (4 - 2)$ ist.

Die Figur zeigt die Lagen der beiden Zeiger in den Umkehrstellungen als Enden der eingetragenen Sehnen; die Ordnungszahlen sind an die Sehnen angeschrieben und die Deckstellungen durch ausgefüllte Nullkreise hervorgehoben.

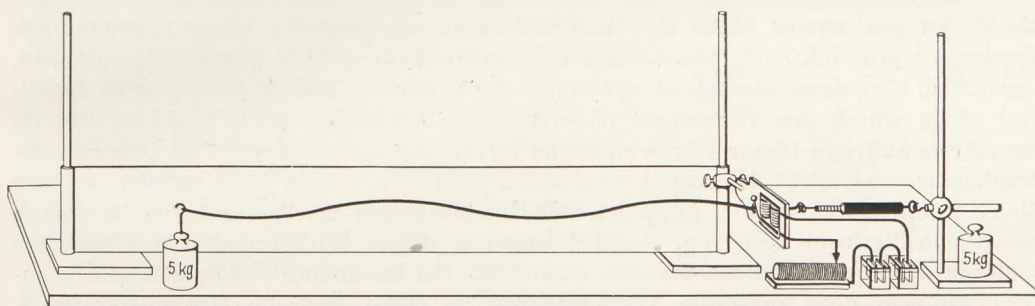
Vorrichtung zur Erzeugung stehender Wellen.

Von E. Macy in Bonn.

Zur Erzeugung stehender Wellen auf einer dünnen Schnur ist die elektrische Schelle schon wiederholt¹ benutzt worden. Dabei wurde bisher die Schnur zwischen dem Klöppel und einem Ständer oder einem an ihr hängenden Gewicht ausgespannt. Da aber diese Spannung auf die Schwingungszahl des Klöppels zurückwirkt, kann sie so nur in mäßigen Grenzen verändert werden. Um für diese Spannungen größere Freiheit zu gewinnen, habe ich folgende Abänderungen der Versuchsanordnung vorgenommen.

1. Ich spanne die etwa 2 m lange weiße Schnur (0,8 g/m) zwischen einem festen Ständer oder schweren Gewicht (5 kg) mit Haken und einem Kraftmesser² aus, so daß dessen Spannung zwischen 10 g und 1000 g durch Verschiebung des beweglichen Ständers, an dem er aufgehängt ist, leicht stetig geändert und gemessen werden kann.

2. Die elektrische Schelle habe ich so hergerichtet. Die Glocke wird abgenommen. An der Seite des Klöppels in seiner Schwingungsrichtung, dicht an dem eisernen



Vorrichtung zur Erzeugung stehender Wellen.

Ankerstück, wird ein kleiner Haken aus Messingdraht in Gestalt einer Schraubenwindung angelötet. Hinter ihm wird aus dem Brett der Schelle ein Loch von etwa 2 cm Durchmesser ausgeschnitten. Schraubt man noch am Rande des Brettes einen etwa 5 cm langen Stiel von 1 cm Durchmesser an, so kann die Schelle durch diesen mit einer Kreuzmuffe an einem Ständer befestigt werden.

Nun wird die Schnur kurz vor dem Ende, mit dem man sie an den Kraftmesser hängt, in den Haken am Klöppel von der Seite eingeführt und durch das Loch am Brett hindurchgezogen. Den Aufbau zeigt die Figur. Es empfiehlt sich, zur deutlichen Vorführung der Wellen hinter der Schnur einen schwarzen Hintergrund aus Futterstoff zwischen zwei Ständern auszuspannen.

Bei dieser lockeren Koppelung zwischen Schnur und Klöppel ist die Rückwirkung der Spannung der Schnur auf den Klöppel nur gering. Auch ist die Schwingungswerte an der Stelle der Koppelung so klein, daß diese bei allen zu beobachtenden Wellen als Knoten erscheint.

Man beginnt die Versuchsreihe mit einem Schwingungsbauch. Dieser kann erreicht werden durch Regelung der Schnurspannung oder, wenn man mit einer gegebenen Spannung, etwa 1000 g, beginnen will, durch geringe Änderung der Länge oder der Stromstärke. Nach der Einstellung läßt man Länge und Stromstärke unverändert und ändert nur die Spannung der Schnur, z. B. auf $\frac{1}{4}$ der vorigen, wobei sofort auf ihr 2 Schwingungsbauche sich einstellen; dann auf $\frac{1}{9}$ der ersten mit 3 Schwingungsbauchen usw. bis zu 10. Es soll hier nicht verschwiegen werden, daß bei so großen

¹ G. LOOSER: Erzeugung stehender Transversalwellen nach der Methode von MELDE. Zeitschr. physikal.-chem. Unterr. **13**, 220 (1900). — K. SCHREBER u. P. SPRINGMANN: Experimentierende Physik, Bd. I, Nr. 129, S. 101. Leipzig: Johann Ambrosius Barth 1905. — KLEINEN: Versuch über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit transversaler Wellen. Zeitschr. physikal.-chem. Unterr. **20**, 107 (1907).

² E. Leybolds Nachfolger in Köln-Bayental; Liste Nr. 791 bis 793; vgl. Zeitschr. physikal.-chem. Unterr. **31**, 155 (1908).

Unterschieden der Spannung die oben als gering bezeichnete Rückwirkung auf den Klöppel doch durch eine kleine Änderung seiner Schwingungszahl sich geltend macht, so daß die beste Resonanz der Schnur nicht genau bei dem vorausberechneten Bruchteil der Spannung auftritt, sondern erst, wenn man diese etwas nachgeregelt hat. Auch ist bei dem Kraftmesser „Bis 100 g“ in waagerechter Lage die Berichtigung + 2 g und bei dem „Bis 10 g“ die Berichtigung + 0,8 g hinzuzurechnen. Die Nachregelung ist jedoch so gering, daß das Gesetz: „Die Wellenlänge ändert sich in dem gleichen Verhältnis wie die Quadratwurzel der Spannung“ deutlich erkennbar bleibt.

Einige Messungen zur Spannungsresonanz am Wechselstromnetz (50 Hertz).

Von Friedrich Moeller in Berlin-Tempelhof.

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

Unter Spannungsresonanz wird bekanntlich die Erscheinung verstanden, daß sich die Wirkungen zweier unter sich und zur Spannungsquelle in Reihe liegender aus Kapazität und Induktivität bestehender Blindwiderstände gerade gegenseitig aufheben. Der Strom, den dann die Betriebsspannung durch den Stromkreis treibt, ist in diesem Fall allein durch den Ohmschen Widerstand (= Wirkwiderstand) gegeben, der im Stromkreis auftritt. Dieser Wirkwiderstand ist im allgemeinen durch eine Gleichstrom-Brückenmessung nicht festzustellen, sondern er ist in jedem Falle größer als der Gleichstromwiderstand, weil in Spulen und Kondensatoren bei Wechselstromdurchgang zusätzliche Verluste auftreten, die bei ersteren durch Wirbel und Hauteffekt, bei letzteren durch dielektrische Verluste entstehen. Bei Benutzung von Spulen mit Eisenkern kommen dazu noch die Wirbelverluste im Eisen und die Hysteresisverluste. Alle diese zusätzlichen Wirkwiderstände können weit größer sein als die rein Ohmschen Widerstände, sie nehmen auch mit der Frequenz des Wechselstromes zu, sind also nur bei gleichbleibender Frequenz konstant.

Der Strom, der durch eine Anordnung fließt, die aus den in Reihe liegenden Widerständen R (= gesamte Wirkwiderstände), ωL (= Blindwiderstand der Induktivität) und $\frac{1}{\omega C}$ (= Blindwiderstand der Kapazität) besteht, ist bekanntlich gegeben durch den Ausdruck:

$$I = \frac{U_b}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}. \quad (1)$$

Hierin sei U_b die effektive Betriebswechselspannung, I ist daher der effektive Wechselstrom, $\omega = 2\pi f$ ist die Kreisfrequenz, wenn f die Frequenz in Hertz ist. Der Wurzelausdruck gibt den Scheinwiderstand der Anordnung in Ohm an. Ist $\omega L = \frac{1}{\omega C}$, so wird einfach

$$I = I_{\text{res.}} = \frac{U_b}{R}. \quad (2)$$

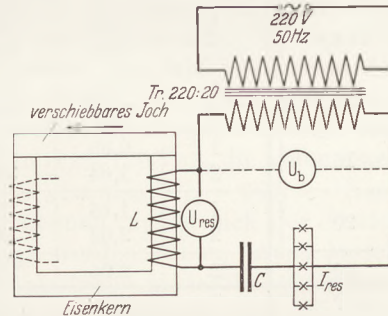
Der Strom $I_{\text{res.}}$ kann daher sehr große Werte auch bei verhältnismäßig kleinen Betriebsspannungen annehmen, wenn R hinreichend klein gehalten werden kann, er ist von den Einzelwerten der Blindwiderstände ωL bzw. $\frac{1}{\omega C}$ vollkommen unabhängig. Die Teilspannung an der Induktivität (in Henry) bzw. an der Kapazität (in Farad) hat den Wert:

$$U_{\text{res.}} = I_{\text{res.}} \omega L = -I_{\text{res.}} \frac{1}{\omega C} \text{ Volt } [> U_b, \text{ wenn } R \ll \omega L]. \quad (3)$$

Bei konstanter Frequenz ist sie also dem Strom und der Induktivität proportional, der Kapazität umgekehrt proportional. $U_{\text{res.}}$ erreicht vielfache Werte der Betriebsspannung, wenn der Wirkwiderstand genügend klein ist; je kleiner R wird, um so

schärfer wird die Spannungsresonanz¹, die eintritt, wenn bei Verändern der Zahlenwerte von L oder C die Bedingung $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ erreicht wird. — Bei Hochfrequenz wird als Variometer bekanntlich in der Regel ein Drehkondensator benutzt, bei Mittel- und Niederfrequenz ist das stetige Verändern der Kapazität aus technischen Gründen kaum möglich, und man ist daher gezwungen, Induktionsvariometer zu verwenden. Für mittlere Frequenzen genügen hierfür zwei Spulen, die gegeneinander verschoben werden, bei Netzfrequenz ist als wirksames Variometer nur ein offener oder geschlossener Eisenkern brauchbar, den die Spule umschließt, und der verschoben wird. Der geschlossene Eisenkern bringt viele Nachteile mit sich, die sich einesteils aus den schon erwähnten Verlusten ergeben, andererseits aber besonders dadurch auftreten, daß die Einstellung auf Resonanz wegen der großen Veränderung der Eisen-Permeabilität bei Veränderung des Feldes (das ja durch den Resonanzstrom plötzlich ganz andere Zahlenwerte annimmt) stets etwas Willkürliches behält; sie entzieht sich durchaus der Rechnung, und man ist stets auf reines Probieren angewiesen. Resonanzversuche mit Eisenkernspulen sind wenig exakt, auch ist die Resonanzschärfe niemals so groß wie bei eisenkernlosen Spulen und hoher Frequenz; trotzdem erfreuen sich Resonanzversuche mit Netzfrequenz großer Beliebtheit, weil eben die Netzfrequenz (= 50 Hertz) stets zur Verfügung steht. — Einige Messungen an Resonanzschaltungen für Netzfrequenz, die vor allem die Gleichung (3) bestätigen sollen, seien in folgendem beschrieben.

Die Figur zeigt die bekannte Anordnung. Der Netztransformator Tr transformiert die Netzspannung 220 Volt auf 20 Volt herab; die Netzspannung selbst zu benutzen, ist nicht zweckmäßig, weil der Resonanzstrom bei hinreichend kleinen R zu große Werte annimmt; schaltet man, um dies zu vermeiden, Widerstände in Reihe, so geht die Erscheinung der Resonanz so gut wie ganz verloren. — Als veränderbare Induktivität L wurden eine Spule oder 2 in Reihe geschaltete Spulen mit schließbarem Eisenjoch benutzt, wie sie heute bekanntlich von mehreren Firmen hergestellt werden². Die Induktivität wird geändert, indem das Eisenjoch in Richtung des gezeichneten Pfeiles verschoben wird; die Größe der Induktivität ist wegen der erwähnten Mängel nicht zu messen. Die Windungszahl jeder Spule betrug 500, ihr Widerstand je etwa 2,3 Ohm; bei 50 Hertz ist dieser Widerstand dem Wirkwiderstand der Spule gleichzusetzen. Die erforderliche Betriebskapazität (8 bis 20 μF) wurde durch Parallelschalten einzelner Papierbecherkondensatoren 4 μF hergestellt, die Kapazitätsgröße war also bei jeder Messung mit der Genauigkeit bekannt, die für so einfache Kondensatoren mit einem Fehler bis zu 5% angegeben wird. — Als Stromanzeiger für I_{res} , können 3,5-Volt-Lämpchen (für Taschenlampen) dienen, von denen 3 bis 5 oder auch mehr parallel geschaltet werden; für messende Versuche ist ein Weicheisenstrommesser mit einem Meßbereich bis etwa 3 Amp zu benutzen. — Zur Feststellung der Resonanzspannung U_{res} ist ein Weicheisen Spannungsmesser (z. B. Wewometer-Gossen) notwendig,



Schaltung für Spannungsresonanz.

¹ Über den Unterschied zwischen Spannungs- und Stromresonanz herrscht vielfach noch große Unklarheit, wie das Nachlesen der Literatur erweist. Bei Stromresonanzschaltungen liegen Kapazität und Induktivität zueinander parallel; die Spannung an ihnen muß stets gleich der Betriebsspannung sein, sie kann niemals höher werden, da ja andernfalls der Schwingungskreis Energie an die Stromquelle liefern müßte. Dagegen erreicht der Strom im Schwingungskreis merkliche Werte, während er in den Zuleitungen sehr klein ist. Daher der Name Stromresonanz. Die Verhältnisse für Stromresonanzschaltungen sind aber theoretisch nicht ganz einfach zu übersehen (darüber in einem der nächsten Hefte); ein typisches Beispiel für Stromresonanz ist die Unterhaltung einer Schwingung durch die Röhre.

² Für die beschriebenen Versuche wurde der „Experimentier- und Gebrauchstransformator“ von E. Leybolds Nachf. in Köln benutzt, und zwar mit der Spule (bzw. 2 Spulen) für 220 Volt = 500 Windungen.

sein Meßbereich ist 300 Volt; sein Widerstand muß mehrere 1000 Ohm betragen, da er andernfalls den Resonanzstrom stark herabsetzt. — Zu Schauversuchen kann die Resonanzspannung mit einer normalen Glimmlampe 220 Volt nachgewiesen werden (vgl. Merkblatt 5 der Hauptstelle, Type 5), da die Resonanzspannungen mehrere hundert Volt erreichen. Das Abstimmen geschieht wie erwähnt durch Abziehen des Joches in der Pfeilrichtung; es ist am besten, jedoch nicht notwendig, das Joch von einem Schenkel ganz abzuziehen, so daß der Kern offen wird; das war aber nur bei Benutzung von 2 in Reihe geschalteten Spulen möglich, bei Verwendung einer Spule ist die Selbstinduktion bei offenem Kern zu gering, um auf Resonanz zu kommen.

Tabelle. ($U_b = 20$ Volt.)

$C =$	Spulen- zahl =	$I_{\text{res. eff.}}$ =	$U_{\text{res. eff.}}$ berechnet =	$U_{\text{res. eff.}}$ gemessen =	$\frac{U_b}{I_{\text{res.}}} =$	$\frac{U_{\text{res.}}}{U_b} =$	Bemerkungen
8	1	0,25	100	92	80	5	Kern geschlossen
	2	0,60	239	228	33	11,9	„
12	1	0,51	135	124	40	6,8	Kern geschlossen
	2	1,20	318	303	17	15,9	„
16	1	0,85	169	156	24	8,5	Kern geschlossen
	2	1,64	326	307	12	16,3	Kern nahezu offen
20	1	1,15	183	172	17	9,2	Kern geschlossen
	2	2,02	321	303	10	16,0	Kern offen
40	2	2,95	235	220	7	11,8	Kern weit offen
μF		Amp	Volt	Volt	Ohm		

Die Messungen und die dazugehörigen Berechnungen sind in der Tabelle angegeben. Es mag zunächst darauf hingewiesen werden, daß außerhalb der Abstimmung kein merkbarer Strom im Kreise fließt, die Abstimmung also recht scharf ist. Die erste (Vertikal-) Spalte enthält die benutzte Betriebskapazität; in der letzten Reihe unten ist eine Kapazität $40 \mu\text{F}$ angegeben, sie stand als Einzelwert im Laboratorium der Hauptstelle zur Verfügung. Im übrigen sind für die gleiche Betriebskapazität stets 2 Messungen ausgeführt, von denen die erste mit Hilfe einer Spule, die zweite mit Hilfe zweier in Reihe geschalteter Spulen entstanden ist. Da die Frequenz gleich bleibt ($= 50$ Hertz), muß in beiden Fällen auch die Betriebsinduktivität die gleiche sein, was bei doppelter Spulenzahl nur dadurch ermöglicht ist, daß im zweiten Falle das Eisenjoch weiter vom Kern abgezogen worden ist. Das ist sehr vorteilhaft, wie die Messungen zeigen, denn im zweiten Fall ist der Resonanzstrom für die gleiche Kapazität stets sehr viel größer, weil der Wirkwiderstand des Eisenkerns verkleinert wurde. Den kleinsten Wirkwiderstand besitzt der ganz offene Kern, eine Erscheinung, die aus den Eiseneigenschaften ohne weiteres verständlich sein wird. — In Spalte 4 sind die Resonanzspannungen gemäß Gleichung (3) aus dem Produkt $I_{\text{res.}} \cdot \frac{1}{\omega C}$ berechnet. Sie steigen entgegen dem Gesetz zunächst mit vergrößerter Kapazität stark an, weil die Wirkwiderstände (im Eisen) in größerem Maße fallen als die Blindwiderstände. Erst bei großer Kapazität fällt auch die Resonanzspannung (von $16 \mu\text{F}$ an), zunächst nur mäßig; in dieser Beziehung machen sich die „Willkürlichkeiten“ im Eisen sehr bemerkbar. Die gemessenen Werte der Resonanzspannungen sind etwas kleiner als die berechneten, eine Folge der durch Anlegen des Spannungsmessers entstehenden Dämpfung. — In Spalte 6 stehen die Wirkwiderstände gemäß Gleichung (2), sie sind zuerst sehr groß infolge des großen Schlusses des Eisenkerns, fallen nachher stark, erreichen aber niemals annähernd 2,3 bzw. 4,6 Ohm entsprechend dem (Gleichstrom-) Widerstand der Spulen. Der Wirkwiderstand der Kapazitäten wird bei 50 Hertz nur sehr gering sein, die Verluste entstehen zum größten Teil im Eisen auch bei ganz

offenem Kern. — In Spalte 7 stehen die Verhältnisse Resonanzspannung zu Betriebsspannung, die ja 20 Volt beträgt; die Resonanzspannung erreicht im besten Fall etwa 16fache Werte, immerhin eine bemerkenswerte Größe. Die Glimmlampe spricht in fast allen Fällen sehr scharf und kräftig an, sie erlischt sofort nach Überschreiten der Resonanzstelle. — Beim Experimentieren ist das Verhalten des Eisenjoches auffällig und sehr demonstrativ, das zunächst beim Verschieben frei beweglich ist; wird aber die Resonanz erreicht, so wird es mit solcher Heftigkeit festgehalten oder angezogen, daß einige Vorsicht geboten ist; letztere ist auch in Bezug auf die Resonanzspannungen an der Kapazität (bzw. Induktivität) notwendig, die ja im Scheitelwert fast 460 Volt erreichen, trotzdem die Betriebsspannung am Transformator klein ist. — Die Versuche sind sehr einfach und gelingen immer.

Am Schluß sei noch ein Hinweis auf einen Hochfrequenzversuch als Vergleich gestattet. Die Schaltung war an sich die gleiche wie hier, Kapazität (Drehkondensator) und Induktivität (kleine Spulen ohne Eisen) waren natürlich weit kleiner. Die Frequenz war 500 000 Hertz (entsprechend einer Wellenlänge 600 m), die Betriebskapazität etwa 800 cm ($1 \text{ cm} = \frac{1}{9} \cdot 10^{-11} \text{ Farad}$). Die Stromstärke im Schwingungskreis betrug etwa 2 Amp, der Widerstand der Spule nur einige Zehntel Ohm, der Wirkwiderstand der ganzen Anordnung war mit Sicherheit weit kleiner als 1 Ohm. Die Betriebsspannung war etwa 2 Volt, sie wurde durch das Feld eines kleinen Röhrengenerators erzeugt. Aus diesen Angaben berechnet sich die Resonanzspannung zu etwa 720 Volt, die schon einen Kondensator-Überschlag hervorrief, das Verhältnis $U_{\text{res.}}/U_b$ ist also $720/2 = 360$. — Nach diesen Zahlen, die hier nicht weiter erörtert werden können, ergibt sich der Vorteil hoher Frequenz, wenn Resonanzerscheinungen gezeigt werden sollen. Auch Mittelfrequenz gestattet schon, wie gesagt, die Benutzung eisenfreier niederohmiger Spulen und verlustfreier Kondensatoren, auch hier ist die Resonanzerscheinung schon erheblich markanter zu zeigen, als dies bei Netzfrequenz je möglich ist, bei welcher alle Versuche dieser Art doch ein Notbehelf bleiben müssen.

Berichte.

1. Apparate und Versuche.

Das Sichtbarmachen elektrostatischer Kraftlinien. Von Dr. HERMANN KNOLL, Professor am I. Realgymnasium in Graz (Steiermark).

Der Rahmen. Wir stellen uns einen Pappendeckelrahmen aus dem allerbilligsten, brüchigen, gelblich-weißen Pappendeckel her, indem wir zwei oder drei Lagen aufeinander leimen, bis eine Dicke von $2\frac{1}{2}$ bis 3 mm erreicht ist und schneiden uns zunächst zwei gleich große Rechtecke von mindestens $21 \text{ cm} \times 16 \text{ cm}$ aus und aus ihnen wieder so große Rechtecke, daß von jedem ein ringsum mindestens $1\frac{1}{2} \text{ cm}$ breiter Rahmen übrigbleibt. Dann werden mehrere, ebenfalls mindestens $1\frac{1}{2} \text{ cm}$ breite und recht lange Pappendeckelstreifen zurechtgeschnitten. Aus diesen Bestandteilen wird der in Fig. 1 in noch nicht vollständig fertigem Zustande gezeichnete Kastenrahmen zusammengesetzt, indem die Pappendeckelstreifen zur richtigen Länge zurechtgeschnitten und ihre Kanten mit einer dickflüssigen Dextrinlösung bestrichen und dann hochkant auf den einen der beiden Rahmen aufgesetzt werden. Wenn nicht gerade der Pappendeckel geworfen ist, ist die Zuhilfenahme von Klebestreifen nicht notwendig. Dann bestreicht man den anderen Rahmen mit Dextrin und setzt ihn als Schlußstück auf. Einige

Bücher darübergeschichtet geben den notwendigen Druck, und nach einigen Stunden ist der Kastenrahmen trocken und gebrauchsfähig. Es empfiehlt sich übrigens, sich gleich mehrere solche Kästen anzufertigen.

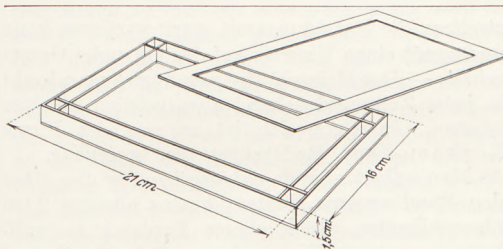


Fig. 1. Rahmen zum Aufspannen des Papiers.

Das Papier. Nun muß ein möglichst wenig leitendes Papier gefunden werden. Als solches hat sich unbedrucktes Zeitungsdruckpapier oder auch das geringstwertige Schreibmaschinenpapier erwiesen. Es muß ein Papier sein, das aus mindestens 70 %, besser noch aus 80 % Holzschliff und höchstens 30 % Zellulose besteht. Unter Zellulose versteht der Papierfachmann ein Produkt,

das aus Fichtenholz durch Zerkleinern, Schleifen und chemisches Aufschließen der Holzfasern durch mindestens 48stündiges Kochen in Sulfit gewonnen wird. Holzschliff ist das bloß mechanisch zerkleinerte, in Fasern zerteilte, aber nicht chemisch behandelte Holz. So ist also beides, Zellulose als auch Holzschliff, reines Holz. Gespinnstfasern, etwa Leinen oder Baumwolle, sind nicht dabei. Aus letzteren Materialien werden die teuren Papiere gemacht. Es ist also das hier verwendete Papier das wohlfeilste. Tintenschrift zerfließt auf ihm. Alle anderen Papiersorten, die stärkeren, rein weißen, enthalten mineralische Füllmaterialien, die sie leitend machen. Papiere mit Stärke- oder Farbaufstrichen leiten besonders gut. Von der verschiedenen Leitfähigkeit verschiedener Papiere kann man sich leicht überzeugen, indem man sich von jeder gerade erreichbaren Art etwa 15 cm lange und 1 cm breite

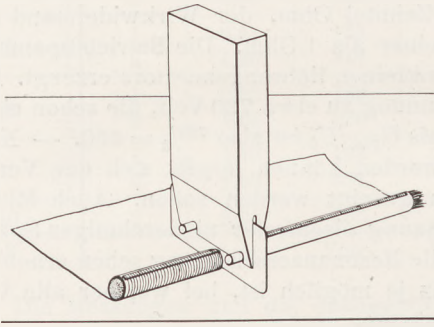


Fig. 2. Herstellen des Haarhäckfels.

Streifen schneidet, das eine Ende in die Hand nimmt und den Streifen mit dem anderen Ende an den Knopf eines geladenen Elektroskopes hält. Man wird dann bemerken können, daß ein BRAUNSCHEs Elektroskop von dem einen Papier bereits im Verlauf 1 Sekunde vollständig entladen wird, während es bei unserem Holzschliffpapier bis zu 1 Minute dauern kann. — Nebenbei möge die Bemerkung Platz finden, daß man durch Verändern der Länge und der Breite des Papierstreifens die Entladungszeit stark variieren kann und somit einen Hinweis auf das OHMSche Gesetz erhält. — Das Holzschliffpapier dürfte man leicht in jeder Zeitungsdruckerei unentgeltlich erhalten können. In Österreich ist es von der Firma Leykam, Graz, Radetzkystraße, beziehbar.

Man weicht nun ein entsprechend großes, über den Rand unseres Kastenrahmens allseitig 2 cm übergreifendes Stück dieses Papiers in vollkommen reinem Wasser kurze Zeit ein, bis es ganz durchnäßt ist, und bestreicht inzwischen die Oberseite unseres Kastenrahmens mit dickflüssigem Dextrin. Hierauf trocknet man das eingeweichte Papier zwischen reinem Filtrierpapier, das immer wieder verwendet werden kann, so weit ab, daß es nicht mehr vom Wasser glänzt, und legt es sofort im feuchten Zustande vorsichtig, denn es reißt gern, über den Rahmen. Man kann es leicht dahin bringen, daß es jetzt schon faltenlos aufliegt, und das ist wichtig. Die

überstehenden Enden klebt man an den äußeren Seitenflächen fest. Getrocknet werden darf es bloß bei Zimmertemperatur; künstliche Wärme bringt meist Falten. Nach dem Trocknen hat man dann eine scharf gespannte, ebene Papierfläche, die beim Klopfen auf den Rahmen einen hellen Ton gibt. Sind Falten geworden, dann muß das Papier unbedingt durch ein neues ersetzt werden.

Die flächenhaften Konduktormodelle. Nun überstreicht man ein großes Stück des gleichen Holzschliffpapiers mit schwarzer Tusche auf der einen und nach dem Trocknen auch auf der anderen Seite und macht es dadurch elektrisch leitend. Immerhin bleibt es natürlich im Vergleich zu Metallen ein Halbleiter. Man verwende dazu keine andere Papiersorte, um nicht später beim Aufkleben Falten zu bekommen. Dann befestigt man ein Stück weißen Schreibpapiers an den vier Ecken mit ganz winzigen Klebstoffmengen auf dem schwarzgemachten Papier und zeichnet mit Zirkel und Lineal die Querschnitte der Konduktoren, deren elektrisches Feld man im ebenen Schnitt darstellen will, etwa wie Fig. 3 links zeigt, den Querschnitt eines Goldblattelektroskopes. Dann schneidet man mit einem sehr scharfen Messer auf einer glatten, harten Holzunterlage die gezeichneten zweidimensionalen Konduktormodelle aus und erhält sie natürlich weiß und schwarz. Die weißen werden nicht benötigt, wohl aber das übrigbleibende, schablonenartige Papierstück, das uns nämlich als zuverlässige Führung dient beim Aufkleben der schwarzen Modelle. Zu diesem Zwecke lösen wir das weiße Papier von seiner schwarzen Unterlage los, legen es auf das über den Rahmen gespannte und inzwischen trocken gewordene Papier und kleben es wieder an den Ecken an. Dann werden die ausgeschnittenen Konduktormodelle auf der Rückseite sehr sparsam — sonst verzieht sich das Unterlagpapier — mit Dextrin oder Syndetikon bestrichen und in die Aussparungen der Schablone eingelegt und so in ihrer richtigen gegenseitigen Lage an der Unterlage aufgeklebt.

Das Haarhäcksel. Nun verschafft man sich von einem Haarpfleger schwarze, ungekräuselte Haare, wie er sie beim Haarschneiden als Abfall erhält, und kann sie entweder sogleich auf die im nachfolgenden beschriebene Art zerschneiden, oder man kann sie zuvor noch elektrisch leitend machen. Dies geschieht, indem man sie zuerst durch kurzes Kochen in Lauge vom Fett befreit — längeres Kochen macht aus den Haaren einen Brei — und dann nach mehrmaligem Auswaschen in reinem Wasser in eine konzentrierte Lösung irgendeines Salzes, etwa in eine Bleiazetatlösung, legt. Beim Auskochen, Auswaschen und Tränken mit der Salzlösung achte man darauf, daß das Haar nicht verfilzt wird, sondern daß die einzelnen Haare möglichst nebeneinander liegen bleiben. Nach dem Herausnehmen aus der Salzlösung werden sie natürlich nicht mehr ausgewaschen, sondern locker nebeneinander zum Trocknen auf Fließ- oder Filtrierpapier gelegt. Sie können auch auf die im ROSENBERGschen Experimentierbuche

(auf S. 57 des 1. Bandes der Auflage vom Jahre 1908, auf S. 72 der Auflage vom Jahre 1929) angegebene Art versilbert werden.

Dann wickelt man etwa so viel Haar, als man Tabak zu einer Zigarette nimmt, in ein rechteckiges Stück starken Papierses so ein, daß nicht das ganze Papier eingerollt wird (s. Fig. 2). Es geschieht dies in der Absicht, daß später beim Zerschneiden des Haares nicht so viel Papierschnitzel in das Häcksel geraten. Es ist nicht notwendig, die so entstandene Zigarette zuzukleben. Wohl aber klebt man auf die Rolle der Länge nach einen schmalen Streifen, den man von Millimeterpapier abgeschnitten hat. Er ist in der Fig. 2 ebenfalls ersichtlich.

Als Messer benutzt man eine gebrauchte Rasierklinge, für die man sich die aus der Figur leicht zu entnehmende Fassung aus weichem Holz hergestellt hat. Jetzt zerschneidet man, mit der einen Hand das Messer bedienend, mit der anderen die Rolle fest zusammendrückend, diese samt dem eingewickelten Haar in so kurze Stücke, daß man auf je 2 mm der Rollengänge drei Schnitte ausführt. Da während des Schneidens das Haar doch etwas nachgibt, fallen nicht alle Stückchen des Häcksel gleich lang aus. Deshalb muß man es durch Sieben sortieren. Das geschieht mittels eines aus feinem Battist, 20 cm $\times$ 15 cm groß, und eines Pappendeckelrahmens hergestellten Siebes.

Durch mehrfaches Sieben kann man es in einem der fraktionierten Destillation gleichenden Arbeitsgang erreichen, das Haarhäcksel in drei Häufchen zu trennen, wo innerhalb jedes Haufens die Haarstückchen angenähert gleich lang, in jedem anderen Haufen aber Stückchen anderer Länge sind. Für kleine Kraftfelder und niedrige elektrostatische Spannungen nimmt man natürlich das am feinsten geschnittene Häcksel. Das Häufchen mit den längsten Stückchen gibt man am besten zum Vorrat zurück und mischt sie unter das für eine neue Zigarettenfüllung bestimmte Haar. Beim Sieben legt man unter das Sieb größere Stücke von glattem, gut leitendem Papier. Zum späteren Aufstreuen des Haarhäcksel wird ein Messingsieb, Teesieb, genommen, das man sich ebenfalls leicht und billig selbst herstellen kann, indem man in einer Drahtnetzhandlung das feinstmaschigste Messinggewebe in der Ausdehnung 10 cm $\times$ 8 cm kauft und es an einen Rahmen aus starkem Draht an einigen Stellen anlötet. Halter braucht der Rahmen nicht zu haben.

Das Auflagegestell. Sein Aufbau ist, wie Fig. 3 zeigt, leicht vollzogen. Ein Grundbrett im Ausmaße von beiläufig 30 cm $\times$ 20 cm bekommt 4 Löcher, deren gegenseitige Abstände sich nach

der Größe der Pappendeckelkastenrahmen richten. In die Löcher werden 4 gegen 25 cm hohe Glasröhren eingesteckt und auf die oberen Enden Holzklötzchen aufgesetzt.

Die isolierenden Träger für die Zuleitungsdrähte. Zwei dicke Holzklötzchen bekommen zylinderförmige, mit dem Zentrumborher hergestellte Vertiefungen, deren Durchmesser reichlich 2 cm sein kann. Dann rollt man sich zwei je 10 cm hohe Papierrohre, die man mit Zwirn umwickelt und auf die Klötzchen stellt. In sie gießt man ein wenig flüssig gemachtes, aber nahe am Erstarrungspunkt gehaltenes Paraffin, das natürlich, da der Abschluß zwischen

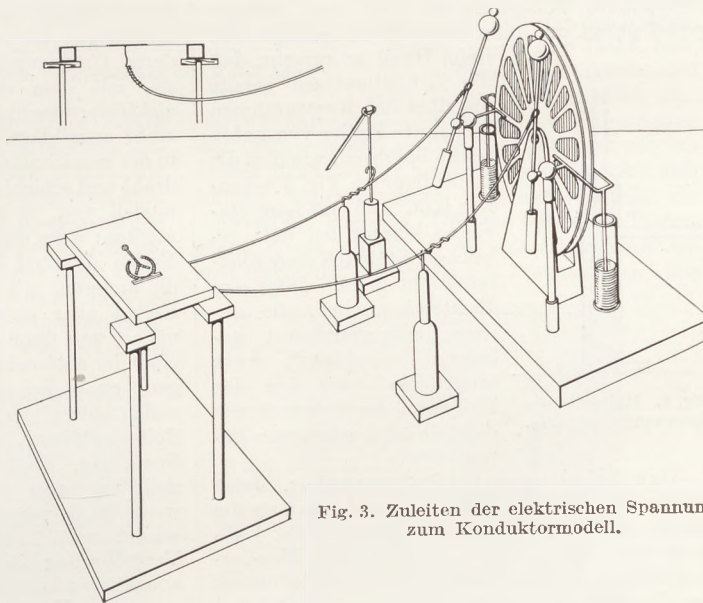


Fig. 3. Zuleiten der elektrischen Spannung zum Konduktormodell.

Röhrenende und Holzklötzchen kein guter ist, zum Teil wieder herausrinnt. Es erstarrt aber diese geringe Paraffinmenge bald und bildet jetzt den notwendigen Abschluß, so daß man nach einer Viertelstunde weiteres flüssiges Paraffin in die Röhre eingießen kann, ohne ein Herausquellen befürchten zu müssen, besonders, wenn auch die zweite Paraffinladung gerade eben noch flüssig und nicht mehr unnütz heiß ist. Gleichzeitig senkt man in jede der Papierrohre 5 cm tief aus der Altmaterialkiste geholte Ebonitstangen, die am oberen Ende eine axiale Bohrung tragen, so ein, daß die Achsen der Röhren und der Stangen zusammenfallen. Die Stangen werden bis zum Starrwerden des Paraffins von Bunsenstativen getragen. Nach 2 Stunden ist das Paraffin erstarrt und vollständig kalt. Jetzt löst man die Zwirnfäden von den Papierrohren und kann diese leicht vom Paraffin ablösen. Nun hat man ein vorzüglich isolierendes Gestell; nur ist es erst dann nicht mehr gebrechlich, wenn der Durchmesser der Paraffinstangen mindestens 5 cm ist.

Es werden sodann zwei je 50 cm lange, 2 mm dicke Eisendrähte genommen, an deren Mitten kurze Querdrahte angelötet werden; die Enden der letzteren steckt man in die Bohrungen an den

oberen Enden der Ebonitstangen. Sie müssen darin festsitzen, und eine zu große Bohrung füllt man vor Einsetzen der Drähte zum Teil mit geschmolzenem Siegelack aus. An die einen Enden der 50 cm langen Eisendrähte bindet man mit Bindfaden Schleifen von Lamettafäden oder Lamettabändern. Diese Enden werden an die Pole der Influenzelektrisierungsmaschine oder an die Knöpfe von entgegengesetzt geladenen Leydener Flaschen angesetzt und geben einen elastischen Kontakt. An die anderen Enden der Eisendrähte wird je ein gerader, 1 cm überragender Lamettafaden angebunden.

Dann wird der eingangs beschriebene papierüberspannte Kastenrahmen auf das Aufstellgestell gelegt und man biegt die Eisendrähte aus freier Hand so zurecht, daß die Lamettaspitzen gerade das über den Kastenrahmen gespannte Papier von unten leicht berühren, wie dies die Nebenfigur zu Fig. 3 erkennen läßt. Die eine Lamettaspitze kommt bei dem gezeichneten Modell eines Elektroskopes gerade unter den Elektroskopknopf, die andere, entgegengesetzt geladene, möglichst weit weg, also unter den das Fußgestell des Elektroskopes darstellenden schwarzen Papierbelag.

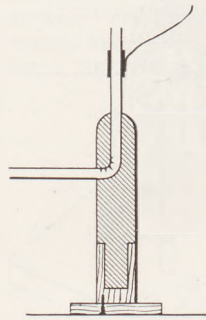


Fig. 4. Halbleitende Spannungszuleitung.

Das Arbeiten mit der Apparatur. Jetzt schiebt man die Elektrisierungsmaschine heran an die Enden der Zuleitungsdrähte, beschwert ihr Fußbrett mit einigen Gewichten, legt das Messingdrahtnetz auf einen Bogen Papier und schüttet ein Häufchen des Haarhäckels auf eine möglichst eng begrenzte Stelle mitten auf das Drahtnetz, wobei man natürlich nicht verhindern kann, daß ein Teil davon durchs Netzgitter fällt, behält aber doch den größten Teil auf dem Sieb. Damit sind alle Vorbereitungen zum Herstellen des Kraftfeldes getroffen. Mit der einen Hand dreht man nun die Kurbel der Influenzelektrisierungsmaschine, bis man am Knistern hört, daß sie erregt ist; mit der anderen Hand hebt man das Drahtnetz vorsichtig auf und hält es über das Papiermodell. Dann klopf man ganz schwach, indem man zum Halten des Drahtnetzes bloß den Daumen und den Mittelfinger benutzt, mit dem Zeigefinger waagrecht gegen die Umfassung des Siebes. Während des Klopfens bewegt man es weiter und wird so nach einiger Übung erreichen, daß das Haarhäcksel ziemlich gleichmäßig über die ganze Papierfläche verteilt wird. Geht man mit dem Netz näher heran, dann kann man das Häcksel an beliebiger Stelle dichter ablagern. Schon während des Herabfallens ordnen sich die Haare zum Kraftlinienbild; die Ordnung kann durch leichtes Klopfen des Kastenrahmens, nicht aber der Papierfläche selbst, oft noch vermehrt werden. — Ein Mangel haftet dem bis jetzt beschriebenen Verfahren und der dazu benutzten

Apparatur noch an: Die Ausdehnung der Kraftfelder kann nur eine geringe sein. Kraftlinien von mehr als 2 oder 3 cm Länge wird man damit nicht erreichen. Schuld daran ist der große Spannungsverlust durch Spitzenwirkung an den Lamettaenden der Zuleitungsdrähte. Man kann sich davon leicht überzeugen, wenn man sich ein einfaches Elektroskop baut, wie es im Hintergrunde der Fig. 3 steht. Man braucht dazu einen Holzfuß wie zu den Ständern für die Zuleitungsdrähte, der ebenso ausgebohrt und auf den wieder ein Papierzylinder aufgesetzt wird. Dieser wird so wie die Bohrung mit Paraffin ausgegossen. Statt der Ebonitstange wird ein 1 mm dicker Draht eingebaut, der oben waagrecht umgebogen ist zur Aufnahme der Papierfahne, deren Größe und Gewicht so gewählt wird, daß sie, mit dem einen Konduktor der Influenzelektrisierungsmaschine verbunden, schon fast waagrecht ausschlägt. Setzt man dieses Elektroskop in der gezeichneten Weise an den einen Zuleitungsdraht und schiebt dann das Gestell mit dem Kraftmodell weg, so kann man leicht folgendes bemerken: wenn die Lamettaschlingen tragenden Enden dauernd an den Maschinenpolen liegen, die anderen, mit den Lamettaspitzen versehenen Enden aber abwechselnd einander einmal genähert und dann wieder auf 20 cm Abstand voneinander entfernt werden, so zeigt das Elektroskop ganz exakt bei geringer Entfernung der Drahtenden eine kleine Spannung an, eben wegen der Spitzenwirkung, das andere Mal aber hohe Spannung. Dadurch ist jetzt auch erklärlich, daß rascheres Drehen der Maschinenkurbel, wenn die Apparatur für die Kraftfeldererzeugung wieder vollständig zusammengestellt ist, keine Vergrößerung des jetzt geringen Elektroskopausschlages hervorruft; die Spitzen sind einander zu nahe. Ebenso findet die Tatsache ihre Erklärung, daß eine Elektrisierungsmaschine, die nur wenige Millimeter Funkenlänge hat, Kraftfelder von derselben Güte erzeugen läßt wie eine Wimshurstmaschine von mehreren Zentimetern Schlagweite.

Verbesserung der Versuchsanordnung. Die unerwünschte Spitzenwirkung kann wiederum mit dem halbleitenden, tuschgeschwärzten Papier zum Teil verhindert werden. Fig. 4 gibt den Querschnitt des Zusatzteiles, den man sich dazu zweimal anfertigen muß. Man braucht für jeden wieder einen Holzfuß wie zu den Trägern der Zuleitungsdrähte und zum Elektroskop. Auf ihn wird ein 10 cm über ihn hinausragender Papierzylinder gewickelt, in den Paraffin bis zur halben Höhe gegossen wird. Dann rollt man sich über einer engen Glasröhre aus dem Tuschepapier eine 20 cm lange Röhre in 2 bis 3 Lagen und klebt sie mit Syndetikon zu. Sie wird in der Mitte rechtwinklig eingeknickt und durch ein seitliches Loch des Papierzylinders eingeschoben, so daß die Achse der eingeschobenen Hälfte mit der Zylinderachse zusammenfällt. Dieser wird dann ganz mit Paraffin vollgegossen. Die schiefen Schraffen der Fig. 4 stellen das Paraffin vor. Über das aus dem Paraffin herausragende Ende der schwarzen Röhre

wird ein zweites, kurzes Papierröhrchen geschoben, das mit leichter Reibung auf- und abwärts bewegt werden kann. An dieses Röhrchen wird eine Papierfahne geklebt, die wie das Röhrchen aus dem schwarzen Papier gemacht ist. Dieser eben beschriebene Zusatzteil ist im ganzen 25 cm hoch.

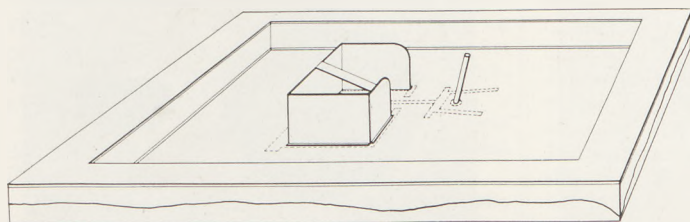


Fig. 5. Widerstandsverminderung durch Vergrößerung der Konduktoren.

In den waagerechten Teil der schwarzen Röhre wird das Ende des richtig zurechtgebogenen Zuleitungsdrahtes eingeschoben. Beide Zusatzteile kommen auf das Grundbrett des Auflagegestelles. Man kann nun, bevor man den Kastenrahmen auflegt, leicht am Elektroskop feststellen, daß die Papierfahnen der Zusatzteile einander recht stark genähert werden können, ohne daß sich eine Verminderung der Potentialdifferenz durch Spitzenwirkung zeigt. Daher können von jetzt an

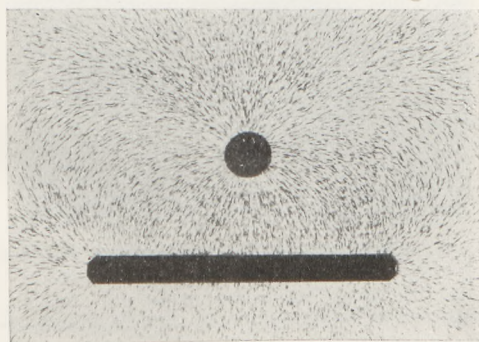


Fig. 6. Kugel und Platte entgegengesetzt geladen.

die Papiermodelle für die Kraftfelder leicht 10 cm $\times$ 10 cm, also etwa doppelt so groß gemacht werden wie bei der ersten Versuchsanordnung.

Mit Hilfe dieser verbesserten Anordnung wurden die Kraftfelder der Fig. 6, 9 und 11 hergestellt. Die übrigen wurden auf die erstbeschriebene Art erzeugt. Zu Fig. 6 ist zu bemerken, daß der lange schwarze, die Platte darstellende Papierstreifen nicht so aufgeladen wird, daß die zu ihm nach Fig. 4 führenden, spannungbringenden Papierfahnen in seiner Mitte aufgesetzt wurden; es fände dann nämlich nach beiden Seiten hin auch ein Spannungsabfall statt. Man muß sich ja vergegenwärtigen, daß man wohl von elektrostatischen Erscheinungen spricht, daß es aber in Wirklichkeit solche fast gar nicht gibt. So findet ja auch hier bei der Herstellung der elektrostatischen Kraftfelder ein ständiges Strömen von den Polen der Influenzmaschine durch

die Zuleitungsdrähte und die sie verbindenden Papierstreifen statt. Der Hauptspannungsabfall ist natürlich in dem auf dem Rahmen aufgespannten Trägerpapier. Fast gar keiner ist vorhanden in den Metalldrähten, ein mittelgroßer in den mit Tusche geschwärzten Papierstücken.

Um nun diesen Spannungsabfall nach beiden Seiten der Platte unserer Fig. 6 auf ein geringstes Maß einzuschränken, wurde zuerst einmal auf die Unterseite des Trägerpapiers ein etwas schmalerer und ein wenig kürzerer schwarzer Papierstreifen so aufgeklebt, daß man den Kastenrahmen gegen das Licht hält, das schwarze Konduktormodell also durchschimmern sieht. Dadurch konnten die beiden Streifen zu beiden Seiten des Trägerpapiers zur Deckung gebracht werden. Dieses Bekleben der beiden Seiten empfiehlt sich immer, wenn längliche Konduktormodelle zur Anwendung kommen. Um den OHMSchen Widerstand dieser Modelle noch weiter herabzusetzen und damit die Gleichheit des Potentials an allen

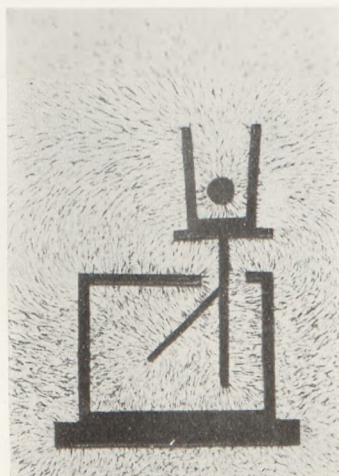


Fig. 7. Faradays Becher.

Stellen eines solchen Konduktors noch mehr zu sichern, empfiehlt es sich weiter, an die Unterseite hochkant aufgestellte schwarze Papierstreifen aufzukleben und die von der die Spannung zuleitenden Papierfahne weiter entfernten Stellen durch Papierbrücken mit ihr zu verbinden. Fig. 5 zeigt, wie dies gemeint ist. Mit dem Klebemittel muß man dabei wieder sparsam sein; es ist von unserem Standpunkt aus ein guter Leiter, jede über die Begrenzung der Konduktormodelle hinaus tretende Menge vergrößert den Konduktor, jeder Tupfen auf dem Trägerpapier bedeutet einen neuen Konduktor, der das darzustellende Feld stört. Es ist auch selbstverständlich, daß man für das Arbeiten auf der Unterseite des Trägerpapiers den Kastenrahmen nicht direkt auf den Arbeitstisch, sondern auf ein reines Papier legen muß. Schmutzflecke machen das Papier leitend.

Die Kraftfelder der Fig. 7, 8 und 10 sind nach dem zuerst beschriebenen Verfahren hergestellt. Die beiden schwarzen Scheibchen der Fig. 9 sind

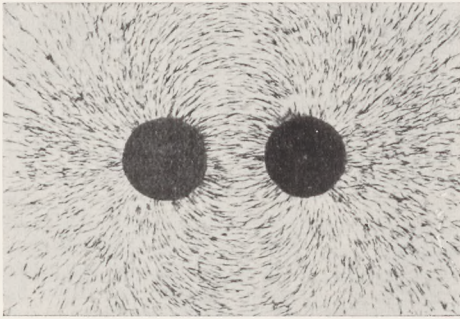


Fig. 8. Ungleichnamig geladene Kugeln.

auf der Unterseite des Trägerpapiers mit einer gebogenen Papierspange verbunden, woran die Spannung des einen Maschinenpoles angelegt wird. Um den anderen Pol auch benutzen zu können, wird aus dem geschwärzten Papier ein so

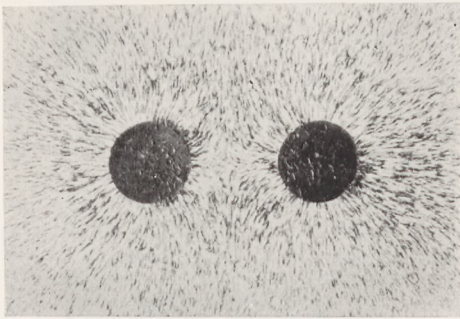


Fig. 9. Gleichnamig geladene Kugeln.

großes Rechteck ausgeschnitten, daß es gerade im Hohlraum des Rahmens Platz hat. Dann schneidet man aus diesem Rechteck eine möglichst große Ellipse aus, die nicht benutzt wird, und klebt den Rest des Rechteckes auf die Unterseite des Trägerpapiers so auf, daß die beiden von der Vorderseite her durchscheinenden Kreisscheibchen in der Mitte der elliptischen Aus-

sparung liegen. Die Einrichtung zur Gewinnung des Kraftfeldes der Fig. 10 gleicht der für die Fig. 9; der eine Pol kommt unter die große Kreisscheibe, der zweite an das Rechteck mit dem elliptischen

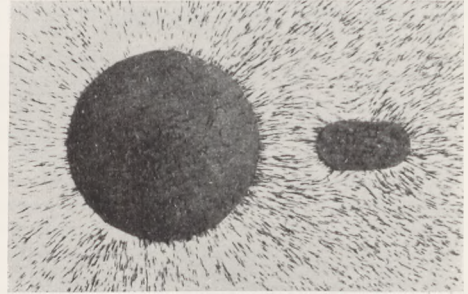


Fig. 10. Länglicher, ungeerdeter Konduktor im Feld einer Kugel.

Ausschnitt. Der längliche, kleine Konduktor erhält überhaupt keine Verbindung mit den Maschinenpolen. Die Vorrichtung für die Fig. 11 erhält man dadurch aus der für die vorhergehende Figur, daß man den länglichen, kleinen Konduktor

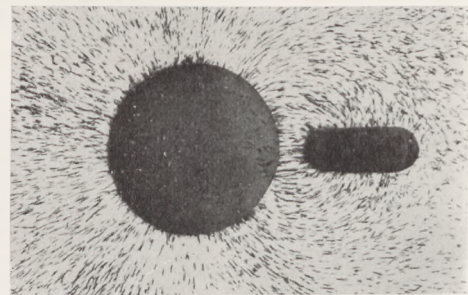


Fig. 11. Länglicher, geerdeter Konduktor im Feld einer Kugel.

mittels einer Papierspange mit dem Randrechteck leitend verbindet.

Die in diesem Aufsatz beschriebenen Versuchsanordnungen ermöglichen es jedem Lehrer, fast ohne Geldauslagen — wenige Reichsmark genügen dafür — vor den Augen der Schüler in kurzer Zeit verschiedene Kraftfelder darzustellen.

2. Forschungen und Ergebnisse.

Über die Entdeckung der Neutronen, Positronen und der künstlich erzeugten Radioaktivität¹. Von Privatdozent Dr. ERICH THILO in Berlin.

I. Einleitung.

Im Jahre 1911 hatte RUTHERFORD (1)² gezeigt, daß sich die Atome aus zwei Arten von Bestand-

¹ Nach einem vor der „Vereinigung der Schulchemiker“ am 29. Januar 1935 in Berlin gehaltenen Vortrag.

² Die eingeklammerten Zahlen bedeuten die Nummern des Literaturverzeichnisses am Schlusse des Aufsatzes.

teilen zusammensetzen, aus Atomkernen und Elektronen.

Die Atomkerne enthalten die gesamte Masse der Atome auf kleinstem Raum und sind positiv elektrisch geladen. Diese positive Kernladung wird durch eine entsprechende Zahl negativ geladener, fast masseloser Elektronen neutralisiert, die in relativ weiter Entfernung vom Atommittelpunkt den Kern umlaufen.

Seit NIELS BOHR (2), 1915, beschäftigte sich die Atomforschung zunächst mit dem Aufbau der Elektronenhülle und fand dabei eine Deutung der chemischen Eigenschaften der Atome und eine

Theorie des periodischen Systems der Elemente (3), worauf hier aber nicht näher einzugehen ist.

Die Atomkerne tragen positive Ladungen und enthalten die gesamte Masse der Atome. Die Anzahl der positiven Ladungen im Kern, die sog. Kernladungszahl (KZ) ist gleich der Ordnungszahl des betreffenden Elementes, d. h. gleich der Platznummer, die das betreffende Element im periodischen System hat, wenn die Elemente, bei Wasserstoff = 1 beginnend, bis Uran = 92 abgezählt werden.

Das bedeutet: jedes Element besteht aus Atomen, deren Kerne eine für jedes Element charakteristische positive Kernladung haben.

Während so für jedes Element eine bestimmte, physikalisch definierte Konstante in dieser Kernladungszahl besteht, ist die Masse der Atomkerne für die einzelnen Elemente nicht immer konstant. Besonders durch die Untersuchungen von ASTON (4), seit 1919, ergab sich, daß die meisten Elemente aus verschiedenen Arten von Atomen bestehen, die zwar alle die gleiche Kernladung haben, aber verschiedene Massen, die sehr nahe ganzzahlig sind, wenn man die Masse von O = 16 setzt. So besteht z. B. das Chlor mit seinem chemischen Atomgewicht 35,46 aus den beiden Atomarten Cl^{35}_{17} und Cl^{37}_{17} ¹ mit den ganzzahligen Massen 35 und 37. Chemisch sind diese beiden Atomarten identisch, denn sie haben dieselbe KZ 17 und damit auch 17 außen umlaufende Elektronen. Sie sind daher mit keinem chemischen Mittel voneinander zu trennen. Solche Atomarten nennt man bekanntlich Isotope. Das chemische Element Chlor besteht nun stets zu 75 % aus dem Isotop Cl^{35} und zu 25 % aus dem Isotop Cl^{37} . Das chemische Atomgewicht hat daher stets den gleichen Wert 35,46.

Außer dieser Isotopie der Atome oder besser der Atomkerne waren die Kenntnisse über den Aufbau der Atomkerne fast ausschließlich aus der Untersuchung der radioaktiven Erscheinungen abgeleitet. Sie bilden die Grundlage für die hier zu besprechenden neueren Ergebnisse der Atomkernforschung.

Die Untersuchung der natürlichen radioaktiven Erscheinungen hatte gezeigt (5), daß manche Atomkerne von selbst zerfallen und daß dabei drei Arten von Strahlen auftreten:

1. die α -Teilchen, doppelt positiv geladene He^{2+} -Kerne;

2. die β -Teilchen, einfach negativ geladene Elektronen mit einer dem H-Atom gegenüber fast verschwindenden Masse (ein 1840stel der Masse des H-Atoms);

3. die γ -Strahlen, die eine sehr kurzwellige elektromagnetische Strahlung von der Art der Röntgenstrahlen sind.

Von diesen drei Strahlenarten sind die α - und β -Teilchen als Bausteine² der Atome aufzufassen,

während die γ -Strahlen erst beim Zerfall der Atomkerne entstehen. Beim Atomzerfall wird nämlich Energie frei, die zum Teil in die kinetische Energie, die Bewegungsenergie der ausgesandten α - oder β -Teilchen verwandelt wird, zum anderen Teil in Form elektromagnetischer Strahlung auftritt, die dann als γ -Strahl erscheint.

Zu den schon lange bekannten Kernbausteinen, den α -Teilchen und den Elektronen, kam im Jahre 1919 noch ein drittes hinzu, als RUTHERFORD (7) fand, daß Stickstoffkerne beim Beschießen mit schnellen α -Strahlen eine neue Teilchenart aussenden; diese Teilchen erwiesen sich nach genauer Untersuchung als Elementarteilchen mit der Masse 1 und der Ladung +1, also als Wasserstoffkerne oder Protonen.

Als sich dann später fand, daß nicht nur Stickstoff, sondern auch viele andere — besonders leichte — Elemente (8) durch Bombardement mit α -Teilchen Protonen aussenden, mußte das Proton als drittes Elementarteilchen in den Atomkernen angenommen werden.

Da die von RUTHERFORD entdeckte künstliche Atomzertrümmerung nur ganz geringe Mengen von Protonen liefert — 10^6 , also eine Million α -Strahlen, liefern nur 1 bis 2 Protonen, weil die Wahrscheinlichkeit, daß ein α -Strahl gerade auf einen Atomkern trifft, sehr klein ist —, konnte bisher natürlich der entstandene Wasserstoff direkt chemisch nicht nachgewiesen werden. Und es war daher notwendig, Verfahren auszuarbeiten, die den Prozeß, der bei der Zertrümmerung eines Atomkerns stattfindet, beobachtbar machen und die alle Einzelheiten dieses Vorganges zu verfolgen gestatten.

Das anschaulichste der Verfahren, die das leisten, und das mit die Grundlage für alle neueren Entdeckungen auf diesem Gebiete bildet, ist die schon lange bekannte, aber jetzt erst quantitativ verwendbar gewordene (9) Nebelmethode von C. WILSON, mit deren Hilfe man die Bahn einzelner Elementarteilchen in allen Einzelheiten verfolgen kann. Seiner Wichtigkeit wegen soll dieses Verfahren hier kurz beschrieben werden.

Es beruht darauf, daß sich übersättigter Wasserdampf in staubfreier Luft nur an elektrisch geladenen schweren Teilchen, den sog. Gasionen, in Form von Nebeltröpfchen kondensiert. Je mehr Ionen vorhanden sind, um so mehr Nebeltröpfchen scheiden sich aus und umgekehrt, je mehr Nebeltröpfchen entstehen, um so mehr Ionen waren vorhanden.

Nun sind gerade die Atomtrümmer, also α - und β -Teilchen, befähigt, aus neutralen Molekülen Ionen zu erzeugen, und es werden um so mehr Ionen gebildet, je größer die Ladung und je größer die kinetische Energie der Teilchen ist. Ungeladene

kern enthalten sind, sondern erst bei der Umwandlung von Atomkernen entstehen — ähnlich wie die Lichtquanten bei Umwandlungen der Elektronenhülle —, soll hier noch nicht berücksichtigt werden, da sie bisher experimentell noch nicht genügend gesichert erscheint (6).

¹ Die unteren Indizes bedeuten, wie üblich, stets die Kernladung, die oberen Indizes die Massen der betreffenden Atome.

² Die heute vielfach gemachte Annahme, daß die Elektronen und auch die unten zu besprechenden Positronen nicht primär im Atom-

Teilchen oder γ -Strahlen können, wenigstens direkt, keine Ionen liefern.

Schießt man daher in einen Raum mit übersättigtem Wasserdampf, eine sog. Nebelkammer

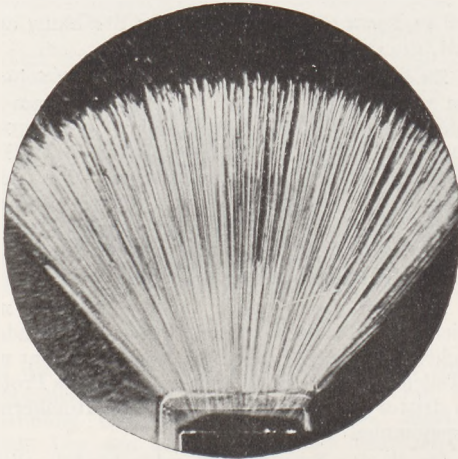


Fig. 1. Bahnen von α -Strahlen.

oder Wilsonkammer, Elementarteilchen hinein, so ionisieren sie die auf ihrem Wege liegenden Gasmoleküle, die nun sekundär als Kondensationskeime für den Wasserdampf dienen. Die dabei

geradlinigen Bahn abgelenkt (Fig. 2). Ihre Nebelspur besteht aus mehr oder weniger oft gekrümmten Linien, die nicht mehr vollkommen homogen sind, sondern nur aus einzelnen Wassertröpfchen bestehen.

3. Schließlich die γ -Strahlen haben selbst keine Ladung und können daher die Luft nicht direkt ionisieren. Man erkennt sie aber daran, daß sie durch ihr elektromagnetisches Wechselfeld ab und zu Elektronen aus den Molekülen herauswerfen und in Bewegung setzen, die nun ihrerseits die für Elektronen typischen Nebelspuren erzeugen (Fig. 3).

In Fig. 3 kommt der γ -Strahl von rechts; nichts von seiner Bahn ist direkt zu sehen, aber nach den Seiten gehen die Nebelspuren der Elektronen ab; die Anfangspunkte dieser Bahnen liegen alle auf einer geraden Linie, der Bahn der γ -Strahlen.

Niemals hat man beobachtet, daß γ -Strahlen andere Teilchen als Elektronen in Bewegung setzen, und das darum, weil ihre kinetische Energie (mv^2) zu klein ist, um Massen, die mindestens 2000mal so groß sind wie die des Elektrons, in Bewegung zu setzen; sie wirken nur durch ihr elektromagnetisches Wechselfeld auf die fast masselosen, aber elektrisch geladenen Elektronen.

Mit Hilfe dieses Verfahrens gelang es nun, die Prozesse, die bei der Zertrümmerung leichter



Fig. 2. Bahn eines Elektrons (schwach vergrößert).

ausgeschiedenen Wassertröpfchen kann man sehen und photographieren.

An Hand einiger photographischer Aufnahmen soll gezeigt werden, wie sich die einzelnen Kerntürmchen in der Nebelkammer verhalten.

1. Die α -Teilchen als schwere Teilchen mit doppelter Ladung liefern sehr starke balkenartige Bahnbilder (Fig. 1), denn ihrer großen kinetischen Energie und Ladung wegen erzeugen sie auf ihrem Weg sehr viele Ionen; ihre Bahn ist streng geradlinig.

2. Die β -Strahlen mit fast verschwindender Masse und kleiner Ladung ionisieren die Gase nur schlecht und werden außerdem, falls sie nicht sehr große kinetische Energie haben, ihrer kleinen Masse wegen durch die in allen Molekülen enthaltenen elektrischen Ladungen leicht aus ihrer

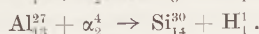
Atomkerne auftreten, zu verfolgen. Am Beispiel des Stickstoffs beobachtete man so z. B. stets, daß sich die Bahn der α -Teilchen plötzlich in zwei Zweige teilt, einen starken und einen schwachen (Fig. 4), und bei genauer Untersuchung der Länge, der Dicke und der Winkel zwischen den beiden Bahnzweigen läßt sich die kinetische Energie der Teilchen ableiten und ihre Ladung und Masse bestimmen.

Es ergab sich, daß in allen Fällen, bei denen aus Atomkernen beim Aufprall von α -Strahlen neue Strahlen entstehen, nicht eigentlich eine Atomzertrümmerung, sondern ein Atomaufbau stattfindet, denn die eine Bahn entsprach stets Teilchen von der Masse und Ladung 1, also Protonen, die andere stets einem Teilchen, dessen Masse größer war als die der bestrahlten Atomart.

Niemals ließen sich die eingestrahnten α -Teilchen wieder beobachten.

Die Deutung dieser Tatsachen besteht darin, daß die α -Teilchen in den betreffenden Atomkern eindringen und darin steckenbleiben und daß gleichzeitig ein Proton ausgesandt wird.

So wird z. B. aus B, N, Al:



Es entstehen also zwei neue Atome, und zwar schon von der Massenspektroskopie her bekannte Isotope Atomarten der Elemente C, O und Si neben je einem Proton.

Bis zum Jahre 1930 wurden keine anderen Arten von Atomzertrümmerung gefunden. Als Elementarteilchen für den Aufbau der Kerne¹ waren daher anzunehmen: α -Teilchen, doppelt-positiv geladene He^{++} -Kerne, Elektronen und Protonen, die Kerne der Wasserstoffatome.

II. Entdeckung der Neutronen.

Hier führte eine Entdeckung von BOTHE und BECKER (10) weiter, die fanden, daß manche leichten

Elemente beim Beschießen mit den besonders starken α -Strahlen des Poloniums eine sehr durchdringende γ -Strahlung aussenden, deren Intensität durch 3 cm dickes Blei noch kaum geschwächt wird.



Fig. 3. Die Bahnen von Röntgenstrahlen und γ -Strahlen sind selbst nicht als Nebelspur sichtbar; man erkennt sie daran, daß sie ab und zu Elektronen aus den auf ihrem Wege liegenden Molekülen herauswerfen. Die Bahnen dieser Elektronen beginnen alle auf derselben Geraden — durch einen Pfeil angedeutet —, die die Richtung der γ bzw. Röntgenstrahlen angibt.

Die intensivste γ -Strahlung dieser Art lieferte das Beryllium, etwa siebenmal so schwache B und Si und etwa dreißigmal so schwache das Al und Mg. Die aus allen diesen Atomen entstehende γ -Strahlung war ausgezeichnet durch ihr großes Durchdringungsvermögen. Sie hatte etwa die

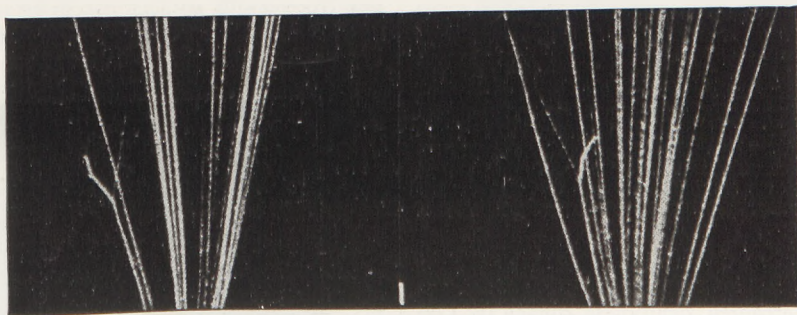


Fig. 4. Zwei Aufnahmen der „Zertrümmerung“ eines Stickstoffkernes nach BLACKETT. Man erkennt, wie sich beim Zusammenstoß von α -Teilchen mit Stickstoff die α -Bahn in zwei Zweige teilt: einen schwachen, der dem herausgeschleuderten Proton, und einen starken, der dem neu entstandenen O^{17} -Kern entspricht. Nach dem Zusammenstoß ist vom α -Teilchen nichts mehr zu sehen.

Die als stabil bekannten Isotope von den in diesem Bericht erwähnten Elementen.

Element	KZ	Chemisches Atomgewicht	Isotopenmassen, ganzzahlig
Li	3	6,940	7, 6
Be	4	9,02	9, (8)
B	5	10,82	11, 10
C	6	12,00	12, 13
N	7	14,008	14, 15
O	8	16,0000	16, 18, 17
Mg	12	24,32	24, 25, 26
Al	13	26,97	27
Si	14	28,06	28, 29, 30
P	15	31,02	31

¹ Siehe Anmerkung 2 auf S. 171.

Intensität der stärksten aus radioaktiven Prozessen überhaupt bekannten γ -Strahlung.

Als man nun diese unerwartete Strahlung genauer untersuchte [besonders J. CURIE und F. JOLIOT (11) in Paris, CHADWICK in Cambridge (12) und LISE MEITNER und F. RASETTI (13) in Berlin-Dahlem], stellten sich merkwürdige Ergebnisse heraus.

Es zeigte sich, besonders an der Strahlung aus Be, daß sich die im Elektrometer gemessene ionisierende Wirkung dieser Strahlung auf etwa den doppelten Betrag verstärkte, wenn man zwischen Strahlenquelle und Meßapparat Wasserdampf, eine Paraffinschicht oder sonst eine wasserstoffhaltige Substanz brachte. Diese Erscheinung zeigen die normalen γ -Strahlen radioaktiver Stoffe nicht.

Die Erklärung brachten Aufnahmen in der Nebelkammer (13). Die von dem mit α -Strahlen beschossenen Be ausgehenden Strahlen sind unsichtbar in der Nebelkammer. Bringt man aber ein Stück Paraffin über das Präparat, so gehen von diesem ab und zu Nebelspuren aus, und die Ausmessung ergab, daß diese Nebelbahnen nur durch Protonen erzeugt sein konnten (Fig. 5). Diese Protonen konnten nicht durch die α -Strahlen des Po erzeugt sein, denn solche

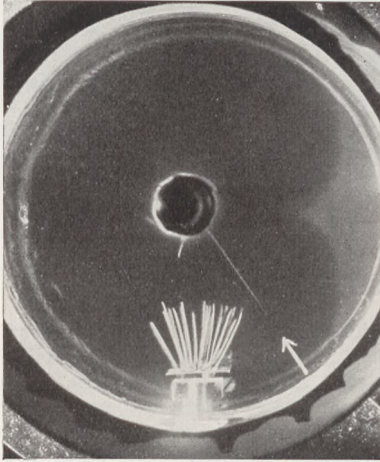


Fig. 5. In einer Nebelkammer sind in einem außen paraffinierten Zylinder Beryllium und ein α -strahlendes Po-Präparat angebracht. Man erkennt, durch Pfeil bezeichnet, einen aus der Paraffinschicht austretenden Wasserstoffstrahl, der durch die Neutronen aus dem Beryllium in Bewegung gesetzt wird. Die links davon auftretende, kurze stärkere Bahnspur ist wahrscheinlich einem aus dem Paraffin freigemachten Kohlenstoffteilchen zuzuschreiben. Die unten im Bilde auftretenden Bahnen entsprechen α -Strahlen, die mit dem eigentlichen Vorgang nichts zu tun haben und nur zur Kontrolle des Funktionierens des Apparates dienen.

α -Strahlen gehen durch die benutzte Be-Schicht nicht hindurch; sie konnten aber auch nicht von γ -Strahlen herrühren, denn diese können (S. 172) keine Masseteilchen, sondern nur Elektronen in Bewegung setzen.

Die Deutung fand CHADWICK (12). Es zeigte sich nämlich, daß nicht nur Protonen aus wasserstoffhaltigen Substanzen, sondern auch schwere Atome wie Helium, Kohlenstoff (Fig. 5) und Stickstoff von dieser geheimnisvollen, in der Nebelkammer nicht sichtbaren Strahlung in Bewegung gesetzt werden (Fig. 6).

Wie ist das möglich? Eine kinetische Energie, die so schwere Teilchen in Bewegung setzt, kann nur eine Strahlung besitzen, die selbst aus materiellen Teilchen mit großer kinetischer Energie besteht. Diese materiellen Teilchen dürfen aber keine Ladung tragen, denn sonst müßte man ihre Bahnspur in der Nebelkammer sehen. CHADWICK kam auf den Gedanken, daß diese „Be-Strahlen“ aus den schon lange vermuteten (14) Neutronen bestünden, die die Masse eines Protons und keine Ladung haben sollten. Die Frage war nur, wie das zu beweisen sei. Der Beweis gelang CHAD-

WICK (15) sehr einfach. Er untersuchte mit Hilfe der Nebelmethode die kinetische Energie, die auf die in Bewegung gesetzten Teilchen übertragen wurde. Denn nach den einfachen Gesetzen des elastischen Stoßes besteht zwischen Masse und Geschwindigkeit von stoßenden und gestoßenen

Teilchen die Beziehung $v = \frac{2m_n \cdot v_n}{m_n + m}$. v und m sind Geschwindigkeit und Masse des gestoßenen Teilchens, während sich die Symbole mit dem Index n auf das stoßende Teilchen, also hier das vermeintliche Neutron, beziehen. v und m des gestoßenen Teilchens sind bekannt: m , die Masse, z. B. des herausgeworfenen Protons, ist gleich 1, und v , die Geschwindigkeit, läßt sich aus der Länge der Nebelspur ableiten. In der Gleichung sind aber noch zwei unbekannte Größen, die Geschwindigkeit v_n und Masse m_n des stoßenden Teilchens enthalten, die jede für sich aus dieser einen Gleichung nicht abzuleiten sind. Um diese beiden Werte einzeln zu erhalten, ist es nur notwendig, zwei Beobachtungen zu kombinieren, z. B. wie es CHADWICK tat, eine in Wasserstoff, in dem Protonen mit $m = 1$, und eine in Stickstoff, in dem die N-Kerne mit $m = 14$ in Bewegung gesetzt werden. Dann hat man zwei Gleichungen, in denen nur dieselben beiden gesuchten Unbekannten v_n und m_n vorkommen. Und bei der Ausrechnung ergab sich tatsächlich, daß die Masse des stoßenden Teilchens gleich der des Wasserstoffs ist.

Die aus Be entstehende Strahlung mit der Eigenschaft, Atomkerne in Bewegung zu setzen,

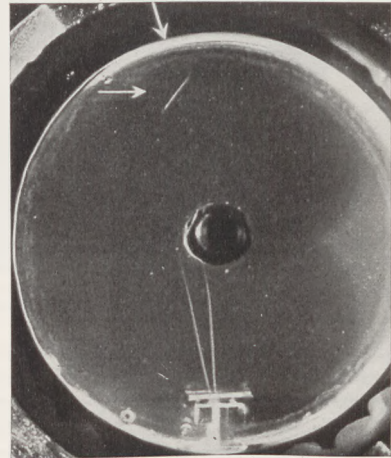


Fig. 6. Aufnahme wie in Fig. 5 in He-Atmosphäre. Durch Pfeile ist ein in Bewegung gesetztes He-Teilchen angedeutet. Der Zylinder war nicht paraffiniert. Die vom Zylinder ausgehenden Neutronen erzeugen keine Bahnspur.

besteht also aus Teilchen mit der Masse 1 und der Ladung 0, also aus Neutronen.

Später (1932) stellte sich bei genauerer Untersuchung heraus, daß das mit Po- α -Strahlen bestrahlte Be nicht nur Neutronen, sondern auch γ -Strahlen aussendet, und zwar so, daß die Zahl

der emittierenden γ -Quanten proportional zu der der Neutronen ist (10, 13).

Solche Neutronen hat man seitdem auch bei der Beschöpfung anderer leichter Elemente gefunden, und stets gemeinsam mit γ -Strahlen; so z. B. bei den Elementen Li, Be, B, F, Na, Mg und Al, so daß also das Neutron im Aufbau der Atomkerne eine ähnliche Rolle spielen muß wie die α -Teilchen, Elektronen und Protonen.

Die Neutronen zeichnen sich, einmal fre gemacht, durch sehr großes Durchdringungsvermögen aus, ähnlich wie die γ -Strahlen. Das liegt daran, daß sie keine Ladung haben, nicht einmal ein elektromagnetisches Wechselfeld darstellen wie die γ -Strahlen und daher nur beim Zusammentreffen mit den schweren Atomkernen ihre Energie abgeben können.

Sie unterscheiden sich von den γ -Strahlen durch zwei Erscheinungen:

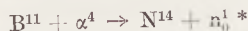
1. γ -Strahlen setzen sichtbar nur Elektronen in Bewegung, Neutronen nur Atomkerne oder allgemein Masseteilchen (16).

2. γ -Strahlen werden durch Materie aus schweren Atomkernen leichter absorbiert als durch Materie aus leichten Atomen, z. B. durch Pb leichter als durch Graphit, weil die schweren Atome auf gleichem Raum mehr Elektronen enthalten als leichte. Umgekehrt bei den Neutronen. Diese werden durch schwere Materie weniger gebremst als durch eine gleich schwere Schicht leichter Atome, weil sie in den leichten häufiger Gelegenheit haben, mit einem Atomkern zusammenzutreffen.

Während wir z. B. vorhin sahen (S. 173), daß aus



wird, so ergibt sich jetzt, daß aus B mit α -Strahlen auch Neutronen entstehen; man schreibt diese Zerfallsart dem Bor-Isotop 11 zu nach der Gleichung



und das aus dem Grunde, weil zuerst FEATHER (17) und dann auch L. MEITNER und K. PHILIPP (18) zeigen konnten, daß Neutronen nicht nur Atomkerne in Bewegung setzen, sondern auch zertümmern können. Bewiesen ist das unter anderem am Stickstoff, der dabei ein α -Teilchen und ein Atom von der Masse 11 nach der Gleichung



liefert. Dies war das erste Beispiel dafür, daß ein Prozeß im Atomkern auch umgekehrt verlaufen kann.

III. Entdeckung der Positronen.

In demselben Jahr 1932, in dem CHADWICK die schon lange vermuteten Neutronen entdeckte, fanden C. ANDERSON (19) in Pasadena und BLACKET (20) in Cambridge unabhängig voneinander noch einen vierten neuen Atombaustein. Ihre Funde bauen auf Untersuchungen von W. BOTHE und W. KOHLHÖRSTER (21) auf, die zeigten, daß die Höhenstrahlung, wenn nicht überhaupt, so doch zum wesentlichen Teil aus

materiellen Teilchen besteht. Die nähere Untersuchung in der Nebelkammer ergab zunächst, daß meist Schwärme von 2 bis 20 Teilchen an demselben Ort auftreten, die — aus der Art der Nebelspuren zu schließen — aus Elektronen bestehen. Um aber auch sicher zu sein, daß die fraglichen Teilchen wirklich Elektronen waren, untersuchten sie ihre Ablenkung im Magnetfeld und fanden dabei das merkwürdige Ergebnis, daß sich zwar ein Teil von ihnen in jeder Beziehung genau wie Elektronen verhielt, ein anderer aber sich von den ersten in einem Punkt unterschied. Sie waren in allem identisch mit den Elektronen, nur ihre Ablenkung im Magnetfeld war dem Sinne

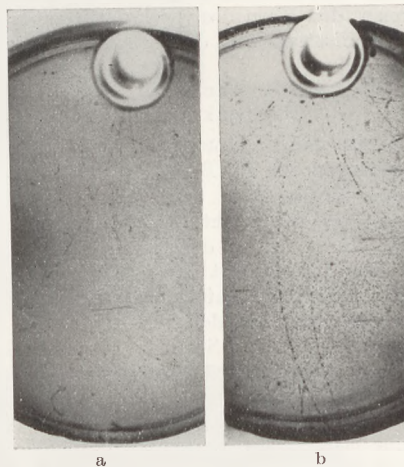


Fig. 7. Mit (Po + Be) γ -Strahlung aus Messing ausgelöste Elektronen im Magnetfeld. In Bild a erkennt man, daß je ein von der Messinghülse austretendes Elektron nach links und rechts abgelenkt wird. In Bild b sind nur gewöhnliche (nach rechts abgelenkte) Elektronen zu erkennen. Das in Bild b nach links abgelenkte Teilchen ist ein Positron.

und auch bei gleicher Geschwindigkeit der Größe nach den eigentlichen Elektronen genau entgegengesetzt. Sie schlossen daraus, daß die Teilchen wirklich alle Elektronen sind, nur daß ein Teil von ihnen die entgegengesetzte Ladung wie die normalen altbekannten Elektronen hat. Sie nannten diese Teilchen Positronen, d. h. Elektronen mit positiver Ladung.

Sehr bald danach fanden L. MEITNER und PHILIPP (22), daß ganz dieselben Teilchen auch künstlich (ohne Höhenstrahlung) erzeugt werden können. So gab z. B. Messing, das mit der durchdringenden Strahlung aus Be bestrahlt wurde, Elektronen, und eine Untersuchung im Magnetfeld zeigte, daß auch diese aus Messing entstandenen Elektronen zum Teil eine der Größe und Richtung nach entgegengesetzte Ablenkung wie die normalen Elektronen aufwiesen (Fig. 7).

Es fragte sich nur, ob diese neue Elektronenart durch die γ - oder die Neutronenausstrahlung des durch Po α angeregten Be erzeugt wird. Diese Frage bearbeiteten dann verschiedene Forscher (23), und dabei stellte sich heraus, daß auch reine γ -Strahlen, z. B. von ThC'', solche positiven

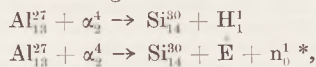
* n_0^1 = Neutron.

Elektronen erzeugen können, und zwar treten diese Positronen um so leichter auf, je intensiver die γ -Strahlen und je schwerer die bestrahlten Atome sind. Uran gibt, z. B. unter gleichen Bedingungen, etwa achtmal soviel Positronen wie Al, Pb etwa sechsmal und Cu viermal soviel wie Al. Außerdem geben noch eine große Zahl anderer Elemente Positronen ab, und das nicht nur durch Einwirkung von γ -Strahlen, sondern auch, wie zuerst J. CURIE und F. JOLIOT (23) zeigten, beim Bestrahlen mit α -Teilchen.

Das Positron¹ ist daher neben den α - und β -Teilchen, den Protonen und Neutronen als der fünfte Elementarbaustein der Materie zu betrachten. (Als sechsten kann man wohl noch die Deutonen, den Kern des vor kurzem entdeckten Wasserstoffisotops mit der Masse 2, ansehen.)

IV. Die Entdeckung der künstlichen Radioaktivität.

J. CURIE und F. JOLIOT (23) untersuchten, ob die Positronen aus Al, B und Be mit den unter denselben Bedingungen auftretenden Neutronen gekoppelt sind oder nicht. Es stellte sich heraus, daß dies für B und Al der Fall ist, für Be aber nicht. Bei Be entsteht für jedes Positron ein stets gleichzeitig mit auftretendes Elektron. Betrachten wir hier nur den Fall des Al, so sieht man, daß das Al mit α -Strahlen, wie schon lange bekannt (S. 173), Protonen liefert, daß es aber, wie jetzt gefunden, unter denselben Bedingungen auch Neutronen und Elektronen liefert. Diese Tatsache ist insofern interessant, als beide Prozesse zu demselben Ergebnis führen:



denn nur so würde Gleichheit der Massen und Ladungen auf beiden Seiten der Gleichung erfüllt sein. Die französischen Forscher schlossen aus diesem Befund zunächst, daß das Proton kein eigentlicher Elementarbaustein ist, sondern aus einem Neutron und einem Positron besteht.

Um dies beweisen zu können, war es notwendig zu wissen, was eigentlich aus dem Al bei der Abgabe eines Neutrons und eines Positrons wird.

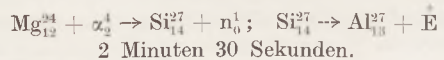
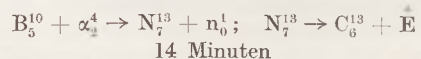
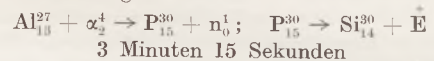
Bei der Untersuchung dieser Frage wurde die künstliche Radioaktivität entdeckt. J. CURIE und F. JOLIOT (24) bestrahlten Al mit α -Strahlen aus Po und fanden, daß die Menge ausgesandter Positronen langsam bis zu einem Grenzwert von etwa 150/Minute anstieg. Wurde nun die erregende α -Strahlenquelle entfernt, so hörte die Entstehung von Positronen nicht auf, sondern war noch etwa eine halbe Stunde lang deutlich zu beobachten, also ohne daß das Al noch mit irgendwelchen erregenden Strahlen angeregt wurde. Wurde das Al wieder mit α -Strahlen beschossen, so stieg die Ausbeute an Positronen wieder bis zum Grenzwert, um nach Entfernung der Strahlenquelle wieder genau ebenso abzufallen. Und das konnte beliebig oft wiederholt werden. Bei

näherer Untersuchung des Abfalls der Positronenstrahlung nach Entfernung des Po zeigte sich, daß es nach einem Potentialgesetz erfolgt, genau wie bei allen anderen bekannten radioaktiven Elementen. Die nach den Verfahren der Radioaktivität ermittelte Halbwertszeit, d. h. die Zeit, die es dauert, bis die Hälfte der von selbst strahlenden Atome zerfallen war, betrug 3 Minuten und 15 Sekunden.

Genau Entsprechendes ergab sich für B und Mg. Auch diese Elemente sandten nach Ausschaltung der erregenden α -Strahlung Positronen aus, nur war die Halbwertszeit für Mg 2 Minuten 30 Sekunden und für B 14 Minuten. Außerdem zeigte sich, daß während, aber nur während der Beschießung von Al, B und Mg durch α -Strahlen auch Neutronen aus diesen Elementen auftreten (Fig. 8). Diese Befunde wurden bald darauf von L. MEITNER (25) bestätigt. In Fig. 8 sind die Vorgänge für Al nach L. MEITNER wiedergegeben.

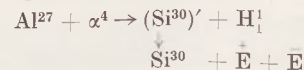
Es war nun also zu deuten, wie die α -Strahlen aus Al, B und Mg radioaktive Elemente erzeugen können, die unter Aussendung von Positronen in stabile, nicht strahlende Elemente übergehen.

Die Deutung, die J. CURIE und F. JOLIOT (24) gaben, war folgende:



Sie bestand in nichts anderem, als in der Zerlegung des vorhin genannten Prozesses in zwei Etappen; die Al-, B- und Mg-Atome fangen die α -Strahlen ein und geben primär ein Neutron ab. Dabei entstehen Atomkerne, die isotop zu bekannten Atomen des P, N, Si sind (s. Tabelle S. 173), aber Massen haben, die bisher in der Natur nicht gefunden sind, d. h. diese Isotope des P, N und Si sind instabil und zerfallen nun nach den Gesetzen der Radioaktivität weiter, nur daß sie nicht, wie die bekannten radioaktiven Elemente Elektronen, sondern Positronen aussenden. Bei der Aussendung der Positronen entstehen dann stabile Isotope von Si, C und Al, die auch in der Natur vorkommen.

Eine zweite Deutung für den Fall des Al, die auch von J. CURIE und F. JOLIOT diskutiert wurde, war die, daß man annimmt, daß — wie schon vorhin gesagt — aus Al + α nach der Gleichung



Si und ein Proton entsteht, das entstehende (Si^{30})' aber noch „angeregt“ ist und, um in den stabilen Kern überzugehen, noch je ein Elektron und Positron abgibt. Diese Deutung ist aber unwahrscheinlich, denn bei dem Zerfall des aktiven Produktes sollten sich nach dieser Deutung auch negative Elektronen bilden, die aber nach Fortnehmen des Po nicht gefunden werden konnten (s. Fig. 8).

¹ S. Anmerkung 2 auf S. 171.

* E = Positron; $\bar{\text{E}}$ = Elektron.

Daß der Zerfall tatsächlich nach dem ersten genannten Schema stattfindet, konnten J. CURIE und F. JOLIOT (26) rein chemisch beweisen.

Sie bestrahlten zunächst Bor mit einem sehr starken Po-Präparat, so daß die maximale Intensität der im Bor entstandenen Aktivität 100000 Atomen entsprach. 100000 Atome sind aber nur

aber mit bestrahltem BN (Bornitrid). Stickstoff stört die Erscheinung der Aktivität nicht, denn N gibt keine aktiven Produkte. Das aktiv gemachte BN wurde zunächst mit verdünnter Sodalösung behandelt, dabei blieb reines Bor im Rückstand, das sich als inaktiv erwies, und NH_3 entwich mit Wasserdampf. Die Operation hatte 6 Minuten

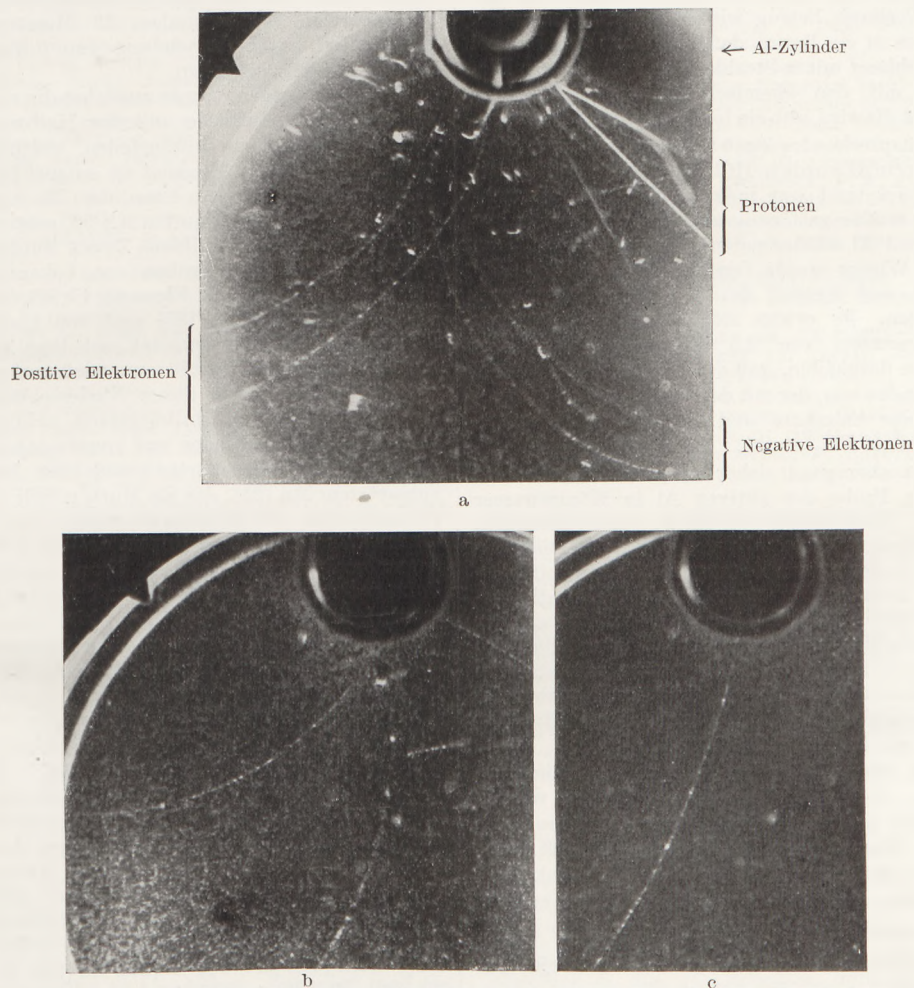


Fig. 8. a Wilsonkammer mit einem α -strahlenden Po-Präparat im Al-Zylinder. Auf dem Bilde sind zu erkennen: 1. negative Elektronen, die von der α -Strahlung des Po herrühren, 2. Protonen, die nach dem Schema $\text{Al}^{27} + \alpha^4 \rightarrow \text{Si}^{30} + \text{H}^1$ entstehen, 3. die positiven Elektronen. b Eine Aufnahme derselben Kammer, 5 Sek. nach Entfernung des erregenden Po-Präparates aus dem Al-Zylinder. Das Al sendet nur noch positive Elektronen aus (3 zu erkennen). c Aufnahme nach 9 Min., zeigt noch ein positives Elektron.

Während der Aufnahmen war ein magnetisches Feld an die Kammer gelegt, das die positiven Elektronen im Bild nach links, die negativen Elektronen nach rechts, die Protonen ihrer großen kinetischen Energie wegen aber nicht merklich ablenkt.

der 10^{-17} . Teil eines Mols, d. h. ein Trilliontel eines Mols. Eine solche Menge ist natürlich direkt chemisch nicht nachzuweisen, aber leicht auf Grund ihrer Radioaktivität.

Nach der Deutung der Aktivität des mit α -Strahlen angeregten Bors sollte das aktive Element Stickstoff sein und sich daher chemisch vom inaktiven Bor abtrennen lassen. Mit elementarem Borphpulver ging das aber schlecht, wohl

gedauert; der Rückstand hätte, käme die Aktivität dem Bor zu, bei einer Halbwertszeit von 14 Minuten aber noch aktiv sein müssen.

Daraufhin wurde eine zweite frische aktive Probe BN mit trockener Soda im Vakuum geschmolzen; dabei entwich NH_3 , und dieses Ammoniak wurde mit flüssiger Luft in einem Glasröhrchen ausgefroren. Seine Untersuchung ergab eine Aktivität, die genau der entsprach, die man

nach der 5 Minuten dauernden Operation erwarten mußte und mit einer Halbwertszeit von 14 Minuten abklang, genau wie die dem Bor induzierte Aktivität.

Bei einem dritten Versuche wurde genau wie eben NH_3 freigemacht und über ein mit HCl getränktes Papier geleitet. Das Papier nahm die Aktivität auf, es bildete sich NH_4Cl , und die Halbwertszeit betrug wieder genau 14 Minuten.

Dies ist ein Beweis dafür, daß aus dem Bor bei Bestrahlung mit α -Strahlen ein radioaktives Element mit den chemischen Eigenschaften des Stickstoffs wird, also ein instabiles Stickstoffisotop.

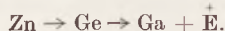
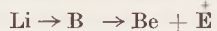
Entsprechendes ergab sich für Aluminium. Das aktivierte Al wurde in HCl gelöst und eingedampft, der Rückstand war inaktiv, die aktive Komponente mußte gasförmig zusammen mit dem aus HCl und Al entstehenden Wasserstoff entweichen sein. Wieder wurde frisches aktives Al in HCl gelöst, und diesmal das Gas über Wasser aufgefangen. Es erwies sich als aktiv mit einer Halbwertszeit von 3,5 Minuten. Schon dies deutete darauf hin, daß aus dem Al tatsächlich P entstanden war, der mit dem naszierenden Wasserstoff aus Salzsäure und Aluminium Phosphorwasserstoff PH_3 ergibt.

Um aber ganz sicher zu gehen, wurde eine weitere Probe des aktiven Al in Königswasser gelöst. Dabei mußte sich das P, wenn vorhanden, zu Phosphorsäure oxydieren. Und tatsächlich entstand in der sauren Lösung mit Zr ein abfiltrierbarer Zirkonphosphatniederschlag, der die gesamte Aktivität enthielt, auch hier wieder mit der richtigen Halbwertszeit von 3,5 Minuten. Die beim Auflösen des Al in Königswasser entstehenden Gase waren genau so wenig aktiv wie vorher der Eindampfrückstand, d. h. der aktive Stoff ist sicher ein instabiles P-Isotop.

Mit diesen Befunden war nun tatsächlich bewiesen, daß das Al beim Beschießen mit α -Strahlen auf zwei verschiedene Arten reagieren kann. Einmal unter Bildung von $\text{Si}^{30} + \text{H}_1^+$, das andere Mal unter Bildung von radioaktivem instabilen P unter Aussendung eines Neutrons und darauffolgendem Zerfall des P^{30} in $\text{Si}^{30} + 1 \text{ E}$.

Außerdem ist nun sehr wahrscheinlich, daß nach: $\text{H}_1^+ = 1 \text{ n}_0^+ + \text{E} =$ ein Proton unter Abgabe eines positiven Elektrons in ein Neutron übergehen kann; und schließlich sind hiermit zum ersten Male künstlich erzeugte Atome rein chemisch isoliert worden.

Spätere Untersuchungen, besonders von LISE MEITNER (27), bestätigten diese Versuche und ergaben, daß auch außer dem von CURIE und JOLIOU gefundenen B, Al und Mg noch andere Elemente durch α -Strahlenwirkung in künstlich radioaktive Elemente übergehen, so z. B.



Schließlich fanden E. FERMI und seine Mitarbeiter (28), daß den meisten Elementen durch

Beschießung mit Neutronen eine mehr oder weniger starke Radioaktivität erteilt werden kann.

Besonders interessant sind die Ergebnisse, die FERMI (29) beim Bestrahlen des Urans mit Neutronen erhielt. Es ergab sich, daß das Uran dabei stark β -strahlend wird und die β -Strahlung von mindestens vier verschiedenen radioaktiven Substanzen stammt, die mit Halbwertszeiten von 10 Sekunden, 40 Sekunden, 13 Minuten und 90 Minuten unter Aussendung von β -Strahlen, also Elektronen, zerfallen.

Näher untersucht wurde zunächst die aus dem Uran gebildete Substanz mit der Halbwertszeit von 13 Minuten, um festzustellen, welchem bekannten chemischen Element sie entspricht, d. h. zu welchem das aus dem Uran, dem Element mit der bisher größten bekannten KZ 92, entstandene Element isotop ist. Zu diesem Zweck wurden dem Bestrahlungsprodukt Proben von bekannten β -strahlenden Isotopen der Elemente U (92), Ga (91), Th (90), Ac (89), Ra (88) und von inaktivem Bi (83) und Pb (82) zugesetzt und diese Zusätze aus der Lösung der Substanz wieder chemisch ausgefällt. In keinem dieser Niederschläge war die mit 13 Minuten Halbwertszeit abklingende aktive Substanz zu finden und konnte daher auch mit keiner dieser Atomarten isotop sein. Nur mit zugesetztem Mn (25), das als MnO_2 gefällt wurde, fiel auch die „13-Minuten-Substanz“ aus. Aus diesen Tatsachen schloß FERMI, daß die bei Neutronenbeschießung aus dem Uran entstehende Substanz zu keinem der bisher bekannten Elemente isotop ist, sondern einem bisher überhaupt nicht bekannten manganähnlichen Element mit einer KZ, die größer als 92 ist, entspricht. Da die aktive „13-Minuten-Substanz“ auch mit Re (75) zusammen ausfiel, hielt er sie für das Element 93, das aller Wahrscheinlichkeit nach Re-ähnliche Eigenschaften haben muß.

In allerneuester Zeit haben O. HAHN und L. MEITNER (30) diese Versuche nachgeprüft und auf ähnliche Weise wie FERMI zeigen können, daß die beiden aus Uran durch Neutronenbeschießung entstehenden Elemente mit den Halbwertszeiten von 13 und 90 Minuten zu keinem der Elemente Hg (80), Tl (81), Pb (82), Bi (83), Po (84), Em (86), — (87), Ra (88), Ac (89), Th (90), Pa (91) und U (92) isotop sein können, sondern Elementen mit Kernladung größer als 92 entsprechen müssen. Nach HAHN und MEITNER ist die heute wahrscheinlichste Annahme die, daß der 13-Minuten-Körper dem Element 93, der 90-Minuten-Körper dem Element 94 entspricht.

Durch die Entdeckung der Neutronen, Positronen und der künstlichen Radioaktivität ist die Theorie über den Aufbau der Atomkerne in ein neues Stadium getreten. Von vielen Seiten werden die sich daraus ergebenden Probleme bearbeitet. Es ist daher zu erwarten, daß wir in nicht zu ferner Zeit eine ähnlich geschlossene Theorie des Atomkerns haben werden, wie wir sie für die Elektronenhülle durch die Arbeiten von BOHR, BORN, HEISENBERG, HUND, SCHROEDINGER u. v. a. besitzen.

Auch die reine Chemie wird durch FERMI'S Entdeckung bisher nicht in der Natur auffindbarer Elemente vor ungeahnt neue Probleme gestellt.

V. Literaturverzeichnis.

1. E. RUTHERFORD: Philos. Magazine **21**, 669 (1911); **27**, 488 (1914), s. auch 3.
2. N. BOHR: Abhandlungen über Atombau. Braunschweig: F. Vieweg & Sohn 1921. — Drei Aufsätze über Spektren und Atombau. Braunschweig: F. Vieweg & Sohn 1922. — Über den Bau der Atome. Berlin: Julius Springer 1924.
3. E. RABINOWITSCH und E. THILO: Periodisches System, Geschichte und Theorie. Stuttgart: Ferdinand Enke 1930.
4. F. W. ASTON: Isotopes. London: E. Arnold & Co.
5. S. z. B. 3. — F. PANETH u. G. v. HEYVESY: Lehrbuch der Radioaktivität. Leipzig: Johann Ambrosius Barth. — St. MEYER u. E. SCHWEIDLER: Radioaktivität, 2. Aufl. Leipzig: B. G. Teubner 1927.
6. Z. B. L. MEITNER: Atomkern und periodisches System der Elemente. Naturwiss. **22**, 733 (1934).
7. E. RUTHERFORD: Philos. Magazine **37**, 538, 571 (1919). — Über die Kernstruktur der Atome. Leipzig: S. Hirzel 1921.
8. H. PETERSSON u. G. KIRSCH: Atomzertrümmerung. Akad. Verl. Ges. Leipzig 1926.
9. U. a. Arbeiten von P. M. S. BLACKETT u. Mitarb.: Proc. Roy. Soc., London Serie A; besonders wichtig: Proc. **107**, 349 (1925); **123**, 613 (1929); **134**, 658 (1932); **136**, 325, 338 (1932) und Physik. Zeitschr. **32**, 663 (1931). — S. auch L. MEITNER: Atomvorgänge und ihre Sichtbarmachung. Stuttgart: Ferdinand Enke 1926.
10. W. BOTHE u. H. BECKER: Naturwiss. **18**, 705 (1930); **19**, 753 (1931); **20**, 349 (1932). — Zeitschr. Physik **66**, 289, 307 (1930); **76**, 421 (1932).
11. J. CURIE: Compt. rend. Acad. Sciences **193**, 1412 (1931). — F. JOLIOT: Compt. rend. Acad. Sciences **193**, 1415 (1931). — I. CURIE u. F. JOLIOT: Compt. rend. Acad. Sciences **194**, 273, 708, 876 (1932); **196**, 397; **197**, 237 (1933).
12. J. CHADWICK: Nature **129**, 312 (1932).
13. F. RASETTI: Naturwiss. **20**, 252, 350 (1932).
14. Z. B. L. MEITNER: Zeitschr. Physik **4**, 146 (1921). W. D. HARKINS: Naturwiss. **21**, 575 (1933) (auch W. NERNST: Theoretische Chemie. Stuttgart: Ferdinand Enke).

15. J. CHADWICK: Proc. Roy. Soc., London Serie A **136**, 692 (1932). — Zeitschr. Elektrochem. **38**, 546 (1932).
16. H. BECKER u. W. BOTHE: Naturwiss. **20**, 757 (1932).
17. N. FEATHER: Proc. Roy. Soc., London Serie A **136**, 709 (1932). — Nature **130**, 237 (1932).
18. L. MEITNER u. K. PHILIPP: Naturwiss. **20**, 929 (1932).
19. C. D. ANDERSON: Science **76**, 238 (1932). — Physik. Rev. **40**, 325; **41**, 405 (1932). — Naturwiss. **22**, 293 (1934).
20. P. M. S. BLACKETT u. G. P. S. OCCHIALINI: Nature **130**, 363 (1932). — Proc. Roy. Soc., London Serie A **139**, 699 (1933).
21. W. BOTHE u. W. KOHLHÖRSTER: Naturwiss. **17**, 271 (1929). — W. BOTHE: Naturwiss. **21**, 825 (1933).
22. L. MEITNER u. K. PHILIPP: Naturwiss. **21**, 286 (1933).
23. J. CURIE u. F. JOLIOT: C. R. hebdom. Séances Acad. Sci. **196**, 1105, 1581 (1933). — Journ. Physique Radium **4**, 494 (1933). — C. D. ANDERSON: Science **77**, 432 (1933). — J. CHADWICK, P. M. BLACKETT u. G. OCCHIALINI: Nature **131**, 473 (1933). — L. MEITNER u. K. PHILIPP: Naturwiss. **21**, 468 (1933).
24. J. CURIE u. F. JOLIOT: C. R. hebdom. Séances Acad. Sci. **198**, 254 (1934).
25. L. MEITNER: Naturwiss. **22**, 173 (1934).
26. J. CURIE u. F. JOLIOT: C. R. hebdom. Séances Acad. Sci. **198**, 559 (1934).
27. L. MEITNER: Naturwiss. **22**, 420 (1934).
28. E. FERMI: Nature **133**, 757 (1934). — Nuovo Cimento (N. S.) **11**, 429, 482 (1934).
29. E. FERMI: Nature **133**, 898 (1934). — E. AMALDI, O. D'AGOSTINO, E. FERMI, F. RASETTI u. E. SEGRÉ: Ric. sci. V. **2**, 21 (1934). — E. FERMI, E. AMALDI, O. D'AGOSTINO, F. RASETTI u. E. SEGRÉ: Proc. Roy. Soc., London Serie A **146**, 483 (1934).
30. O. HAHN u. L. MEITNER: Naturwiss. **23**, 37 (1935).

Zu den Fig. 1 bis 3 ist zu vergleichen L. MEITNER: Atomvorgänge und ihre Sichtbarmachung. Stuttgart: Ferdinand Enke 1926. — Zu Fig. 4 ebenso A. HAAS: Atomtheorie. Berlin u. Leipzig: de Gruyter 1929. — Zu den Fig. 5 und 6 desgl. F. RASETTI: Über die Natur der durchdringenden Berylliumstrahlung. Die Naturwissenschaften, Bd. 20, S. 252 u. 253. Berlin: Julius Springer 1932. — Zu Fig. 7 L. MEITNER u. K. PHILIPP: Die bei Neutronenanregung auftretenden Elektronenbahnen. Die Naturwissenschaften, Bd. 21, S. 286. Berlin: Julius Springer 1933. — Zu Fig. 8 L. MEITNER: Über die von J. CURIE u. F. JOLIOT entdeckte künstliche Radioaktivität. Die Naturwissenschaften, Bd. 22, S. 173. Berlin: Julius Springer 1934.

4. Unterricht und Methode.

Der Schmalfilm in der Schule II. Von Dr. W. RAHNS in Berlin.

Sorgsame Pflege von Apparaten und Filmen ist die erste Pflicht für alle, die in der Schule mit dem Film zu tun haben. Zunächst muß der Film sachgemäß gelagert werden. Der Film enthält von der Herstellung her noch Reste organischer Lösungsmittel in der Unterlage und in der Gelatineschicht etwa 10% Wasser von der Bilderzeugung her. Die Lagerung soll nun grundsätzlich so erfolgen, daß weder Wasser noch Lösungsmittel entweichen; man lagere den Film also in nicht zu warmen Räumen bei etwa 15° bis 20° und bei mittlerer Feuchtigkeit 40 bis 60%; nicht zu trocken, dann entweicht zu viel Wasser aus der Gelatineschicht und der Film wird spröde; nicht zu feucht, dann fängt die Gelatine an zu faulen. Ein einfacher Versuch: Man trockne den Film in einem Trockenschrank bei 80° bis 100° C künstlich aus und überzeuge sich davon, wie spröde und brüchig der Film geworden ist. Erst längeres Lagern bei etwa 80% Feuchtigkeit gibt dem Film

seine alte Geschmeidigkeit wieder. Am besten bewahrt man den Film in fest verschlossenen Blechbüchsen auf, die einen vollständigen Abschluß der Außenluft gewährleisten. Ein Stück Kampfer in den Blechbüchsen hilft den Film geschmeidig erhalten. Frische Filme bedürfen bei den ersten Vorführungen der besonderen Schonung, da sie, wie der technische Ausdruck lautet, stark absetzen. Man versteht darunter die Abscheidung kleiner Gelatineteilchen aus der Umgebung der Perforationslöcher, die sich an den Kufen der Vorführungsapparate festsetzen und beim Durchlauf auf dem Film starke Verschrammungen, häufig sogar auch Perforationszerstörungen verursachen. Man erkennt diesen Fehler an dem schnatternden Geräusch, das der Film beim Durchlaufen durch den Apparat verursacht. Sobald dies auftritt, muß man die Vorführung sofort unterbrechen und die Filmbahn gründlich reinigen — wie es die jedem Apparat beigefügte Gebrauchsanweisung vorschreibt. Je älter die Filme sind, um so geringer ist die Gefahr des Absetzens.

Ehe man den Film in den Apparat einlegt, überzeuge man sich davon, daß er richtig auf die Spule aufgewickelt ist. Fast jede Spule hat auf einer Stirnseite eine Aufschrift, und man muß nun die Spule so in den Apparat einsetzen, daß die Beschriftung vorn, d. h. auf der der Apparatenachse abgewandten Seite, liegt. Zur Bestimmung des richtigen Wicklungssinnes (Fig. 1) nehme man die Spule in die rechte Hand, halte sie vor sich und ziehe mit der linken Hand etwa 1 m Film nach oben ab; sieht man jetzt gegen die nach innen gewickelte Seite des Films, so müssen Bilder bzw. Titel aufrecht stehen und seitenrichtig sein. Steht das Bild auf dem Kopf, so war der Film nach der letzten Vorführung nicht zurückgewickelt; steht das Bild aufrecht, aber seitenverkehrt, so ist beim Umwickeln die falsche Seite

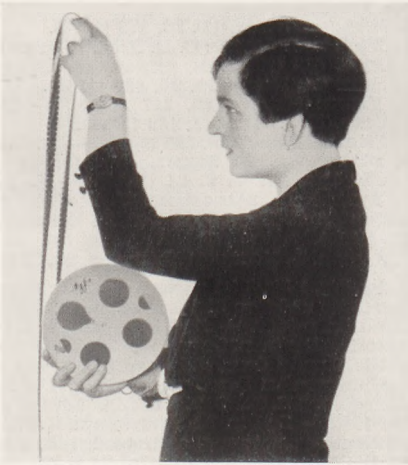


Fig. 1. Richtige Haltung beim Einlegen des Films.

nach innen gewickelt worden. Im letzteren Falle kann man sich dadurch helfen, daß man entgegen der obigen Vorschrift die Spule mit der Schriftseite nach hinten aufsteckt. Man muß dann nur beim Umrollen die volle Spule ebenfalls wieder verkehrt, die leere Spule aber richtig aufstecken; dann ist der Fehler behoben. Wenn man die Spule nach dieser Vorschrift betrachtet, weiß man immer die richtige Filmlage, gleichgültig ob man einen Original-Umkehrfilm, eine Kopie oder eine Verkleinerung vor sich hat.

Zwei Fehler sind es in der Hauptsache, die den Film für die Vorführung untauglich machen: die Perforationszerstörung und die Verschrammung. Wir sehen von den Fällen ab, in denen grobe Fehler beim Einlegen des Films in den Apparat gemacht worden sind. Wird der Film im Bildfenster zu stark angedrückt und dadurch in seiner Bewegung zu stark gebremst, so wird der Film nicht reibungslos durch die Aufwickelspule aufgerollt, sondern deren Zähne finden Widerstand in den Perforationslöchern und zerstören sie. Man muß sich also stets davon überzeugen, daß bei geschlossenem Apparat und ausgeschaltetem Greifer der Film sich leicht im Bildkanal

hin- und herziehen läßt. Man kann den Andruck des Bildfensters auf den Film leicht durch einen kleinen Versuch nachweisen: man lege den Film in den Filmkanal und hänge an das unten herausragende Filmende in zwei Perforationslöcher derselben Waagerechten kleine Gewichte. Das Gewicht, bei dem der Film gerade durch den Kanal hindurchgezogen wird, gibt das richtige Maß für den Andruck im Bildfenster. Ist der Andruck zu gering, so ist der Bildstand schlecht; ist der Andruck zu groß, so besteht die Gefahr, daß die Perforation leidet. Bei besonderen Filmen, wie dem Ozaphanfilm, muß man, um eine zu starke Beanspruchung zu vermeiden, eine besondere Aufwickelspule, die sog. Friktionsspule, verwenden.

Wesentlich schwerer läßt sich das Zerkratzen und Verschrammen des Films vermeiden, und in der Regel ist der Film durch Schrammen verdorben, ehe die Perforation beschädigt ist. Hier gilt nur eine Regel — peinlichste Sauberkeit: Alle Teile der Apparate, die mit dem laufenden Film in Berührung kommen, sind so geglättet und poliert, daß durch sie der Film nicht verkratzt wird; es sind die sich festsetzenden Staub- und Schmutzteilchen, die sich leicht verhärtend und den vorüberlaufenden Film verschrammen. Daher gewöhne man sich daran, nach jeder Vorführungsstunde die Filmbahn mit den beigefügten Hilfsmitteln zu reinigen, den Apparat stets staubfrei aufzubewahren, den Film vor Staub zu schützen, ihn nicht auf dem Boden schleifen zu lassen, beim Umrollen nicht Staub mit einzurollen usw. Man gehe mit dem Film wie mit einem gut polierten oder lackierten Gegenstand um, dessen blitzende Oberfläche durch jede unachtsame Behandlung verletzt wird. Häufig kann man einen zerschrammten oder verregneten Film dadurch retten, daß man ihn an bestimmte Firmen (Recono u. dgl.) gibt, die ihn wieder „entregnen“. Das selbst zu machen, ist meistens zu gefährlich; außerdem besteht auf dem Gebiet ein weitreichender Patentschutz.

Wir kommen jetzt zu den optischen Verhältnissen bei der Projektion. Wie wir im Teil I sahen, dürften in der Schule bis jetzt selten selbst aufgenommene Filme vorgeführt werden; meistens werden aber auch in Zukunft die Filme aus Archiven entnommen sein, und dann sind es fast immer Verkleinerungen von 35 mm breiten Originalen, sei es auf Acetylcellulose, sei es auf Ozaphanfilm. Die Reduktion geschieht im linearen Verhältnis 2,5 : 1, so daß das Verhältnis der Höhe zur Breite des Schmalfilmbildes das gleiche ist wie beim Kinobild, 3 : 4 oder 1 : 1,33. Die Verkleinerung geschieht in sog. optischen Maschinen, in denen gewissermaßen jedes einzelne Normalfilm-Negativbild verkleinert auf Schmalfilm-Positivfilm photographiert wird. Dieser Positiv-Schmalfilm wird ebenso entwickelt wie der beliebige Normal-Positivfilm, so daß die Bildqualität des Schmalfilms der des Normalfilms nicht nachzustehen braucht; man kann nur vom Schmalfilm nicht so große Projektionsbilder erhalten, aber für Schulräume reichen Größe und Helligkeit des Schmalfilmbildes vollständig aus.

Das Bild hat auf dem Schmalfilm die Größe $0,75 \times 1,05$ cm; die Bildbreite beträgt also rund 1 cm. Dadurch vereinfacht sich die Formel zur Berechnung der Schirmbildgröße (b) aus dem Abstand (a) vom Apparat zum Schirm und der Brennweite (f) zu der Gleichung:

$$b = \frac{a}{f}.$$

Also für ein Objektiv mit 5 cm Brennweite ergibt sich bei dem Bildabstand 6 m = 600 cm eine Bildgröße 1,2 m. Folgende Tabelle gibt für die gebräuchlichsten Schmalfilmobjektive den Zusammenhang zwischen Abstand und Bildgröße:

Brennweite des Objektivs	Entfernung Apparat-Schirm							
	4 m	5 m	6 m	7 m	8 m	9 m	10 m	
	Bildbreite in m							
3,5 cm	1,15	1,40	1,70	2,00	2,35	2,55	2,85	
5,0 cm	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	
6,5 cm	0,60	0,80	0,95	1,10	1,25	1,40	1,55	

Für die Praxis merke man sich die Regel, daß die längste Bildseite dem Beschauer unter einem Winkel von 9° erscheinen soll, oder einfacher, daß die Bildbreite etwa $\frac{1}{6}$ des größten Beschauerabstandes betragen muß; bei Klassenräumen von 6 bis 8 m Länge genügt also eine Bildbreite von 1 bis $1\frac{1}{4}$ m.

Es ergibt sich weiter aus obiger Tabelle die Beantwortung der häufig gestellten Frage: ist es für die Helligkeit eines Schirmbildes gleichgültig, ob man seine Größe durch Veränderung der Brennweite oder des Apparateabstandes variiert — vorausgesetzt, daß man stets Projektionsobjektive der gleichen relativen Öffnung verwendet?

Damit kommen wir zu der wichtigen Frage der Helligkeit des Schirmbildes. Gemessen wird die Helligkeit in Lux durch einfache im Handel befindliche Luxmeter, die mittels einer photoelektrischen Zelle den auf die Flächeneinheit auffallenden Lichtstrom bestimmen. Für Schulzwecke ist eine Helligkeit von 40 Lux bereits als das Minimum bezeichnet worden¹, doch ist zu empfehlen, diesen Wert zu überschreiten.

Der Lichtstrom, den der Apparat aussendet, wird in Lumen angegeben. Gute Schulapparate sollen bei laufender Blende mindestens einen Lichtstrom von 150 Lumen haben. Es ist aber immer zu beachten, daß die Messungen von Lux und Lumen nie sehr exakt sind, weil die Netzspannungen schwanken, weil die verschiedenen Lampen voneinander abweichen usw., so daß also die angegebenen Werte immer die Mittelwerte aus einer Reihe von Beobachtungen darstellen.

Der Zusammenhang zwischen Lux und Lumen ist durch die Formel gegeben:

$$\text{Lux} = \frac{\text{Lumen}}{\text{Fläche}},$$

wobei die Fläche in m^2 zu messen ist. Ein Apparat von 100 Lumen gibt also bei einer Bildgröße von 1 m^2 die Flächenhelligkeit 100 Lux; da sich beim

Kinobild Bildhöhe zu Bildbreite wie 1:1,33 verhält, hat ein derartiges Bild also die Breite 1,15 m.

$$x \cdot \frac{x}{1,33} = 1 \text{ m}^2, \quad x = 1,15 \text{ m}.$$

Für eine durchschnittliche Klassenprojektion kann man also die Lux- und Lumenzahlen einander gleichsetzen. Für breitere Projektionsbilder entnehme man die abgerundeten Luxzahlen nachfolgender Tabelle:

Bildbreite	Lux bei einem Lichtstrom von Lumen				
	100	126	150	175	200
1 m	133	166	200	233	266
1,25 m	85	106	127	149	170
1,50 m	59	75	89	104	118
1,75 m	43	54	65	76	87
2,00 m	33	41	50	58	66
2,50 m	21	27	32	37	43
3,00 m	15	19	22	26	30
3,50 m	11	14	16	19	22

Für jeden Apparat ist angegeben, mit welcher Stromstärke und welcher Spannung die Lampe

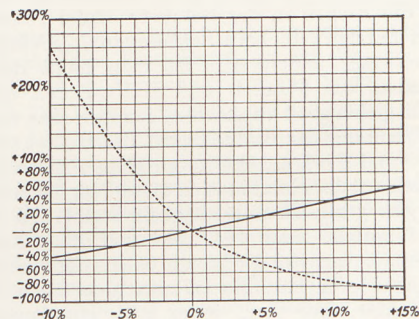


Fig. 2. Osramkurve: Lebensdauer, Helligkeit in Abhängigkeit von der Überbelastung.

brennen soll; die meisten Schulapparate werden 375-Watt-Lampen verwenden, und es ist dringend zu raten, sich an die auf dem Lampensockel angegebenen Volt- und Amperezahlen zu halten und nicht zu versuchen, durch Überbelastung eine größere Helligkeit zu erzielen. Es ist zwar anscheinend sehr verlockend, denn nur eine geringe Überspannung gibt eine schon merkbare Helligkeitssteigerung; aber wie die beigegebenen Kurven der Osramgesellschaft zeigen (Fig. 2), sinkt gleichzeitig die Lebensdauer der Lampen in erschreckendem Maße. Für einen normalen Schulprojektor soll die Lampe eine Lebensdauer von mindestens 50 Stunden haben.

Neben der richtigen Bildgröße und der ausreichenden Helligkeit wird vom Schulfilm Flimmerfreiheit und ruhiges Stehen verlangt. Da das Flimmern von verschiedenen Personen verschieden empfunden wird, es außerdem von der Bildhelligkeit und anderen Faktoren abhängt, kann man keine ganz genauen Angaben machen, wann ein Schirmbild nicht mehr flimmert. Allgemein gilt die Regel, daß das Flimmern um so geringer ist, je häufiger Hell und Dunkel je

¹ Rüst: 3. Internat. Lehrfilmkongreß, Wien.

Sekunde wechseln, und daß bei etwa 50 derartigen Wechseln das Auge ein Flimmern nicht mehr wahrnimmt. Bei einer Vorführgeschwindigkeit von 16 Bildern je Sekunde muß man daher die Zeit des Bildstandes noch mindestens zweimal unterbrechen, um zu einem flimmerfreien Bild zu kommen, d. h. die Zahl der Dunkelpausen während des Transportes und des Standes eines Bildes muß mindestens 3 betragen. Zu diesem Zweck hat die rotierende Blende bei den modernen Apparaten eine besondere Ausbildung erfahren; im einfachsten Fall hat die Blende nur einen offenen und einen geschlossenen Sektor von je 180° ; dann beträgt die Zeit des Bildstandes und des Bildtransportes je $\frac{1}{32}$ Sekunde, wenn die Blende 16mal in der Sekunde rotiert. Nun kann man aber die rotierende Blende noch unterteilen, so daß sie zwei Dunkelsektoren und zwei Hellsektoren von je 90° hat. Bei der gleichen Tourenzahl der Blende und bei einem schnelleren Filmtransport wird dann der Film in $\frac{1}{64}$ Sekunde fortbewegt, und die Stillstandszeit $\frac{3}{64}$ Sekunde wird dann durch eine Dunkelpause von $\frac{1}{64}$ Sekunde unterbrochen. Wenn man nun weiterhin die Filmtransportgeschwindigkeit noch erhöht, so kann man die Blende in der Sekunde 32mal rotieren lassen und den Film bei 4 Sektoren in $\frac{1}{128}$ Sekunde fortbewegen; andererseits ist man nicht daran gebunden, die Dunkel- und Hellsektoren einer Blende gleich groß zu machen, sondern man kann zur Erhöhung der Bildhelligkeit die Hellsektoren größer und die Dunkelsektoren kleiner halten, so daß sich aus der Kombination dieser Möglichkeiten eine sehr große Mannigfaltigkeit ergibt. In der Praxis spricht man von Ein- und Mehrflügelblenden, je nachdem die Blende einen oder mehrere Dunkelsektoren hat. Es ist nach dem oben Gesagten klar, daß man, wenn z. B. ein Apparat eine Ein- und Zweiflügelblende hat, bei 16 Bildern in der Sekunde die Zweiflügelblende nehmen muß, bei 24 Bildern (Tonvorführungen) dagegen eine Einflügelblende verwenden kann.

Erfahrungen aus dem Unterricht an technischen Lehranstalten. Von H. BLASIUS in Bergedorf bei Hamburg.

Die Studierenden der höheren technischen Lehranstalten verlassen die höhere Schule im Regelfalle mit der Obersekundareife, arbeiten dann mindestens 2 Jahre praktisch und sind 19 bis 20 Jahre alt, wenn sie in die fachliche Ausbildung eintreten. In 5 Halbjahren werden sie dann zum Ingenieur ausgebildet. Grundlage des Studiums ist ein ausführlicher Unterricht in Mechanik: 12 Wochenstunden im ersten Halbjahr, 10 im zweiten und 4 im dritten, im ganzen also etwa $26 \cdot 20 \sim 500$ Kurzstunden. Selbstverständlich sollen diese Studierenden für die Technik, nicht für die Forschung ausgebildet werden. Aber es ist doch nicht so, daß sie nur formal angelernt zu werden verlangten. Vielmehr sind die Fragen, die der nach dem Verständnis der Grundlagen ringende Menschengestalt stellt, immer und überall dieselben. So ist die geistige Lage mit der auf der Oberstufe der höheren Schule bestehenden durchaus ver-

gleichbar. Über diesen Unterricht, wie ich ihn in meinen Lehrbüchern¹ niedergelegt habe, will ich berichten.

1. Wie 3 schiefe Kräfte miteinander im Gleichgewicht sind, ist eine letzten Endes durch Versuche zu lösende Frage. Aber der Versuch allein führt ja noch nicht aufs Kräfteparallelogramm, sondern nur zu Tabellen und Kurven. Um die Form des Gesetzes zu finden, braucht man noch einen spekulativen Gedanken. („Und was sie deinem Geist nicht offenbaren mag, das zwingst du ihr nicht ab mit Hebeln und mit Schrauben.“) Es darf doch nicht einfach angegeben werden: Man habe gefunden, daß die Resultante zweier Kräfte die Diagonale sei. Der Studierende verlangt nach einem psychologisch einleuchtenden Weg, wie „man“ zwecks Lösung von Gleichgewichtsaufgaben auf den Gedanken der Diagonale kommt. Die Analogie zum Parallelogramm der Bewegungen ist naheliegend, aber nicht zwingend. Die Berufung auf die Zusammensetzung der Beschleunigungen ist zu weit hergeholt. Die Beschleunigung als Vektor ist ja für sich allein schon eine schwierige Vorstellung. Am besten scheint es mir, an eine einfache Form des Arbeitssatzes anzuknüpfen, wie es z. B. bei der STEVINSchen Kette geschieht. Die Messungen dienen dann der Bestätigung des Ergebnisses.

2. Technik und tägliches Leben liefern zahlreiche Beispiele zur Statik, für Kräfteck und Schnittpunktsatz, für Komponenten und Momentengleichungen: Hängewerk und Sprengwerk, Ladebaum, Kniehebel, dreieiniger Bock, verspannter Mast, Drehkran, Brückenträger, Waagen, Leitern, Baugerüste, Dreigelenkbogen, Fachwerke, räumliche Auflagerkräfte von Wellen, Zahnrad-, Schnecken-, Differentialgetriebe, Hebelbremse, Seilbremse, Hubschraube, Lagerreibung usw. Eine ganze Reihe solcher Beispiele muß durchgerechnet werden bis zum Ende, bis zur Berechnung der Stützkkräfte, bis zum Zahlenergebnis, wenn der Sinn der Konstruktionen und Rechenverfahren klar werden soll. Begriffe wie Kraft lassen sich ja nicht definieren. Es sind nur Stichworte, die uns daran erinnern, was wir bei der Lösung einer bestimmten Gruppe von Aufgaben übereinstimmend tun. Wollte man definieren, so könnte man nur sagen: Kräfte (Schwerkraft, elastische Kraft, Reibungskraft) sind die Zustandsfunktionen, die in den Gleichgewichtsbedingungen vorkommen. Der Studierende lernt aber durch Vormachen und Nachmachen, nicht durch Befolgen abstrakter Regeln. Nur so kann man ihn zur selbständigen Anwendung der Gleichgewichtsbedingungen bringen. Das ist bei uns ja das Ausbildungsziel. Aber auch allgemein besteht doch der Bildungswert der Physik nicht in einer oberflächlichen Kenntnisaufnahme ihrer Ergebnisse, sondern in einer

¹ H. BLASIUS: Mechanik; 1. Teil: Statik; 2. Teil: Elastizität und Festigkeit [siehe diese Zeitschrift 47, 132 (1934)]; 3. Teil: Kinematik, Dynamik, Hydraulik. Ferner: Wärmelehre [siehe diese Zeitschrift 46, 83 (1933)], Verlag Boysen und Maasch in Hamburg.

Einsicht dessen, wie es gemacht wird. Mechanik ist die Kunst, zu jeder Aufgabe die Momentengleichung richtig hinschreiben zu können.

3. Ein Wort noch zu der Frage: Gleichgewicht oder Zerlegung? Wenn eine Last an 2 Drähten, an einem Ladebaum oder dgl. aufgehängt ist, so kann die Lösung der Aufgabe in zwei Formen ausgedrückt werden: I. Die Stützkkräfte halten die Last im Gleichgewicht; geschlossenes Kräfteck. II. Die Last wird zerlegt in die an den Befestigungsstellen wirkenden Kräfte; Parallelogramm. Beide Ausdrucksweisen haben ihre Vorteile: I ist die ursprüngliche. Denn der Versuch zum Kräfteparallelogramm bringt Kräfte (z. B. Gewichte) miteinander ins Gleichgewicht. II gilt nur unter dem Gesichtspunkt, daß das Gleichgewicht durch Zusammensetzen und Zerlegen der Kräfte nicht gestört wird. So muß man es auch darstellen; sonst wird man stets Schwierigkeiten mit dem Zerlegungsverfahren haben. Andererseits steht II der technischen Naturauffassung von Ursache und Wirkung, Mittel und Zweck näher, während I nun wieder alle Kräfte, Lasten und Stützkkräfte, als gleichberechtigt behandelt, was auch für die Vorbereitung der Festigkeitslehre wertvoll ist. Der Studierende muß mit beiden Auffassungen vertraut werden.

4. Man findet zuweilen unzuweckmäßige Beispiele: Da wird beim Treideln eines Kahn's der schiefe Zug zum Ufer zerlegt in Vortriebskraft und Seitenzug. Das führt aber noch lange nicht zur Berechnung der Kraft. Der Kahn muß ja durch Steuern schief gestellt werden. Dann aber wird der Wasserwiderstand anders als bei gerader Fahrt. Davon ist dann aber nicht weiter die Rede. Die Aufgabe ist nicht durchgeführt. — Unzulänglich ist auch das Beispiel des Segels oder des Windmühlenflügels. Die Kraft senkrecht zum Flügel ist nämlich nicht etwa Komponente einer Kraft parallel zum Wind; auch nicht etwa „angenähert“ oder „grundsätzlich“. Vielmehr ist die Kraft abhängig vom Anstellwinkel grundsätzlich eine durch Versuche zu bestimmende Funktion.

5. Das Gebiet der Elastizitäts- und Festigkeitslehre ist bei uns sehr umfangreich. Wir stellen zunächst Festigkeit und Formänderung bei Zug, Druck, Schub experimentell fest; ein Beispiel zur Konstantenbestimmung. Genauigkeit braucht man dabei nicht zu erstreben. Dann behandeln wir die Biegung von Balken unter beliebiger Belastung bei beliebigem Querschnitt. Das führt zu Aufgaben wie: Blattfeder, Kranhaken, Zahnstange, armerter Träger, verspannter Blechschornstein, Standfestigkeit von Mauern, Masten, Gewölben, gemauerten Schornsteinen u. a. Die Berechnung von Wellen auf Verdrehung und Biegung gibt Gelegenheit, die Frage nach den Spannungen auf schiefen Schnitten (Spannungs„tensor“) und nach der Festigkeit beim zweiachsigen Spannungszustand zu behandeln. Schließlich werden erledigt: elastische Durchbiegung von Balken, dabei statisch unbestimmte Aufgaben; Knickfestigkeit als Stabilitätsaufgabe und Berechnung von Schraubenfedern. Solche Aufgaben sind nicht nur für den Ingenieur wichtig. Denn die Frage nach der Festig-

keit der Maschinen und Bauwerke ist der eigentliche Sinn auch der Statik. Wir berechnen die Stützkkräfte doch zu dem Zweck, die Abmessungen der Stützen festzulegen. So erst wird das Anwendungsbeispiel vollständig.

6. Überhaupt sollte der Physikunterricht der allgemeinbildenden Schulen neben der Erforschung der Gesetze gleichmäßig auch die Anwendungen berücksichtigen. Auch der Schüler fragt: „Wozu braucht man das?“ Diese Frage hat nichts zu tun mit Geldverdienen und Banausentum. Es ist vielmehr ein logisches Bedürfnis, aus der Fragestellung der Aufgabe heraus den Sinn der Begriffe und Verfahren zu erkennen, zu sehen, zu welchem Zweck, zu welchem Ende, zu welchem Ziel sie führen sollen. Wissenschaft und Technik haben sich zu allen Zeiten gegenseitig angeregt. Aufgabe der allgemeinbildenden Schule ist es, dem Schüler ein volles, allseitiges Kulturbild zu vermitteln, ihm den Zusammenhang zwischen Forschung und Anwendung zu zeigen. Gerade dazu eignen sich die verhältnismäßig einfachen Zusammenhänge der Statik und Festigkeitslehre sehr gut. Der Schüler nimmt nicht nur Ergebnisse zur Kenntnis, sondern sieht auch, wie es gemacht wird. Das hat Bildungswert. In diesem Sinne möchte ich wünschen, daß der Gedanke der Festigkeitslehre im Rahmen des Möglichen in der Schule Eingang finde.

7. Die Dynamik stelle ich hinter die Statik. Denn die Kräfte (Gewichte, Federkräfte, Reibungskräfte) sind statisch „definiert“ (geeicht, gemessen). Bei jeder nicht ganz trivialen Dynamikaufgabe braucht man die Kräftezerlegung, Momente usw. Die Gleichung $\text{Kraft} = \text{Masse} \times \text{Beschleunigung}$ ist ja nicht Definition der Kraft, sondern eine Tatsache, die an der Fallmaschine festgestellt wird, und die die statische Messung der Kräfte voraussetzt. — Bei der Masse treten die bekannten begrifflichen Schwierigkeiten auf wegen der Zweideutigkeit des Wortes „Gewicht“ als Maß der Stoffmenge und als Maß der Kraft, und des Wortes „Masse“ als Maß der Stoffmenge und als Maß der Trägheit. Im Sinne des Trägheitsgesetzes definiere ich die „Masse“ als „Kraft für die Einheit der Beschleunigung“ und nenne sie anfänglich auch noch „Trägheit“. Sie ist dann deutlich unterschieden von Stoffmenge und Kraft. Das läßt sich besonders gut durchführen, wenn man von der Statik herkommt mit der statischen Kräfteinheit. Ein Gewicht, dessen Schwerkraft = 40 kg ist, hat dann die

$$\text{Trägheit} = 4,08 \text{ kg sk}^2/\text{m} = 4,08 \text{ kg für } 1 \text{ m/sk}^2.$$

Im übrigen klärt man diese Unterscheidungen am besten nicht durch lange begriffliche Auseinandersetzungen, sondern an Hand der Rechenerfahrung.

8. Im Gebiete der Kinematik, Dynamik, Hydraulik bietet die Technik mannigfaltige Beispiele über die üblichen hinaus: Kurbelgetriebe, Verzahnungen, Planetengetriebe; Anfahrt und Bremsen von Wagen auf Gefälle; Biegungsbeanspruchung der Kuppelstange einer Lokomotive durch Trägheitskräfte; Stabilität der Einstellung von Reglern; elastische Welle; Massenausgleich;

Planetenbewegung; Winkelbeschleunigung von Getrieben; Schwingungen; Schwungradberechnung; Formenergie in Federn; Beanspruchung von Kesseln und Behältern durch Flüssigkeitsdruck; Talsperrenmauer; Walzenwehr; aktiver und passiver Sanddruck; Druckabnahme in der Atmosphäre; Stabilität der Einstellung von U-Boot und Luftballon; Stabilität des Schwimmens; Ausflußgeschwindigkeit aus Düsen, Druckverlauf in Wasserleitungen; Wasserschloß und Widder; Widerstand umströmter Körper, Schiffe, Flügel. Auch hier muß man durch eine gewisse Fülle von Beispielen eine Vorstellung von der Tragweite der Gesetze geben. Das ist wichtiger, als lange kritisch bei dem Grundgesetz zu verweilen. („Ein Kerl, der spekuliert, ist wie ein Tier, auf dürrer Heide von einem bösen Geist im Kreis herumgeführt, und ringsherum liegt schöne grüne Weide.“) Einzelne interessantere Anwendungen werden auch vorgeführt und zahlenmäßig durch Versuche bestätigt.

9. Die Tragweite der Gesetze erfaßt man auch, wenn man dieselbe Aufgabe auf verschiedene Arten löst: nach dem Trägheitsgesetz und nach dem Energiesatz. Der Energiesatz ist ja nicht nur eine interessante Feststellung, sondern ein Mittel, etwas zu berechnen. Wenn man z. B. die kinetische Energie eines fahrenden Eisenbahnwagens ausrechnet, hat man ja erst die halbe Aufgabe gelöst. Auf der anderen Seite der Gleichung steht z. B. die Formenergie der durch den Stoß des Wagens zusammengedrückten Pufferfedern, deren Beanspruchung berechnet werden soll. Der Sinn der Begriffe und Gesetze offenbart sich im Rechnen mit ihnen. — Das gilt auch vom Impuls. Es ist leicht, aus

Masse mal Beschleunigung = Kraft
den Satz

Masse mal Geschwindigkeit = Kraft mal Zeit,
Impuls = Antrieb

zu bilden.

Man muß aber doch einsehen, daß es sich lohnt, ihn zu bilden: In der Anwendung auf Systeme fällt nämlich die Wirkung der inneren Kräfte heraus. Man gelangt so zu einem neuen Erhaltungsgesetz, wie das von der Erhaltung der Energie. Das zeigt man an Hand von Beispielen wie Rücklauf des Geschützrohres, ballistisches Pendel, elastischer und unelastischer Stoß und Energieverlust bei diesem; Ramme; Ruderboot; Maschinengewehr; Peltonrad; Propeller; Achsial- und Radialturbine; Injektor; Wasserschlag; Wasserschwall; Schallgeschwindigkeit.

10. Die Forderung, die Theorie durch sinnvolle Beispiele zu erläutern, ist eigentlich selbstverständlich. Aber es genügt meines Erachtens noch nicht einmal, erst die Theorie zu entwickeln und hinterher ein paar Beispiele dazu zu rechnen. Der Sinn der Begriffe wird erst klar, wenn wir sie aus dem Bedürfnis heraus entwickeln, wenn man von vornherein sieht, auf welchen Gegenstand sie sich beziehen. Man muß von der Aufgabe ausgehen, und zwar auch gleich von einer zahlenmäßig bestimmten Aufgabe. Das gibt die

Fragestellung; daraus entwickelt sich die Forschung, die Theorie. So ist es auch geschichtlich gewesen: die Beobachtung regte den Menschen zur Benutzung, zur Untersuchung an. Zuletzt erst kam der systematische, kritische Aufbau. Indem man solchen Weg nachgeht, wird der Studierende nicht nur formal angelernt, sondern erhält Einblick in die Denkweise des produktiven, schaffenden Menschengenies. Das und nur das hat Bildungswert. Natürlich braucht man nicht den vielfach verschlungenen Weg der wirklichen Geschichte der Wissenschaft zu gehen, sondern einen abgekürzten, gleichsam geschichtlichen, „quasihistorischen“, „freigeschichtlichen“ Weg.

11. So baue ich also die physikalischen Grundlagen vom technischen Standpunkt aus auf, indem ich einzelne, lose aneinandergereihte Aufgaben durcharbeite, die in ihrer Gesamtheit die zu entwickelnde Theorie belegen. Ich glaube, auf diese Weise die Theorie anschaulich, besser gesagt: gegenständlich zu machen; nicht wegen der Technik, sondern vermittels der Technik als ihres natürlichen Gegenstandes. Im Gegensatz dazu ist der systematische Aufbau der Theorie, die kritische Zergliederung der Begriffe etwas Nachträgliches; verständlich nur für den, der die Kenntnis von Einzelheiten bereits besitzt. — Die Mathematik wird sparsam benutzt, nur insoweit sie wirklich nötig ist. Die algebraische Ableitung überführt nur, überzeugt aber nicht. Es ist im Gegenteil so, daß die physikalischen Anwendungen zur Erläuterung der Mathematik dienen müssen.

12. In dieser Weise baue ich auch die Wärmelehre auf. Dafür stehen 4 Stunden im zweiten Halbjahr, 2 Stunden im dritten, insgesamt $6 \cdot 20 = 120$ Kurzstunden zur Verfügung. Ich beginne mit der Ausdehnung der Körper an Hand von Beispielen wie Eisenbahnschiene, Hebung des Dreigelenkbogens, Schrumpfring, Gasgewichte, Luftbedarf bei Verbrennung, Zusammensetzung der Abgase, Schornsteinzug, Bemessung von Rohrleitungen für strömende Gase u. a. Dann folgt Wärmebedarf und Wärmeübergang bei Heizanlagen. Die Formeln für Arbeit und Wärme bei idealen Gasen und Dämpfen ergeben sich bei Gelegenheit der Berechnung von Druckluftmaschine, Kompressor, Dampfmaschine, Kältemaschine, feuerlose Lokomotive, Drosseln, Ausströmung aus Düsen. Dabei kommt auch das Verhalten der Stoffe beim kritischen Punkt und beim Tripelpunkt zur Sprache. Besonderen Wert lege ich auf die Entwicklung des Begriffes Energieinhalt (u) zum Gebrauche bei der Berechnung von Wärme oder Arbeit. Die vielbenutzte Größe $u + pv$, fälschlicherweise Wärmeinhalt genannt, erkläre ich als den Energiestrom, der mit dem Gase oder Dampfe durch die Leitung fließt.

13. Dann wird die Frage nach der Ausnützbarkeit der Wärme, nach der Abwärme bei den Kreisprozessen der Wärmekraft- und Kältemaschinen aufgeworfen. Dabei tritt der Verwandlungswert, die Entropie, ganz von selbst auf. Wir rechnen z. B. so: Für die Erzeugung von

gesättigtem Dampf von 10 ata aus Speisewasser von 45° C ist

die Erzeugungswärme = 619 kcal/kg,
der Verwandlungswert = 1,424 kcal/kg Gr.

Das bedeutet: Zur Rückverwandlung des ausgenutzten Dampfes in Speisewasser müssen mindestens 1,424 kcal pro kg Dampf und pro Grad (absolut) der Kühlertemperatur abgegeben werden. Bei der Kondensatortemperatur 45° C ist also

Abwärme = $1,424 \cdot 318 = 453$ kcal/kg.

Es bleiben als Arbeit 166 kcal/kg $\sim 27\%$.

Die Entropie wird verständlich, wenn man mit ihr rechnet. Sie ist nicht nur ein interessantes Integral, das auf geschlossenem Wege stets ≥ 0 ist, woraus man dann allgemeine Schlüsse zieht. Auch bei der Berechnung der adiabatischen Expansion und des Arbeitsverlustes beim Drosseln spielt sie eine Rolle und wird schließlich zum Aufbau von Diagrammen benutzt.

14. Dann betrachten wir die Vorgänge bei der Verbrennung von Gasgemischen in Motoren, die Zustandsänderungen feuchter Luft, Taupunkt, Kondensatorluftpumpe u. a. Schließlich gebe ich ohne Absicht auf Vollständigkeit eine Einführung in die Gedankengänge der physikalischen Chemie: osmotischer Druck, Siedepunkterhöhung und

Gefrierpunktserniedrigung bei Lösungen, Massenwirkungsgesetz, Dissoziation bei höheren Temperaturen; alles an Hand von durchgerechneten Zahlenbeispielen.

Ich glaube, mit der Darbietung der Beispiele sowohl, wie mit der Ausarbeitung des Darstellungsverfahrens der allgemeinbildenden Schule zu dienen. Selbst Mathematiker und Physiker, bin ich auf einen Grenzposten gelangt, wo ich eine weite Aussicht auf ein Nachbargelände hatte. Was bei der technischen Schule das Ziel ist, das erwies sich als brauchbare Grundlage für das Verständnis überhaupt. Weder sollte man dem Techniker reine Technik vortragen; das führt nur zum Anlernen; noch sollte man an der Schule reine Physik lehren; das ist zu formal, ist nicht gegenständlich genug. Jede Einführung muß, gleichgültig wie sich später die Wege trennen, zunächst die geistige Arbeit der Jahrhunderte auszugewisse nachholen. Keine Sache hat „um ihrer selbst willen“ Bedeutung, sondern nur in lebendigem Zusammenhange mit anderen, mit dem Ganzen. So muß man sie dem Schüler darstellen. Erst der Spezialist muß sich — leider — beschränken. Die Ausarbeitung technischer Aufgaben für den physikalischen Unterricht scheint mir eine dringende und lohnende Arbeit zu sein.

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Anorganische Chemie. Ein Lehrbuch zum Weiterstudium und zum Handgebrauch. Von FRITZ EPHRAIM, Professor an der Universität Bern. 5. vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 88 Abbildungen und 5 Tafeln. 841 Seiten. Dresden und Leipzig: Theodor Steinkopff 1934. Geb. RM 18,—.

Die vorhergehenden Auflagen sind bereits in dieser Zeitschrift besprochen worden (die 4. Auflage: 44, 138; 1931). Die Einteilung des Stoffes ist die gleiche geblieben wie bisher. Selbstverständlich sind die Fortschritte der anorganischen Chemie in den letzten Jahren bei der neuen Auflage berücksichtigt worden, z. B. der „schwere“ Wasserstoff, die Strukturaufklärung der Silikate u. a. Dagegen ist dem Verfasser ein Fehler unterlaufen, wenn er behauptet, daß die letzten noch fehlenden Elemente, Nr. 85 und 87, inzwischen bereits entdeckt seien; die von den Amerikanern darüber veröffentlichten Untersuchungen haben sich als nicht stichhaltig erwiesen. *Scharf.*

Chemische Plaudereien über Gaskrieg, Atomzertrümmerung, Vitamine und viele andere Gegenwartsprobleme. Von ROBERT WIZINGER. 262 Seiten mit 68 Abbildungen als Anhang. Bonn a. Rh.: Buchgemeinde 1934. Preis geb. RM 5,40.

So merkwürdig der Titel auch klingt, es handelt sich doch um ein gediegenes Buch. Im Plauderton, jedoch wissenschaftlich einwandfrei in allen Stellen des Buches, das ich mit Genuß vollständig durchgelesen habe, erzählt der Verfasser von den verschiedensten Dingen, in denen die Chemie eine Rolle spielt. Die Vereinigung leichter Verständlichkeit für den Laien mit wissenschaftlicher

Exaktheit ist etwas, was wir nur an sehr wenigen Büchern kennen; um so mehr dürfen wir uns freuen, daß hier dieses Ziel vollkommen erreicht ist. Selbstverständlich konnten in diesem Rahmen Theorien nicht von Grund auf abgeleitet und im einzelnen bewiesen werden, sondern an Stelle des ausführlichen Beweises einer Gesetzmäßigkeit wurde es vom Verfasser vorgezogen, mehr ihren Sinn und ihre Tragweite klar darzustellen. Chemische Formeln werden im allgemeinen nicht verwendet, nur dort, wo sie zum Verständnis unbedingt erforderlich sind, z. B. im Kapitel über Farbstoffe, wurde davon Gebrauch gemacht. Der in diesem Gebiet Unkundige kann, ohne daß das Verständnis der anderen Kapitel darunter leidet, die darauf bezüglichen Abschnitte ohne weiteres überschlagen. Es ist geradezu ein Kennzeichen dieses Buches, daß der „Stoff“ nicht Schritt für Schritt erarbeitet zu werden braucht, sondern man bald da bald dort einen Abschnitt lesen kann, ohne auf etwas Vorangegangenes Bezug nehmen zu müssen.

Um dem Leser dieser Zeilen ein ungefähres Bild von der Art und dem Stil des Buches zu geben, will ich einen wahllos herausgegriffenen Abschnitt des Buches näher besprechen.

Das Kapitel 8 z. B. „Wie entsteht ein künstliches Arzneimittel?“ beginnt mit einem etwas boshaften Zitat VOLTAIRES über die Ärzte und ihre Tätigkeit. Daß der Verfasser des Buches sich mit diesem Zitat nicht einverstanden erklärt, wenigstens was die heutige Zeit betrifft, braucht kaum betont zu werden. Er hat damit aber erreicht, daß der Leser schmunzelnd geneigt ist, auch

das Folgende zu lesen. Ich lasse einige Überschriften der nächsten Absätze (etwa zwei auf der Seite) folgen: Vor zweihundert Jahren; Aus einem alten Arzneibuch: „Es hilft“; Vom Krötengift und Fingerhut; Der erste Schritt: zunächst Reindarstellung der Wirkstoffe; Der zweite Schritt: Aufklärung des chemischen Feinbaus; Der dritte Schritt: Die brauchbare Synthese; Aspirin Bayer und der Friedensvertrag; Warum sind Medikamente so teuer? usw.

Schon aus diesen kurzen Schlagzeilen wird man erkennen, wie das Buch angelegt ist: Elegant im Stil, dabei von einer unbedingten wissenschaftlichen Zuverlässigkeit.

Das Buch kann jedem Chemielehrer für die eigene Lektüre sowohl wie für die Benutzung in Vertretungsstunden wärmstens empfohlen werden. Es sollte auch für die Schülerbüchereien angeschafft werden.

Scharf.

Funktionentafeln mit Formeln und Kurven. Von E. JAHNKE † und F. EMDE. 2. neubearbeitete Auflage (7. Tausend). Mit 171 Textfiguren. XVIII und 330 S. Leipzig und Berlin: B. G. Teubner. Preis geb. RM 16,—.

In seinem Werke „Die mathematischen Hilfsmittel des Physikers“ hat E. MADELUNG [vgl. diese Zeitschrift 36, 211 (1923)] ein zuverlässiges Nachschlagebuch geschaffen, das dem rechnenden Physiker die oft sehr große Mühe abnimmt, vorhandenes Rüstzeug aus mathematischen Schriften selbst aufzufinden. Wiederholt wird dort wegen numerischer Tabellen und weiterer Formeln auf die Funktionentafeln von JAHNKE-EMDE hingewiesen. Diese liegen jetzt in der von EMDE allein besorgten Neubearbeitung vor.

Es ist schon ein hoher Genuß, die vorzüglichen graphischen Darstellungen, die sauber und übersichtlich gedruckten Tafeln und die schön gesetzten Formeln nur anzusehen. Der bloße Anblick erregt geradezu Sehnsucht, diese Figuren und Tabellen auch praktisch zu benutzen. Die folgende Wiederholung des Inhaltsverzeichnisses soll nicht nur die Reichhaltigkeit des Gebotenen zur Anschauung bringen, sondern auch ahnen lassen, was hier für den Gebrauch des Physikers bereitgestellt ist. Potenztafeln; Hilfstafeln für das Rechnen mit komplexen Zahlen; Kubische Gleichungen; Elementar-transzendente Gleichungen; $x \operatorname{tg} x$, $\frac{\operatorname{tg} x}{x}$

und $\frac{\sin x}{x}$; Exponentialfunktion; PLANCKsche Strahlungsfunktion; Quellenfunktionen der Wärmeleitung; die Hyperbelfunktionen; Kreis- und Hyperbelfunktionen einer komplexen Veränderlichen; Verzeichnis von Tafeln der elementaren Transzendenten; Integral-Sinus, -Kosinus und -Logarithmus; Die Fakultät; Fehlerintegral und verwandte Funktionen; Thetafunktionen; Elliptische Integrale; Elliptische Funktionen; Die Kugelfunktionen; Zylinderfunktionen; Die RIEMANNsche Zetafunktion; Einige oft gebrauchte Konstanten. Ausführliche Verzeichnisse weisen hin auf genauere Tafeln, Lehrbücher und Hilfsmittel für den Rechner. Der Text des ganzen Buches ist in

deutscher und englischer Sprache nebeneinander gedruckt.

Meines Erachtens ist das Werk für den praktisch rechnenden Physiker unentbehrlich. Ich glaube sogar, daß der Schulphysiker es in seinem Unterricht dazu benutzen kann, seinen Zöglingen eine Vorstellung davon zu geben, wie es möglich ist, durch graphische Verarbeitung von Tafeln anschauliche Bilder zu liefern, die höchst seltsame Funktionen mit einem Blick übersehen lassen. Primär einige Zahlenwerte von Funktionen, wie sie etwa die ersten 78 Seiten des Buches bieten, selbst ausrechnen zu lassen, dürfte zu sehr lehrreichen Übungen führen.

Die vorliegenden Funktionentafeln werden auch ohne meine Empfehlung ihren Weg gehen. Ich halte es aber für meine Pflicht, die Leser unserer Zeitschrift auf diese einzigartige Bereicherung der mathematischen Hilfsmittel des Physikers aufmerksam zu machen.

F. EMDE hat mit einer Mühe, die sich gar nicht abschätzen läßt, ein Werk geschaffen, das in der ganzen Welt Aufsehen erregen muß. In Deutschland aber erkenne man das Bestreben des Verlages, ein so wertvolles Buch in so vorzüglicher Ausstattung so wohlfeil abzugeben, durch umfangreiche Beschaffung an.

Mthh.

Lehrbuch der Physik für die höheren Schulen.

Von KARL ROSENBERG. Einheitsausgabe für alle Schularten. Unterstufe. 15. veränderte Auflage. Gemeinsam mit dem Verfasser bearbeitet von KARL HAUSCHULZ. VIII und 204 Seiten. Mit 419 Abbildungen und 1 Farbentafel. Leipzig: G. Freytag A. G. 1934. Preis geb. RM 3,20.

Die neue Bearbeitung des altbekannten ROSENBERGschen Buches ist eine Einheitsausgabe für alle höheren Schulen. Wie im Geleitwort betont wird, soll es den besonderen Aufgaben der Schule der Gegenwart in verschiedener Weise Rechnung tragen: durch vermehrte Betonung der humanistischen Werte der Physik und vertiefte Darstellung der Entwicklung der physikalischen Wissenschaft, wobei der Anteil deutschen Geistes hieran besonders hervorgehoben wird, und ferner durch starke Verknüpfung des Lehrstoffs mit den Erscheinungen des täglichen Lebens. Die geschichtlichen Angaben sind vermehrt. Dem Streben nach Lebensnähe entspricht es, daß z. B. Luftschiffahrt und Flugwesen sowie die Wärmekraftmaschinen weit ausführlicher behandelt werden, als es sonst meist der Fall war. Recht glücklich scheint es mir, daß neben biographischen Notizen auch Bilder von Zeppelin, Junkers, Lilienthal, Watt, Edison geboten werden. Im übrigen entspricht die Stoffanordnung im wesentlichen der sonst üblichen. Bei der Darstellung der Elektrizitätslehre ist „eine mittlere Linie eingehalten worden“.

Der dargebotene Stoff ist auf fast allen Gebieten sehr umfangreich, so daß für individuelle Wünsche des Lehrers bei der Stoffauswahl weitgehender Spielraum vorhanden ist. Die Darstellung ist klar, hinreichend ausführlich und dem Verständnis des Schülers angepaßt. Daß man an dieser oder jener Stelle lieber eine etwas andere

Formulierung wünschte (z. B. für den Satz über das stabile Gleichgewicht auf S. 16, für Satz I über die elektrische Spannung auf S. 103 u. a.), fällt demgegenüber nicht ins Gewicht und tut dem Ganzen keinerlei Abbruch. Die sehr zahlreichen Figuren unterstützen den Text auf das beste; sie sind fast alle recht gut (eine Ausnahme macht Abb. 185, die meines Erachtens für einen Tertianer zu undeutlich und unübersichtlich ist).

Das Buch wird zweifellos viele Freunde finden.

E. Lamla.

Physique. Classe de Première. (Optique et électricité.) Von M. GINAT. In der Sammlung: Enseignement secondaire. Collection scientifique, herausgegeben von A. CHATELET. 485 Seiten. Mit 624 Abbildungen. Paris: J.-B. Baillière & Fils.

Es ist allemal reizvoll für den Physiklehrer, wenn er einen Blick auf die Arbeit anderer werfen kann, um durch Vergleichung und Prüfung für seine eigene Arbeit zu lernen. Das vorliegende französische Unterrichtswerk, das zur Vorbereitung auf das baccalauréat bestimmt ist und Optik und Elektrizitätslehre behandelt, zeigt, daß man in Frankreich zum guten Teil mit denselben Problemen ringt wie bei uns. Die „Einführung“ stellt uns wohl bekannte Forderungen auf: lebendiger und interessanter Unterricht; Schülerübungen neben Demonstrationsversuchen; größte Lebensnähe durch Verknüpfung des Stoffes mit dem täglichen Leben; Ausweitung der Behandlung einzelner Themen in geschichtlicher, mathematischer, philosophischer oder wirtschaftlich-technischer Hinsicht. Die Schüler sollen den Eindruck gewinnen, daß die Wissenschaft in ständiger Entwicklung und Bewegung ist, daß sie nicht endgültig gelöste Probleme behandelt.

Die Optik hält im wesentlichen denselben Lehrplan inne wie bei uns; manches wird ausführlicher behandelt (z. B. Schattenwirkung und Beleuchtungstechnik u. a.); dafür fallen aber Interferenz, Beugung und Polarisierung des Lichtes ganz weg. In der Elektrizitätslehre spielt die Elektrostatik überhaupt keine Rolle. Nach Einführung der Stromstärke I wird das Potential V aus dem durch den Strom hervorgebrachten Effekt IV gewonnen. Sehr bemerkenswert ist es, daß die elektromagnetischen Schwingungen, ferner Kathoden- und Röntgenstrahlen gar nicht behandelt werden. Der Strom wird als Strom von Elektronen eingeführt; bei dieser Gelegenheit wird auch das ursprüngliche BOHRsche Atommodell besprochen.

Den einzelnen Abschnitten sind Übungsfragen angefügt. Danach folgen Aufgaben für Schülerübungen leichter und schwerer Art. Zum Schluß werden etwa 100 Aufgaben mitgeteilt, die in den letzten Jahren bei Baccalauréatprüfungen gestellt worden sind; es handelt sich dabei fast stets um rechnerisch zu lösende physikalische Aufgaben; doch wird verlangt, daß die einschlägigen physikalischen Erscheinungen beschrieben und die benutzten Gesetze usw. gut erklärt, Formeln nicht nur angegeben werden, sondern daß ihr Inhalt genau auseinandergesetzt wird usw. *E. Lamla.*

Schule des Hörens. Von ERICH WAETZMANN. VI und 65 Seiten. Mit 14 Abbildungen. Leipzig und Berlin: B. G. Teubner 1934. Preis kart. RM 1,40.

Der Titel des Büchleins klingt eigenartig; man vermag damit zunächst nichts Rechtes anzufangen. Das ändert sich aber sofort, wenn man in das Büchlein hineinblickt. Es werden elementare Tatsachen der Entstehung und Ausbreitung des Schalles und des Hörens besprochen; „es werden ferner Anweisungen gegeben, wie das arg vernachlässigte Gehörorgan geübt und in seiner Leistungsfähigkeit gesteigert werden kann“.

Im einleitenden Kapitel („Auge und Ohr“) wird festgestellt, „daß die Anlagen des Ohres ganz vorzüglich sind, und daß sie in mancher Beziehung die des Auges noch übertreffen“. Diese Fähigkeiten des Ohres zu pflegen, vor allem in bezug auf das Richtungshören, ist eine wichtige Aufgabe. Der zweite Abschnitt behandelt das Physikalische, die Entstehung und die Ausbreitung des Schalles: Knall, Geräusch und Klang, Klang und Ton, Resonanz, Hieb-, Spalt- und Schneidetöne, Reizstärke und Ohrempfindlichkeit, Empfindungsstärke und Lärmbekämpfung, Schallgeschwindigkeit, Reflexion und Echo, Brechung, Beugung und Interferenz des Schalles, Schallwolken (Streuung des Schalles in der Atmosphäre). Dem Physiker werden hier unter anderm die Ausführungen über die (objektive) Schallstärke und die (subjektive) Lautstärke sowie über die Schallwolken interessant sein¹. Es folgt ein Abschnitt über die Bestimmung der Schallrichtung durch das Hören mit beiden Ohren. Von besonderem Reiz sind die beiden Abschnitte über „Hörübungen“ und über „das Ohr im Dienste des Luftschutzes“. Verfasser gibt eine größere Reihe von einfachen und schwierigeren Übungen, die mit allereinfachsten Hilfsmitteln teils im Zimmer, teils im Gelände auszuführen sind, und die die Teilnehmer im Richtungshören schulen. Es ist meines Erachtens zweifellos, daß solche Übungen dem regsten und lebendigsten Interesse bei den Schülern begegnen werden. Der letzte Abschnitt behandelt die Entstehung und die Art des Flugzeugschalls und das Abhören von Flugzeugschall.

Das Büchlein verbindet in glücklichster Weise wissenschaftliche Strenge und Schärfe mit leicht verständlichem Stil. Es bringt nicht nur dem Physiker Belehrung und Anregung für den Unterricht in der Akustik; es wird jeden Lehrer, auch

¹ Als Maß der Lautstärke hat man seit einigen Jahren das „Phon“. Wird allgemein die Reizstärke (Schallstärke) mit E , der Schwellenwert der Reizstärke mit E_0 bezeichnet (gemessen etwa in Erg pro qcm und sec), so ist die zur Schallstärke E gehörige Lautstärke L in Phon gegeben durch die Formel $L = 10 \log E/E_0$, wo $\log$ den BRIGGSchen Logarithmus bedeutet. Es beträgt z. B. die Lautstärke für sehr leises Uhrenticken 15 Phon, für die übliche Unterhaltungssprache 60 Phon, für Motorradgeknatter 100 Phon, für Niethammer 110 Phon. Die Grenze des Ertragbaren (Schmerzempfindung) liegt bei etwa 130 Phon.

den Nichtphysiker, anregen und erfreuen, und es wird vor allem durch seine „Horchübungen“ den Wanderungen und dem Geländesport eine ebenso wertvolle und praktisch wichtige wie schöne und interessante Bereicherung verschaffen. Ich empfehle die Benutzung (nicht nur die Lektüre) auf das wärmste.
E. Lamla.

Einführung in die Lehre vom Schuß (Ballistik). Von KARL GEY und HORST TEICHMANN. Mathematisch-physikalische Bibliothek, Reihe II, Heft 11. 115 Seiten mit 59 Figuren und 2 Tafeln. Leipzig und Berlin: B. G. Teubner 1934. Preis geb. RM 3,20.

Wenn in den oberen Klassen im Anschluß an die Mechanik ballistische Fragen behandelt wurden, so war man der Teilnahme der Schüler stets sicher. Es ist ganz zweifellos, daß das Interesse dafür heute ganz besonders groß ist und der Physiklehrer die Pflicht hat, dem Rechnung zu tragen. Nun ist das klassische Lehrbuch der Ballistik von CRANZ sehr umfangreich und wie manches andere Buch nicht jedem zugänglich; es ist daher zu begrüßen, daß das vorliegende Büchlein dem Lehrer eine Sammlung des wichtigsten Stoffes in handlicher und leicht verwendbarer Form zur Verfügung stellt. Das Buch umfaßt sowohl die äußere Ballistik (also die Lehre vom Verhalten des Geschosses außerhalb des Geschützrohres) als auch die innere Ballistik. Im ersten Abschnitt behandeln die Verfasser die Flugbahn ohne Rücksicht auf Luftwiderstand, Windkräfte usw.; hier findet auch der Mathematiklehrer allerlei hübsche und interessante Aufgaben (geometrische Orte für Scheitel, Brennpunkte usw. verschiedener Wurfparabeln); auch die Keplerbahn, die sich bei Berücksichtigung der Veränderlichkeit der Schwere mit dem Abstand vom Erdmittelpunkt ergibt, wird berechnet. Es folgt die „Geschößbewegung unter Berücksichtigung störender Nebenkkräfte“. (Ob man, wie es hier tatsächlich geschieht, in einem Buch über Ballistik den Luftwiderstand als „störende Nebenkraft“ bezeichnen soll, während er doch in fast allen praktischen Fällen in Wahrheit die Bahn wesentlich mitbestimmt, mag man als Geschmackssache ansehen.) Hier werden ausführlich behandelt der Luftwiderstand (CRANZsche Photographien des fliegenden Geschosses sind abgebildet), der Geschößdrall, die ballistische Kurve, Schußtafeln (Auszüge aus solchen Tafeln für das Gewehr 98 und die Feldhaubitze 98/09), Richten und Zielen, Schallerzeugung durch das Geschöß und Schallmeßverfahren, Wahrscheinlichkeit des Treffens, Geschößgeschwindigkeit. Sehr angenehm ist es, daß die Verfasser mehrere einfache Versuche beschreiben, mit deren Hilfe man eine Geschößgeschwindigkeit bestimmen kann. Den Beschluß der äußeren Ballistik machen die Vorgänge am Ziel (Eindringen des Geschosses in feste und in flüssige Körper). Die letzten Abschnitte beschäftigen sich mit den Vorgängen im Geschützrohr, mit dem Rückstoß und schließlich mit dem Raketen effekt. Ein Literaturverzeichnis folgt.

Das Büchlein bietet dem Lehrer in kurzer und doch zunächst ausreichender, dabei leicht ver-

ständlicher Weise den hauptsächlichsten Stoff für eine Behandlung des praktisch sehr wichtigen und die Schüler stark interessierenden Gebiets der Ballistik. Seine Lektüre ist durchaus zu empfehlen.
E. Lamla.

Theorie der Elektrizität. Von R. BECKER. Neubearbeitung des Werkes von M. ABRAHAM. Band I: Einführung in die MAXWELLSche Theorie der Elektrizität. 10. Aufl. VII und 265 Seiten, mit 59 Abbildungen. Leipzig und Berlin: B. G. Teubner 1933. Preis geb. RM 14,50.

1930 ist die 8. Auflage der jedem Physiker wohl bekannten „Theorie der Elektrizität“ von ABRAHAM-FÖPPL erschienen; es war die erste Auflage des Werkes in der Neubearbeitung durch RICHARD BECKER [vgl. diese Zeitschrift 44, 183 (1931) und 46, 283 (1933)]. Die Tatsache, daß jetzt wieder bereits eine neue Auflage nötig ist, zeigt auf das beste, daß die BECKERSche Bearbeitung einem Bedürfnis der Studierenden entspricht. Neu aufgenommen ist ein Abschnitt über das homogen magnetisierte Ellipsoid; stark vereinfacht wurde die Behandlung der Drahtwellen bei endlichem Widerstand der Leitungen. Eine Vergleichung mit dem alten ABRAHAM-FÖPPL, dessen Anordnung in dem vorliegenden ersten Band im wesentlichen beibehalten worden ist, zeigt, daß die Neubearbeitung stärkeren Wert auf die Anschaulichkeit der Darstellung legt und damit einem wesentlichen Bedürfnis der Studierenden entgegenkommt. Sehr wertvoll sind die 101 Übungsaufgaben mit Lösungen, die man am Schlusse des Buches unter dem aus dem Jakobusbrief (1, 22) entnommenen Motto findet: „Seid aber Täter des Worts und nicht Hörer allein, wodurch ihr euch selbst betrüget“.

Das altbewährte Buch hat durch die neue Bearbeitung zweifellos gewonnen.
E. Lamla.

Grundfragen der angewandten Wahrscheinlichkeitsrechnung und theoretischen Statistik. Von KARL MARBE. 177 Seiten. München und Berlin: Becksche Verlagsbuchhandlung 1934. Preis brosch. RM 8,—.

Die Wahrscheinlichkeitsrechnung ist eine von gewissen Axiomen ausgehende mathematische Disziplin, deren Ergebnisse sich rein logisch aus den mathematischen Voraussetzungen ergeben. Eine ganz andere Frage taucht auf, wenn man die Wahrscheinlichkeitsrechnung auf bestimmte wirkliche Vorgänge, etwa auf die Physik, auf Statistiken (z. B. von Geburten oder Sterbefällen), auf Glücksspiele u. dgl. anwendet. Hier ist es die Frage, ob überhaupt und gegebenenfalls bis zu welchem Grade der Exaktheit man die Wahrscheinlichkeitsrechnung auf das betreffende Problem anwenden darf. Mit diesem (nicht mathematischen, sondern naturwissenschaftlich-statistischen oder auch naturphilosophischen) Problem beschäftigt sich das vorliegende Buch. Naturgemäß kann sich eine solche Untersuchung nur auf Erfahrungen stützen. Das Untersuchungsmaterial des Verfassers besteht einmal in Aufzeichnungen über die Ergebnisse von Glücksspielen (Roulette und Wappenzahl), zwei-

tens in den Eintragungen der Geburtsregister einiger großen Standesämter (vor allem München). Es handelt sich dabei um sehr viele Fälle (z. B. um 196608 Eintragungen beim Münchener Standesamt). Das Verfahren des Verfassers ist folgendes: Aus der Gesamtzahl der Eintragungen ergibt sich die Wahrscheinlichkeit für die Geburt eines Knaben bzw. eines Mädchens. Daraus kann man mathematisch die Wahrscheinlichkeit dafür berechnen, daß etwa 2, 3, 4, 5 usw. Knabengeburten (oder Mädchengeburten) hintereinander eingetragen sind, während unmittelbar davor und dahinter ein Kind des anderen Geschlechts steht. Verfasser nennt das „Zweier-, Dreier- usw. Iterationen“ oder auch „reine Gruppen zu 2, 3, 4 usw.“ Er vergleicht nun die aus den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung sich ergebenden Zahlen für die in dem Gesamtmaterial zu erwartenden reinen Gruppen mit den in den Standesamtsbüchern wirklich vorhandenen. Naturgemäß stimmen die Erwartungszahlen und die wirklichen Zahlen nicht genau überein. Die Art und die Größe der Abweichungen sieht der Verfasser als einen Beweis für die Richtigkeit seiner „Lehre vom statistischen Ausgleich“ an. Er sagt: „Nach den hier mitgeteilten Untersuchungen kann die Tatsächlichkeit des statistischen Ausgleiches, die bisher fast immer abgelehnt wurde, wohl kaum mehr bestritten werden“ (S. 1). Ein wesentlicher Punkt dieser Lehre besteht in folgendem: Beim Wappen-Zahl-Spiel mit einer Münze z. B. ist die Wahrscheinlichkeit für das Erscheinen des Wappens $\frac{1}{2}$. Ist aber etwa schon 10 oder 20mal hintereinander Wappen erschienen, so ist nach der neuen Ausgleichslehre die Wahrscheinlichkeit für Wappen und Zahl beim nächsten Spiel nicht mehr $\frac{1}{2} : \frac{1}{2}$, sondern für „Wappen“ geringer. „Es kann deshalb auch die übliche Annahme einer wirklichen oder doch erlaubterweise stets zu erfüllenden Unabhängigkeit der Elemente der in Rede stehenden statistischen Massen nicht aufrecht erhalten werden“ (S. 12). Wenn das richtig ist, so müßten die wirklichen Vorgänge in ganz bestimmter systematischer Weise von den Erwartungswerten der Rechnung abweichen, insofern nämlich, als solche Vorgänge, für die die Rechnung eine sehr kleine Wahrscheinlichkeit ergibt, in Wirklichkeit noch seltener vorkommen. Bei der oben erwähnten Geburtenstatistik müßten also insbesondere die „reinen Gruppen“ von vielen Elementen noch seltener sein, als die Rechnung fordert. Verfasser entnimmt aus der Bearbeitung seiner Geburtenstatistik ebenso wie aus seinen anderen Materialien eine Bestätigung seiner Ansicht. Wenn das zutrifft, so wäre es für die Physik und für die praktische Statistik höchst wichtig und bedeutsam. Ich glaube aber, daß der Schluß aus dem vorliegenden Material nicht überzeugend und nicht voll gerechtfertigt ist. Was z. B. die Untersuchung des Münchener Geburtsregisters betrifft, so würde wohl ein Physiker die Übereinstimmung zwischen wirklicher Zahl und Erwartungszahl in den meisten Fällen als recht gut ansehen (z. B. 24561 statt 24545,5 und viele andere). Für die reinen Gruppen von 11 und mehr Elementen sind die Zahlen

54 statt 49,0; 24 statt 24,6; 11 statt 12,4; 6 statt 6,2; 1 statt 3,1; 1 statt 1,6; 1 statt 0,8. Hier sind in der Tat die Erwartungszahlen häufiger größer als kleiner gegenüber den wirklichen Vorkommnissen; aber dafür sind die Zahlen selbst gar zu klein. Jedenfalls scheint mir das Material trotz der gewaltigen Arbeit, die darin steckt, keine genügend feste Grundlage abzugeben, um darauf so weitgehende Schlüsse aufzubauen, wie der Verfasser es tut. Bedeutungsvoll ist das Buch aber insofern, als hier eine wichtige speziell für den Physiker und den Statistiker sehr bedeutsame Frage angepackt wird, und insofern, als hier praktisch gezeigt wird, wie man eine solche Untersuchung führen kann. Mit den Gedankengängen des Buches sollte sich der Physiker daher vertraut machen.
E. Lamla.

Meter und Kilogramm. Entstehung und Sicherung des internationalen metrischen Systems. Von RUDOLOF POZDĚNA. Mathematisch-physikalische Bibliothek, herausgegeben von LIETZMANN und WITTING, Reihe I, Bändchen 76. IV und 45 Seiten, mit 15 Figuren. Leipzig und Berlin: B. G. Teubner 1934. Preis kart. RM 1,20.

Meter und Kilogramm und die davon abgeleiteten Maßeinheiten sind für uns und für alle Bewohner der gesamten heutigen Kulturwelt zu etwas Alltäglichem und Selbstverständlichem geworden. Der Reiz des vorliegenden Bändchens besteht vor allem darin, daß es sehr klar erkennen läßt, welcher Aufwand menschlichen Scharfsinns und menschlicher Arbeit nötig war, um diese so selbstverständlichen Maße dem täglichen Gebrauch zur Verfügung zu stellen. Nach einem Überblick über das „Maßchaos in den Handelsländern der Erde im Altertum und im Mittelalter“ bespricht Verfasser verschiedene Versuche, ein Naturmaß zu finden; z. B. hat HUYGENS 1664 den Vorschlag gemacht, als Längeneinheit ein „Zeitfuß“ = Pes horarius = $\frac{1}{3}$ der Länge des Sekundenpendels zu wählen. (Das war etwa 1 Fuß.) Dann kommt Verfasser auf die wichtigsten Gradmessungen zur Ermittlung der Dimensionen des Erdkörpers. 1790 beschloß die französische Nationalversammlung, ein einheitliches, auf die Länge des Sekundenpendels gegründetes Maß- und Gewichtssystem einzuführen; 1791 wurde dann aber (auf Antrag von LAPLACE) endgültig als Längeneinheit der 40-millionte Teil des Erdmeridians festgelegt. Verfasser schildert dann ausführlich das Zustandekommen des metrischen Systems (m und kg), die nötigen Messungen, die Herstellung der Normalstücke, die Einführung in den anderen Ländern (z. B. beim Norddeutschen Bund 1868). Ebenso bespricht er die Auswertung des Meters in Lichtwellenlängen durch MICHELSON und durch FABRY, PEROT und BENOÎT, sowie die Beziehungen zwischen cdm (Raum eines Würfels mit 10 cm Kantenlänge) und Liter (Volumen von 1 kg destilliertem Wasser bei 4°). Bekanntlich ist 1 Liter = 1000,028 ccm.

Das kleine Büchlein ist anregend geschrieben und behandelt ein sehr interessantes, auch für den Unterricht wichtiges Gebiet, über das man sonst

meist nur schwer ausführlichere Angaben findet. Die Lektüre ist uneingeschränkt und warm zu empfehlen.
E. Lamla.

Kleine Meteoritenkunde. Von FRITZ HEIDE. Verständliche Wissenschaft, Band 23. VII und 120 Seiten. Mit 92 Abbildungen. Berlin: Julius Springer 1934. Preis geb. RM 4,80.

Das kleine, mit sehr guten Bildern und Karten versehene Werkchen gibt eine eingehende Einführung in unsere Kenntnis von den Meteoriten. Es behandelt in 3 Abschnitten die Fallerscheinungen, das Meteoritenmaterial und die Herkunft und Entstehung der Meteoriten. Die Leuchterscheinung beim Fall ist, wenn dieser bei Tage erfolgt, oft mit der der Sonne zu vergleichen; am Ende der Bahn (in einigen km Höhe) erlischt das Licht; oft folgt eine Art Explosion mit starkem Knall. Die Wirkung kleinerer und mittlerer Meteorite (bis etwa 100 kg) beim Aufschlag auf die Erde ist meist erstaunlich gering; sie dringen nur etwa 0,25 bis 1,50 m tief in den Boden ein: ihre Endgeschwindigkeit beträgt infolge des Luftwiderstandes nur einige 100 m/sec. Ein ganz anderes Bild zeigen dagegen die „Meteorkrater“, von denen man bisher 9 kennt; bei 4 von ihnen wird mit Sicherheit, bei 5 mit Wahrscheinlichkeit angenommen, daß sie die Einschlagstellen von Rieseneometeoren sind. Der am besten untersuchte in Arizona (USA) hat 1200 m Durchmesser und reicht etwa 180 m tief in den Sandstein des Bodens hinein. Man hat hier Meteoreisenklumpen (insgesamt 15 bis 20 t) und „Eisenschiefer“, der sich wohl beim Aufschlag aus Eisen und Sandstein gebildet hat, gefunden; aber der Hauptteil des Meteors, der nach artilleristischer Schätzung über 10 Millionen Tonnen Gewicht gehabt hat, ist trotz eifrigen Suchens noch nicht bekannt. Ob er noch tief im Boden ruht, oder ob er etwa beim Aufschlag größtenteils verdampft ist, ist ungewiß.

Interessant ist auch die Geschichte der Meteoritenforschung. CHLADNI hat zuerst (1794) die These aufgestellt, daß die Meteore außerirdischen Ursprungs seien. Er fand zunächst überall Widerspruch; 1803 ging jedoch ein größerer Meteorsteinregen nieder und brachte CHLADNIS Ansicht den Sieg. Bekanntlich gibt es Steinmeteoriten und Eisenmeteoriten. Die Größe schwankt zwischen feinstem Staub und dem Eisenmeteor von Südwestafrika, der 60 t wiegt. Die Steinmeteoriten enthalten vor allem Silikate des Magnesiums und des Eisens, dazu Feldspate, Sulfide u. a. (insgesamt etwa 42% Sauerstoff, 21,4% Silizium); die Eisenmeteorite dagegen haben im Durchschnitt 90% Eisen und 8,7% Nickel. In keinem einzigen Meteoriten hat man bisher ein Element gefunden, das nicht schon vorher auf der Erde bekannt gewesen wäre. Es treten lediglich einige Mineralien auf, die in dieser Zusammensetzung auf der Erde noch nicht natürlich beobachtet worden sind, die aber künstlich hergestellt werden können (z. B. CaS). Sehr bemerkenswert ist es, daß die Atomgewichte der Elemente in den Meteoriten genau gleich denen auf der Erde sind, daß also die Isotope in genau demselben Verhältnis gemischt sind. Falls die

Meteore nicht aus dem Sonnensystem, sondern aus entfernteren Räumen stammen, würde dies auf eine weitgehende stoffliche Einheitlichkeit im Weltall deuten.

Die vorstehende kurze Inhaltsangabe möge den Leser veranlassen, das interessante und anregend geschriebene, sehr gut ausgestattete Büchlein selbst zur Hand zu nehmen. Es wird ihm sicherlich Belehrung und Freude bringen.
E. Lamla.

Kristall-Chemie. Von Dr. O. HASSEL. Wissenschaftliche Forschungsberichte, naturwissenschaftliche Reihe, herausgegeben von Dr. RAPHAEL ED. LIESEGANG. 112 Seiten mit 8 Abbildungen und 17 Tabellen. Dresden und Leipzig: Theodor Steinkopff 1934. Preis: geh. RM 9,—, geb. RM 10,—.

Die Fortschritte der Kristall-Chemie seit 1914 darzustellen, ist eine dankbare Aufgabe, denn die Entdeckung der Röntgeninterferenzen durch M. v. LAUE und die Kristall-Strukturbestimmungen der beiden BRAGGS und ihrer Schule eröffneten völlig neue Einblicke in die Zusammenhänge zwischen chemischer Zusammensetzung und Kristallstruktur und führten durch die umfassenden Forschungen V. M. GOLDSCHMIDTS und seiner Schule auch zu grundlegenden Prinzipien allgemeiner Natur hinsichtlich des Feinbaues der Materie.

In den ersten 7 Abschnitten bringt der Verfasser, der selbst aus der GOLDSCHMIDTSchen Schule hervorgegangen ist, die Vorstellungen V. M. GOLDSCHMIDTS, nach denen der Kristallbau außer durch die stöchiometrische Zusammensetzung vor allem durch das Größenverhältnis und die Polarisations-eigenschaften der Kristallbausteine bestimmt wird. Hier werden zunächst GOLDSCHMIDTS Ableitungen von Ionen- und Atomradien beschrieben, und es wird gezeigt, daß seine Werte sich in guter Übereinstimmung mit denen befinden, die LINUS PAULING später (1927), ausgehend von der SCHRÖDINGERSchen Wellenmechanik, quantentheoretisch berechnet hat und auch mit den Werten, die ZACHARIASEN 1931 für alle Ionen mit Edelgasbau rechnerisch gefunden hat. Von besonderem Interesse ist in diesem Zusammenhange noch die Abhängigkeit von Isomorphie und Morphotropie von Ionen-größe und Ionendeformierbarkeit. Der Isomorphiebegriff wird dadurch bedeutend verschärft, daß neben Kristallklasse und Atomverhältnis noch Raumgruppe und Elementarzelle und in vielen Fällen sogar die Lage der einzelnen Atome bestimmt werden konnte.

Die Erkenntnis, daß die Koordinationszahl vor allem von dem Verhältnis der Ionenradien und unter Umständen auch von den Polarisations-eigenschaften der Ionen abhängt, hat L. PAULING veranlaßt, auf Grund energetischer Betrachtungen und an der Hand des vorliegenden Materials über komplexe Ionenverbindungen, einige Regeln über den Aufbau von Ionenkristallen aufzustellen, die im einzelnen erläutert werden.

Ganz besondere Bedeutung hat die Röntgenkristallographie für die Klärung der Strukturfragen aus der Silikatchemie gehabt, und die Silikate liefern auch die besten Beispiele für die

GOLDSCHMIDT-PAULINGSchen Theorien über Chemismus und Kristallstruktur; dies wird an zahlreichen Beispielen gezeigt.

Die röntgenkristallographischen Untersuchungen und die daraus gezogenen Folgerungen haben in vielen Fällen die theoretischen Konstruktionen der Klassiker der Kristallographie bestätigt; geradezu staunenswert sind aber die Übereinstimmungen, die sich aus den Röntgenspektrogrammen und aus der WERNERSchen Theorie der Komplexverbindungen über die Atomlagen in Kristallen ergeben haben, wie der Verfasser, der auf diesem Gebiete selbst mitgearbeitet hat, im 11. Abschnitt seines Buches an zahlreichen Beispielen darlegt.

Über Atomordnung und Atomabstand in metallischen Systemen, über Kristall-Chemie der intermetallischen Phasen und der Molekülverbindungen, sowie über die geometrische Ermittlung des Molekulargewichtes im festen Zustande (A. REIS und R. WEISSENBERG) handeln die letzten Kapitel. Hier erregt das besondere Interesse der Nachweis H. STAUDINGERS, daß die Zellulose nach demselben Prinzip aufgebaut ist wie die Polyoxy-methylene, die Polymerisationsprodukte des Formaldehyds. — Jeder, der die kristallchemische Literatur nicht fortlaufend verfolgt hat und sich schnell einen Überblick über den neuesten Stand dieses Wissensgebietes verschaffen möchte, wird das Buch mit Erfolg benutzen können. *Dm.*

Optische Messungen des Chemikers und des Mediziners. Von FRITZ LÖWE. Bd. VI der Technischen Fortschrittsberichte, Fortschritte der chemischen Technologie in Einzeldarstellungen. Herausgegeben von Prof. Dr. B. RASSOW, Leipzig. Zweite erweiterte und neubearbeitete Auflage. 200 Seiten mit 56 Abbildungen und 4 Spektraltafeln. Dresden und Leipzig: Theodor Steinkopff 1933. Preis geb. RM 10,—.

Der Verfasser hat sich, dem Zwecke der RASSOWschen Sammlung entsprechend, die Aufgabe gestellt, die Fortschritte ausgewählter optischer Meßmethoden des Chemikers und des Mediziners aus der Spektroskopie einschließlich der Photometrie, der Refraktometrie und der Interferometrie aus dem Zeitraum von 1914 bis 1932 kritisch so zusammenzustellen, daß der Chemiker oder Mediziner, der sich mit diesen Arbeitsmethoden beruflich zu befassen hat, der Mühe enthoben wird, sich 1. die zerstreute Literatur selbst mühsam zusammenzusuchen und 2., was noch schwieriger ist, aus dieser Literatur die zweckmäßigsten Methoden herauszufinden.

Zunächst werden Neuerungen an Spektroskopen und Spektrographen beschrieben; es wird z. B. gezeigt, daß man schon mit einem Handspektroskop neuerer Konstruktion mit AMICISCHEM Prisma und Wellenlängenteilung mancherlei spektrographische und spektralanalytische Untersuchungen anstellen kann. Für den wissenschaftlichen Chemiker sind aber erst die neueren Gitterspektroskope und -spektrographen von Interesse, die im einzelnen beschrieben und abgebildet sind.

Aus der angewandten Spektroskopie (Absorptionsspektroskopie und Spektralanalyse), die

den größeren Teil der Schrift ausfüllt, mögen zunächst die praktischen Hinweise, z. B. über die geeignetsten Lichtquellen und die zweckmäßigste Form der zu untersuchenden Proben Erwähnung finden. Der Verfasser weist hier ferner darauf hin, daß die Chemiker in ihrer analytischen Praxis von der Spektralanalyse noch bis vor wenigen Jahren kaum Gebrauch machten; sie wurden daran gehindert durch die Hunderte von Seiten füllenden Tabellen der Emissionslinien der Elemente, durch die allzu große Verschiedenheit der zu benutzenden Lichtquellen und durch die Überempfindlichkeit einzelner spektroskopischer Reaktionen, welche die Analysenergebnisse vielfach störten oder gar fälschten. In neuerer Zeit hat sich hierin jedoch unter dem Einfluß der „militärischen Spektroskopie“, durch die Arbeiten A. DE GRAMONTS und anderer, namentlich auf dem Gebiete der Analyse von Metallegierungen, ein erheblicher Wandel vollzogen. Unter den Lichtquellen hat sich der elektrische Funke nach sorgfältigem Studium seiner Anregungsbedingungen durch LEONARD und POLLOK sowie durch DE GRAMONT zu der zuverlässigsten Lichtquelle für die Spektralanalyse entwickelt. HARTLEYS Feststellung, daß die Unterschreitung der Konzentrationsschwellen der untersuchten Lösungen — bei konstant gehaltenen Entladungsbedingungen der Funkenstrecke — zum Verschwinden gewisser Spektrallinien führt, brachte wesentliche Verbesserungen und Vereinfachungen der spektralanalytischen Methoden, ebenso wie die Feststellung DE GRAMONTS über die „letzten Linien“, die auch bei einer Verringerung der Temperatur oder bei der Abnahme der elektrischen Energie bestehen bleiben. — Für die quantitative Spektralanalyse wurden die Untersuchungen von W. GERLACH und E. SCHWEITZER über „homologe Linienpaare“ von erheblicher Bedeutung, wie ausführlich dargelegt wird.

Aus dem Kapitel Photometrie seien erwähnt die Bestimmung des Weißgehaltes, die Glanzmessung, die Farbmessungen von Flüssigkeiten, die Beobachtung und Messung der Fluoreszenz und die Trübungsmessungen.

Auch auf dem Gebiete der Refraktometrie ist die neuere Literatur herangezogen, wie die Beispiele aus der Refraktometrie der Öle, Fette und Wachsarten, aus der Zucker- und Stärkeindustrie, aus dem Gärungsgewerbe, wie auch aus der Nahrungsmittel- und Biochemie dartun. — Das Schlußkapitel handelt von der Interferometrie und der Erweiterung ihres Anwendungsbereiches. An der Schaffung dieser Methoden und an der Konstruktion der Apparatur hat der Verfasser bekanntlich wesentlichen Anteil.

Umfassende Literaturangaben, sehr viele Tabellen, Zusammenstellungen von Praktikumsaufgaben, gute Abbildungen im Text und 4 Tafeln mit Spektrophotogrammen vervollständigen das Werk, das seinen Zweck in dem in der Einleitung dieser Besprechung angegebenen Sinne vorzüglich erfüllt. *Dm.*

Die industrielle Chemie in ihrer Bedeutung im Weltbild und Erinnerungen an ihren Aufbau. Von

ALBRECHT SCHMIDT. XXXIX und 829 S. Berlin und Leipzig: Walter de Gruyter & Co., 1934. Geh. RM 10,—, geb. RM 12,—.

Deutsche wissenschaftliche Bücher gelten als teuer; das vorliegende ist jedoch ungewöhnlich billig, dabei ist es gut ausgestattet, und sein Inhalt ist vortrefflich. Dem Verfasser und dem Verlag ist aufrichtig zu wünschen, daß ihnen für ihre Opfer durch Kauf und Studium gedankt wird. ALBRECHT SCHMIDT hat nicht nur den Fachgenossen, sondern der ganzen Volksgemeinschaft viel zu sagen. Er hat den Aufbau der chemischen Industrie ein halbes Jahrhundert lang selbsttätig miterlebt, er bietet über diese Zeit eine reichhaltige, klare Übersicht. Er spricht nicht als reiner Techniker, obgleich er den „einzelnen chemischen Industrien und ihrer weltwirtschaftlichen und technischen Bedeutung“ 600 Seiten widmet; er sucht das chemisch-technische Denken und seinen untrennbaren Zusammenhang mit dem wissenschaftlichen Denken zu schildern. Dabei läßt er sich durch die Worte von CARL BOSCH leiten: „Dieser Geist ist es, der früher uns die Weltmachtstellung gegeben hat und der heute noch solchen Respekt einflößt... In keiner anderen Industrie ist auch die letzte Arbeit derart auf die dauernde wissenschaftliche Überwachung und Anregung angewiesen wie gerade in der chemischen.“

Die Worte des Titels „im heutigen Weltbild“ können zu dem Irrtum verleiten, es sei vom naturwissenschaftlichen Weltbild im philosophischen Sinne die Rede; es wäre wohl richtiger, dem Inhalt entsprechend zu sagen: „im heutigen Wirtschaftsleben“. — Der Überblick über die allgemeine Geschichte der Chemie ist mehr begeistert als kritisch. Hier sind manche Ungenauigkeiten vorhanden.

Zum Schluß kann der Schulmeister eine Bitte nicht unterdrücken. Der Verfasser betont recht deutlich, daß er die Zöglinge eines Gymnasiums für besser vorgebildet hält als die anderer Schulen. Um nicht das Parade Pferd LIEBIG vorzureiten, verweise ich auf BOSCH (siehe oben) und DUISBERG, die beide Oberrealschüler gewesen sind. Wir sollten doch endlich aufhören, die verschiedenen Schulen gegeneinander auszuspielen; es kommt wahrlich nicht auf die Art der Schule an, sondern auf die Männer, die an ihnen lehren, und auf die Persönlichkeiten, die aus ihnen hervorgehen. Nicht der Stoff ist maßgebend, sondern der Geist, in dem er dargeboten und aufgenommen wird. *R. Winderlich.*

Englische und deutsche chemische Fachausdrücke. Ein Leitfadens der Chemie in englischer und deutscher Sprache. Von H. FROMHERZ und A. KING. XVII u. 324 Seiten. Leipzig: Max Weg; London: Thomas Murby & Co. 1934. Preis geb. RM 9,40.

Der in wissenschaftlichen und technischen Instituten arbeitende Chemiker ist häufig gezwungen, ausländische Fachliteratur zu lesen. Ein großer Teil davon (englische, amerikanische, japanische) erscheint in englischer Sprache. Der Satzbau ist meistens so einfach, daß jeder, der in der Schule englischen Sprachunterricht gehabt hat, mühelos die Arbeiten herunterlesen könnte, wenn nicht die Fachausdrücke wären, die noch dazu in den Wörterbüchern mittleren Umfangs meistens nicht zu finden sind.

Es gibt nun zwar besondere Wörterbücher für Chemiker und Techniker, die jedoch wie alle alphabetisch angeordneten Nachschlagewerke den Nachteil haben, daß dem Inhalt nach zusammengehörige Fachausdrücke an ganz verschiedenen Stellen des Buches zu finden sind, so daß der Ungeübte dauernd hin- und herblättern muß, wenn er einen Aufsatz übersetzen will.

Dieser Nachteil fällt bei dem hier vorliegenden Buche weg, denn in einem kurzen Abriß sind fast alle Gebiete der Chemie behandelt worden, und zwar in der Weise, daß auf jeder rechten Seite der deutsche Text und auf der gleichzeitig aufgeschlagenen linken Seite die entsprechende englische Übersetzung steht. Der Text wurde so ausgewählt, daß möglichst viele Fachausdrücke damit verflochten werden konnten, die an den Stellen, wo sie zum ersten Male auftreten, durch Kursivdruck in beiden Sprachen kenntlich gemacht wurden. Außerdem sorgt ein alphabetisches Register am Ende des Buches dafür, daß jeder Fachausdruck mit Sicherheit gefunden wird.

Die beiden Verfasser, der Deutsche FROMHERZ und der Engländer KING, haben sowohl in deutschen wie in englischen Laboratorien gearbeitet, so daß die Gewähr dafür gegeben ist, daß die wissenschaftliche Umgangssprache beider Länder gut getroffen ist.

Für eine Neuauflage sei schließlich noch der Wunsch ausgesprochen, daß bei der Bezeichnung von Maßen die vom Deutschen Ausschuß für Einheiten und Formelgrößen festgelegten Einheitszeichen verwendet werden. *Scharf.*

Korrespondenz.

Druckfehlerberichtigungen zu der kleinen Mitteilung: FR. MOELLER, Einige vergleichende Messungen an Schulttransformatoren; 48, 97 und zu der Mitteilung „Aus Werkstätten“: Neue Apparate zur Physik des Fliegens; 48, 142.

In der Unterschrift zu Fig. 4 auf S. 99 sind die Buchstaben a und b zu vertauschen.

Die Fig. 2 und 3 auf Seite 142 sind in falschen Stellungen eingesetzt. Fig. 2 steht auf dem Kopf und muß so betrachtet werden, daß oben und unten vertauscht sind. Fig. 3 ist um 90° nach rechts gedreht zu denken; dann schwebt der Ball unterhalb des Luftstrahles, wie auch aus dem Wortlaute der Beschreibung ersichtlich ist.