

Über den Gebrauch der Braunschen Röhre zur Analyse von elektrischen Schwingungen im Unterricht.

Von

Prof. Dr. F. Hochheim in Weißenfels a./S.

Die elektrischen Schwingungen in des Wortes allgemeinsten Bedeutung, d. h. einfache Wechselströme, gedämpfte Schwingungen, Ferninduktion, Versuche über den Zusammenhang von Licht und Elektrizität gehören in den Unterricht der Prima der Realanstalten, darüber dürften heute wohl nur noch wenig Zweifel gehegt werden; nur über das Maß des Durchzunehmenden werden die Meinungen geteilt sein. Vor einigen Jahren habe ich in einer Programmabhandlung¹⁾ die Meinung vertreten, daß die Hauptgesetze der Wechselströme (Ohmsches und Joulesches Gesetz, Kapazitätenwiderstand, Resonanz, Eigenschwingungen von Kondensatorkreisen) unter Zuhilfenahme der Differential- und Integralrechnung zu behandeln seien. Längere Unterrichtserfahrungen haben mich in dieser Meinung bestärkt: bei vorsichtiger Behandlung ist die Theorie der Wechselströme der überwiegenden Mehrzahl der Schüler durchaus verständlich. Die Zeit hierfür gewinne ich durch Beschränkung der Mechanik auf ein Winter-Halbjahr²⁾, so daß für die elektrischen Schwingungen das letzte Halbjahr der OI. verfügbar ist.

Zu wirklichem Verständnis lassen sich die Wechselströme natürlich nur durch ein Handinhandgehen der experimentellen mit der theoretischen Behandlung bringen. Planmäßig durchgeführt gibt dieses Gebiet die schönste Anwendung für das „funktionale Denken“: die Konstanten (Scheitelwerte und Effektivwerte) stehen im Gegensatz zu den mit der Zeit variablen Größen; die Funktionen der Zeit aber treten nicht nur als tote Formeln auf, sondern lassen sich in anschaulichster Weise sichtbar machen mit dem rotierenden Spiegel, der das „Nacheinander“ in ein „Nebeneinander“ verwandelt.

Unter den in dieser Zeitschrift beschriebenen Wechselstrominstrumenten ist nicht auf die Braunsche Röhre näher eingegangen, die für Schulen mit bescheidenen Mitteln den billigsten und bequemsten Apparat darstellt, dem daher die folgenden Ausführungen gewidmet sind. Dieselben sollen zu Unterrichtsversuchen anregen und beschränken sich darum auf das für den Unterricht geeignete. Für genauere Studien empfehlen sich besonders die Veröffentlichungen von Zenneck³⁾.

Die Einrichtung der Braunschen Röhre wird als bekannt vorausgesetzt (vgl. z. B. Graetz, Elektrizität und ihre Anwendungen) und ist aus Fig. 1 ersichtlich: K = Kathode, A = Anode, D = Aluminiumdiaphragma, Sch = Fluoreszenzschirm, Sp = Magnetfeldspulen, Rg = Regulierungsspule. Der Preis der Röhre ist mäßig, vor einigen Jahren 21 M. Leider ist mit dem Besitz der Röhre noch wenig gewonnen; Kosten und Arbeit verursachen die Nebenapparate; doch läßt sich das meiste in einer einfachen Werkstatt herstellen.

¹⁾ Elementare Theorie der Wechselströme, Oberrealschule zu Weißenfels 1908.

²⁾ Die Behandlung der Mechanik mit Hilfe der Differential- und Integralrechnung, Programmabhandlung der Oberrealschule zu Weißenfels 1914.

³⁾ Z. B. Phys. Zeitschrift 14 (1913), S. 226.

1. Montierung der Röhre. Da das Kathodenstrahlenbündel durch magnetische Kräfte der Spulen Sp abgelenkt, der Verlauf der Kraftlinien aber durch Eisen gestört wird, verwende man hölzerne oder Messingstative; erstere sind natürlicher billiger. Ich habe den Tragarm eines Retortenhalters auf einem Brett von $27 \times 24 \times 5$ cm befestigt; mit demselben wird die Röhre an der Stelle gehalten, an der sich das Diaphragma befindet. Von anderer Seite wird empfohlen, das breite Ende der Röhre in einem Stativ zu fassen.

2. Der Betrieb der Röhre. Die Röhre soll von konstanten Kathodenstrahlen durchstrahlt werden. Daher kann zum Betriebe kein Funkeninduktor verwandt werden. Ich verwende eine Influenzmaschine von 36 cm im Durchmesser messenden Hartgummi-scheiben (sog. Wimshurstsystem); dieselbe wird durch einen kleinen Serienmotor

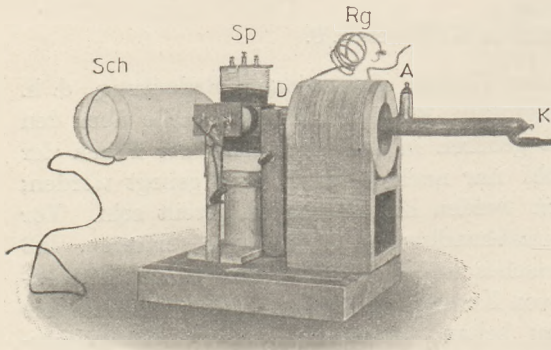


Fig. 1.

($\frac{1}{10}$ PS., 110 Volt) angetrieben, der durch einen Schleifwiderstand von 74Ω reguliert wird. Motorbetrieb ist notwendig, um die Strahlen konstant zu halten. An Stelle der Influenzmaschine kann natürlich auch eine sog. Kondensatormaschine vorteilhaft verwendet werden. Am bequemsten, aber auch teuersten ist der Betrieb mit einer Hochspannungsbatterie. Ob die in neuerer Zeit angezeigten Röhren mit Oxydkathode, die bereits mit der üblichen Gleichstromspannung von 110 bis 220 Volt betrieben werden können, sich für Schulen besonders eignen, kann bezweifelt werden, da sie bei längerer Be-

nutzung bald weich werden sollen, was sich auf Schulen schwer korrigieren läßt. Ohne Benutzung der Spulen Sp soll auf Sch ein scharfer blauer Fleck entstehen, der im rotierenden Spiegel eine ununterbrochene gerade Linie geben muß.

3. Störungen im Betriebe der Röhre und ihre Bekämpfung. Verhältnismäßig harmlos ist der scheinbar unmotiviert zuweilen auftretende Polwechsel der Influenzmaschine, der sich übrigens bei länger gebrauchten Maschinen kaum noch zeigt; meist kann man ihn durch schnellen Kurzschluß der Maschinenpole wieder rückgängig machen. Sehr unbequem ist dagegen das Flackern, Undeutlichwerden, Umherspringen und zeitweise Verschwinden des Luminiszenzflecks auf Sch : die Ursache sind statische Ladungen der Röhrenwand, daher rührend, daß die Elektrizität ihren Weg statt durch die Röhre teilweise an der Glaswand der Röhre sucht und zuweilen direkte Funken zwischen A und K bildet, jedenfalls dadurch die Richtung der Strahlen ändert. Einen gewissen Schutz⁴⁾, den man nicht versäumen soll, gewährt die gründliche Reinigung (Aqu. dest.), Trocknung und Schellackierung der Röhre namentlich zwischen A und K ; es empfiehlt sich, dies gelegentlich zu wiederholen. Etwas beruhigend wirkt es ferner, den Strom umgekehrt kurze Zeit durch die Röhre gehen zu lassen. Den besten Schutz gegen die Störungen gewährt indessen die Einwirkung einer mit Gleichstrom beschickten Spule⁴⁾ (Rg), deren Achse mit der Röhrenachse zusammenfällt und deren sonstige Lage aus der Fig. 1 ersichtlich ist. Das Magnetfeld dieser Spule macht die durch die Ladungen der Röhrenwand divergenten Kathodenstrahlen wieder konvergent, wirkt also ähnlich wie eine Konvexlinse in der Optik; bei richtiger Regulierung des Gleich-

⁴⁾ Die Schutzmaßnahmen verdanke ich großenteils den Angaben meines Freundes Hugo Schultze, ständ. Mitarbeiter an der phys.-techn. Reichsanstalt. Er hat leider, wie so viele andere, inzwischen den Heldenod gefunden. Die Regulierungsspule ist zuerst von Wiechert (Wied. Annalen 69 [1899] S. 751) angegeben, die hier benutzte Form von John Trowbridge (Proc. Amer. Acad. 43 [1908] S. 397).

stroms erhält man so auf *Sch* einen scharfen dauernden Fleck. Die von mir benutzte Spule hat etwa 400—500 Windungen; sie wird mit dem Strom von 5 Akkumulatoren, der durch einen Ruhstrahlwiderstand von maximal $4,5 \Omega$ auf 2—3 Amp. reguliert wird, gespeist. Es ist zweckmäßig, die Spule auf dem Grundbrett verschiebbar und drehbar anzubringen. Als weiteres sehr einfaches Beruhigungsmittel ergab sich ferner die Berührung des breiten Röhrenendes mit der Hand, also Erdung: ein das breite Röhrenende umgebender kreisförmiger Draht, dessen Ende auf dem Tische liegt, tut dieselben Dienste.

4. Die Spulen zur Beeinflussung der Kathodenstrahlen (*Sp*) durch die elektrischen Schwingungen sind nun je nach der Art der letzteren, die man analysieren will, verschieden: bei kleinen Strömen braucht man viele, bei starken wenige Windungen; hochgespannte Ströme erfordern bessere Isolierungen als niedriggespannte. Die für die meisten Versuche ausreichenden Spulen kann man sich selbst leicht herstellen. Im allgemeinen soll man mit möglichst wenig Windungen auskommen, denn bei kurzen Spulen ist die Ablenkung der Kathodenstrahlen zwar etwa der Windungszahl, das den Wechselstrom schwächende Selbstpotential aber etwa dem Quadrat der Windungszahl proportional; wie bei jedem Amperemeter wird man aber den Widerstand möglichst gering halten. Auch soll man die Spulen kurz machen, da infolge der Kraftlinienstreuung die entfernteren Windungen weniger auf die Kathodenstrahlen wirken. Darum empfehlen sich kurze Spulen von breiter Wirkungsfläche: der Querschnitt sei nicht kreisförmig, sondern rechteckig⁵⁾ (vgl. Fig. 1 u. 2); die kürzere, zur Röhrenachse senkrechte Rechteckseite wird etwa gleich dem engen Röhrendurchmesser, die längere, zur Röhrenachse parallele Seite möglichst lang, die Spulenachse 5 cm oder kürzer genommen. Die in unserer Werkstatt hergestellten Spulen sind auf Holzkerne von $2 \times 6 \times 5$ cm gewickelt. Es empfiehlt sich, die Spulen zu unterteilen, um sie für verschieden starke Ströme benutzen zu können; wir können je nach Bedarf 10, 28, 56 Windungen einschalten; Klingeldraht genügt bei wenigen Windungen, sonst 2-mm-Dynamodraht. Für höhere Spannungen (sekundäre Ruhmkorffströme und Entladungen von Leydener Flaschen) eignen sich solche Spulen nicht: die Rollen hierfür müssen sehr gut isoliert sein und sehr viel Windungen haben; denn der Sekundärstrom eines Induktors hat infolge [des hohen Widerstandes der Sekundärspule trotz der hohen Spannung eine kleine Intensität, wirkt also nur bei vielen Windungen in *Sp* und gleiches gilt von Flaschenentladungen, die nur bei sehr hohem Selbstpotential leicht beobachtbare Frequenzen liefern. Hierfür habe ich Rollen von vielleicht 10 000 Windungen 0,1 mm-Cu-Draht wickeln lassen, dieselben in Rizinusöl erhitzt, um Luftblasen auszutreiben, und in Tröge mit Rizinusöl versenkt. Für Sekundärströme haben sie sich ziemlich bewährt, nicht für Flaschenentladungen, was wohl an der schlechten Wickelungsart des Lieferanten liegt; man muß selbstverständlich auch für den letzteren Zweck (nach Art der Sekundärspulen) geeignete Spulen herstellen können, wenn auch vielleicht nicht billig.

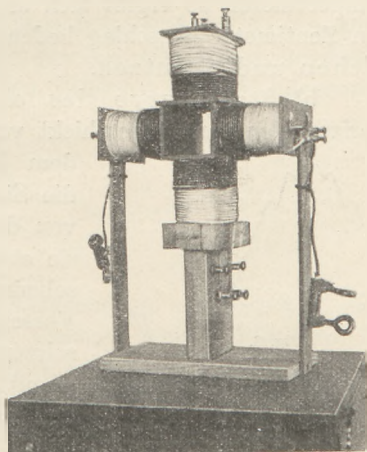


Fig. 2.

5. Die Anbringung der Spulen *Sp*. Je zwei Spulen werden hintereinander geschaltet und auf beiden Seiten (Spulenachse \perp Röhrenachse) der Röhre möglichst

⁵⁾ Auf diese Form wurde ich durch die Abhandlung von Hausrath im Helios 18 (1912) aufmerksam.

nahe gebracht, damit zwischen ihnen ein möglichst homogenes Magnetfeld entsteht. Als geeignete Stelle empfiehlt sich der Raum zwischen dem Diaphragma D und dem weiten Röhrendende. Von den gewöhnlichen Spulen braucht man 4, nämlich 2 horizontale und 2 vertikale, die z. B. nach Art der Figur 1 und 2 miteinander verbunden sind; Zigarrenkistenholz und Laubsäge lassen leicht ein brauchbares Gestell herstellen. Im allgemeinen sind alle Eisenteile zu vermeiden; allenfalls kann man ein Ringgestell aus Messing mit eingelassenen eisernen Armen, die als Spulenachsen dienen, verwenden; die Wirkung wird hierdurch verstärkt, doch treten alle die Übelstände, die mit Eisen verbunden sind (Hysteresis usw.) hierbei auf. In Öl liegende Hochspannungsspulen werden einfach mit ihren Trögen so auf Klötze gestellt, daß ihre Achsen genau in einer zur Röhrenachse senkrechten Richtung liegen.

6. Versuche mit der Röhre. a) Grundversuche: Ein seitlich genäherter Magnetpol verschiebt den Luminiszenzfleck nach oben, der entgegengesetzte nach unten; ein Magnetpol oben bringt seitliche Verschiebung nach rechts oder links hervor. In demselben Sinne wirkt Gleichstrom durch das horizontale bez. vertikale Spulenpaar geschickt; mißt man den hineingeschickten Gleichstrom durch ein vorgeschaltetes Ampèremeter, so ergibt sich an der mm-Teilung des Fluoreszenzschirms, wieviel Amp. ein Zentimeter Ausschlag bedeutet. Man kann also die Röhre als Strommesser eichen und benutzen.

b) Stromkurve des einfachen Wechselstromes. Wechselstrom in die horizontalen Spulen geschickt verursacht eine leuchtende vertikale Linie, die sich mit dem langsam rotierenden Spiegel (Handbetrieb) leicht in die Stromkurve auflöst. Dieselbe zeigt meist Abweichungen von der Sinuslinie. Bei unserer Wechselstrommaschine hat sie etwa die Gestalt der Fig. 3, zeigt also außer der Grundschwingung deutlich noch eine hohe Oberschwingung. Durch Vorschaltung einer Drosselspule⁶⁾ verschwinden die Oberschwingungen fast völlig, die Kurve wird rein sinusförmig (induktiver Widerstand = $L\omega$!). Einschaltung einer Kapazität (Papierkondensatorbatterie vgl. unter f) in den Wechselstromkreis läßt dagegen die Oberschwingungen außerordentlich scharf hervortreten (Kapazitätenwiderstand = $\frac{1}{C\omega}$!), der Strom bekommt scheinbar eine viel höhere Frequenz⁷⁾ und verliert seinen Sinuscharakter fast völlig.

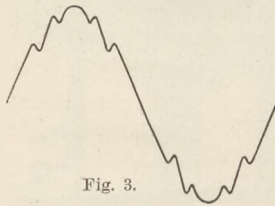


Fig. 3.

c) Scheitelwert und Effektivwert der Stromstärke. Bei sinusförmig gemachtem Strom (transformiert oder Drosselspule vorgeschaltet) wird am Röhrenschirm der Scheitelwert \bar{i} (vgl. a) in Ampère abgelesen; ein vorgeschaltetes Ampèremeter (am besten Hitzdrahtinstrument) gibt den Effektivwert i_e . Es ist, wie die Theorie verlangt, $\bar{i} = i_e \sqrt{2}$.

d) Phasenverschiebung. Werden gleichbelastete Ströme durch das horizontale und vertikale Spulenpaar geschickt, so beschreibt der Luminiszenzfleck eine unter 45° geneigte Gerade. Ist aber das eine Spulenpaar mit Ohmschem, das andere mit induktivem Widerstand (Drosselspule mit einschiebbarem Eisenkern) belastet, so

⁶⁾ Als solche benutze ich z. B. auf Pappe gewickelte Spulen von ca. 900 Windungen, in die sich bequem ein Eisenbündel nach Bedarf einschieben läßt. Letztere kann man sich aus käuflichem Blumendraht billigst herstellen.

⁷⁾ Hierauf beruht es, daß man bei Bestimmung einer Kapazität mit Wechselströmen nach der Formel $C \approx \frac{i_e}{E_e \omega}$ ganz falsche Resultate erhalten kann, da eben für ω nicht der aus der Grundfrequenz folgende Wert gesetzt werden darf. Um so besser erhält man durch die entsprechende Strom- und Spannungsmessung $L \approx \frac{E_e}{i_e \omega}$, da die Einschaltung des Selbstpotentials von selbst einen sinusförmigen Strom garantiert.

erscheint eine Ellipse. Es empfiehlt sich, vor die Stromverzweigung eine besondere Drosselspule zu legen, damit die Ellipse nicht durch Oberschwingungen verzerrt wird; ferner wird man zweckmäßig jeden Zweig mit Ausschalter versehen und erst einzeln einschalten, dabei den Ohmschen Widerstand des einen Zweiges so wählen, daß die Amplituden beider Zweige gleich sind, damit die Ellipsenachse unter 45° geneigt ist. Bei Einsenkung des Eisenkerns ist die Ellipse viel weiter geöffnet als ohne Eisenkern. Entsprechende Versuche lassen sich mit Drehstrom machen.

e) Von besonderem Interesse sind die Vorgänge am Ruhmkorff (Hammerunterbrecher): es gibt in der Tat kein besseres Mittel zur Erzielung des Verständnisses für die Verschiedenheit des Öffnungs- und des Schließungsstromes, als die Betrachtung und Nachzeichnung der Stromkurven des Primär- und Sekundärstromes; sie ist auch deshalb didaktisch besonders wertvoll, weil sie klar die Abhängigkeit eines Induktionsstromes vom Differentialquotienten des induzierenden Stromes erkennen läßt. Freilich kann man mit der Braunschen Röhre immer nur einen der Ströme auf einmal sehen. Den Primärstrom leitet man durch die gewöhnlichen (horizontalen) Spulen. Es erscheint dann im langsam rotierenden Spiegel ein Bild etwa von Fig. 4, wobei die Teile *C* die oszillierenden Entladungen des Kondensators darstellen: so interessant diese für den Fachmann sind, für den Unterricht empfiehlt sich, um möglichst einfache Verhältnisse zu schaffen, die Zuleitung zum Kondensator

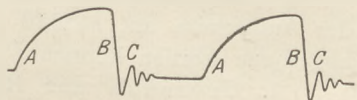


Fig. 4.

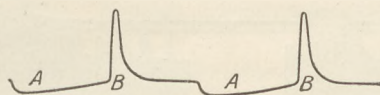


Fig. 5.

mit einem Ausschalter zu versehen und bei diesem Versuche zu unterbrechen; die Kurven erscheinen dann ohne den Teil *C* mit nicht ganz so steil abfallendem *B*. Für den Sekundärstrom sind, wie oben (4) gesagt, andere Spulen zu verwenden: mit denselben erhält man das Bild der Fig. 5, aus dem die Stärke- und Dauerverhältnisse des Schließungs- und Öffnungsstromes ersichtlich sind. Zu beachten ist, daß das Magnetfeld des Induktors die Kathodenstrahlen beeinflussen und die Bilder stören kann; man stellt darum den Ruhmkorff 1—2 Meter entfernt von der Röhre auf.

f) Oszillierende Entladungen. Hier handelt es sich um schnellere Vorgänge als die bisherigen. Der rotierende Spiegel wird daher mit einem kleinen Motor getrieben, dessen Tourenzahl durch einen Schiebewiderstand geregelt wird. Auch dann sind die Beobachtungen nicht leicht, wenn man gemäß der Thomsonschen

Formel $n = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ nicht entweder das Selbstpotential oder die Kapazität groß

macht. Ersteres ist bei Flaschenentladungen nötig, als Selbstpotential ist die Sekundärspule eines kleinen Ruhmkorff empfehlenswert. In Ermangelung geeigneter Spulen *Sp.* empfiehlt sich der Nachweis mit der Glimmlichtoszillographenröhre (vgl. diese Zeitschrift 19 [1906], S. 141), ein ebenso wohlfeiles Instrument wie die Braunsche Röhre: sie zeigt aber die Kurvenform nicht so getreu wie die letztere (z. B. bei den sekundären Ruhmkorffströmen), wohl aber die Polwechsel und Scheitelintensitäten. Verwendet man aber größere Kapazitäten (Papierkondensatoren von Mix und Genest, am besten eine Batterie von solchen in Parallelschaltung), so genügen bei der Braunschen Röhre einfache Drosselspulen als Selbstpotentiale. Die Schaltung ist die der Fig. 6, in der *V* eine Gleichstromspannung von 110 oder 220 Volt, *C* die Kapazität, *L* die Drosselspule, *U* ein an der Achse des rotierenden Spiegels befestigter rotierender Umschalter ist: während eine von *C* kommende Schleiffeder an einem Messingring dauernden Kontakt hat, ist letzterer bei Rotation des Spiegels abwechselnd mit *V* (Aufladung) und mit *L* (Entladung) in Verbindung; die Entladungen

gehen durch die gewöhnlichen Spulen der Braunschen Röhre, erfolgen während jedes Umlaufs dreimal immer bei den gleichen Spiegelstellungen, sind also von denselben drei Stellen zu sehen und verstärken sich in ihrer Wirkung auf das Auge. Die Entladungskurven haben deutlich die Form des gedämpften Wechselstromes (Figur 7).

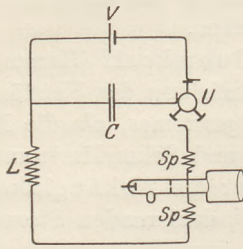


Fig. 6.

Sehr leicht kann man die Frequenz erniedrigen (Erscheinung breiter!) durch Einsenken des Eisenkernes in L , ferner erhöhen durch Ausschalten von Kondensatoren (Erscheinung enger). Auch die Dämpfung läßt sich durch Einschalten von Widerstand in den Entladungskreis bis zur Aperiodizität vergrößern (Fig. 8). Qualitativ läßt sich also die Thomson'sche Formel gut bestätigen, von einer quantitativen Bestätigung wird man auf der Schule absehen können. Die Kon-

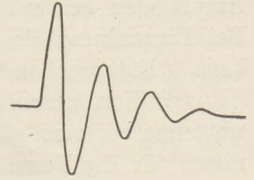


Fig. 7.



Fig. 8.

densatoren werden zweckmäßig durch Drahhaken an Messingstäben aufgehängt, die ihrerseits durch Bettung in Paraffin isoliert befestigt werden können, wie Fig. 9 zeigt:

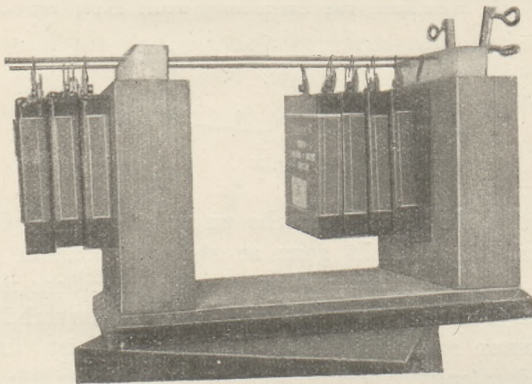


Fig. 9.

die während des Versuches auszuschaltenden Kondensatoren bringe ich an der Außenseite an, so daß sie leicht abgezogen werden können.

7. Gebrauch der Röhre im Unterricht. Der Vorteil der Braunschen Röhre für Laboratoriumszwecke ist das Fehlen jeder Trägheit der Kathodenstrahlen, so daß sie bis zu recht hohen Frequenzen ein naturgetreues Bild liefert. Im Unterricht hat sie gegenüber dem teureren Oszillographen den Nachteil, für objektive Projektionen der Stromkurve zu lichtschwache Bilder zu geben: die Schüler müssen also

herantreten und bei Verdunkelung in den rotierenden Spiegel sehen; das kann bei den gewöhnlichen Wechselstrom- und Ruhmkorffkurven von 8—10 Schülern auf einmal geschehen; die Kondensatorentladungen können bei dem oben angegebenen dreimaligen Kontakt ebenfalls etwa 3 Gruppen à 3 Schüler gleichzeitig beobachten. Zu bemerken ist, daß man Stromstärkeablesungen an der Röhre von der den Strahlen abgewandten Seite des Schirmes, die die Millimeterteilung besitzt, vornimmt, den rotierenden Spiegel aber besser auf die unmittelbar bestrahlte Seite stellt, da sie hellere Bilder liefert. Bei den vielen Stromkreisen besonders der letzten Versuche empfiehlt sich im Unterricht die Anwendung verschiedenfarbiger Kabel für die einzelnen Kreise. Nicht gelungen ist mir bisher die photographische Fixierung⁸⁾ der Stromkurven, die an sich möglich ist; für den Unterricht ist jedenfalls die unmittelbare Betrachtung wertvoller.

Die Versuche sind im Anfang etwas mühsam, gelingen aber bei den angegebenen Vorsichtsmaßnahmen bald sicher und pflegen Lehrer und Schüler gleiche Freude zu bereiten.

⁸⁾ Die Herstellung der Bilder 1, 2 und 9 besorgte mein Kollege Dr. Sultze, dem auch die Anfertigung der meisten Nebenapparate in der Werkstatt zu danken ist.

Ein einfacher Apparat für Schülerübungen aus der Optik und Wärmelehre.

Von

P. Hanck in Pasewalk.

Bei der Durchsicht der Literatur über physikalische Schülerübungen fiel es mir auf, daß, von Grimsehl's ausgewählten physikalischen Schülerübungen abgesehen, nirgends Aufgaben über die Polarisation des Lichts behandelt werden. Der Grund hierfür mag teils darin zu suchen sein, daß dieses Gebiet vielfach im Unterricht nicht eingehender behandelt wird, teils darin, daß die dazu nötigen Apparate meist recht teuer sind. So stellen sich z. B. die von Grimsehl angegebenen Konstruktionen auf 42 M., ein Preis, der ihre Benutzung bei Schülerübungen in gleicher Front nicht überall ermöglicht. Da aber die Polarisationserscheinungen zu den schwierigsten Kapiteln der Physik gehören, halte ich es für wichtig, daß das Verständnis der Schüler hierfür durch praktische Übungen gefördert wird. Ja, die Übungen auf diesem Gebiete scheinen mir besonders notwendig zu sein, weil bei objektiver Darstellung mit dem Projektionsapparat die Stellung der einzelnen Apparatenteile zueinander, die hier gerade von Bedeutung ist, nicht genügend übersehen werden kann. Der Schüler sieht auf dem Projektionsschirm wohl ein Bild als Ergebnis des Versuches, aber er kann in dem verdunkelten Lehrzimmer nicht erkennen, wie das Bild zustande kommt, er muß den Worten des Lehrers Glauben schenken. Diesem Übelstande wird durch eigene Beobachtung in den Übungen abgeholfen.

Billig und recht brauchbar für derartige Versuche ist eine von der Firma Meiser & Mertig, Dresden, Kurfürstenstraße hergestellte optische Bank (Fig. 1), die für 12 M. bezogen werden kann. Sie besteht aus einem Stativ mit nach allen Seiten beweglichem Stab von 50 cm Länge, 5 verschiedenen Linsenfassungen, 3 Konkavlinsen, 1 Konkavlinse, 2 drehbaren Haltern zum Einsetzen von Glasplatten, 1 Mattglasscheibe und 2 belegten Spiegeln. Gegen einen Mehrpreis von 2 M. werden auch Einsatzteile zur Zusammenstellung eines Nörremberg'schen Polarisationsapparates (Fig. 2) sowie eine Anzahl Gipsplättchen geliefert. Mit dieser Bank lassen sich nicht nur die bekannten Versuche über Linsen und optische Instrumente ausführen, sondern sie kann auch mit geringen Kosten leicht so vervollständigt werden, daß fast alle für die Schule überhaupt in Betracht kommenden Polarisationserscheinungen beobachtet werden können. Da sie außerdem gute Dienste leistet bei der Bestimmung der Wellenlänge des Lichts durch Beugungsgitter, als Spektralapparat und als Apparat zur Bestimmung des linearen Ausdehnungskoeffizienten fester Körper, kann sie Anstalten, denen keine größeren Mittel zur Verfügung stehen, sehr empfohlen werden.

Die Linsenversuche und die Zusammenstellung optischer Instrumente habe ich in Aufgabe 46—49 und 51—53 meiner physikalischen Schülerübungen (Quelle & Meyer, Leipzig 1914) angegeben, sie sind ohne weiteres verständlich. Im folgenden sei näher erläutert, wie der Apparat für die übrigen Versuche hergerichtet werden kann.

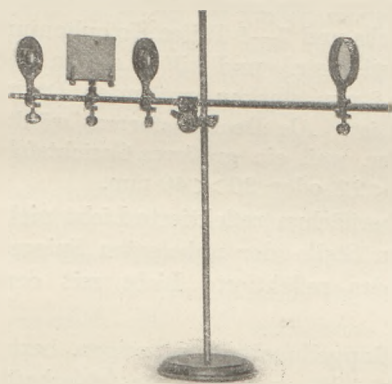


Fig. 1.



Fig. 2.

I. Polarisation.

1. Messung des Polarisationswinkels. Man stellt die Führungsschiene der optischen Bank vertikal und setzt aus dem schwarzen Spiegel, der unbelegten Glasplatte und dem belegten Spiegel nach Fig. 2 einen Nörremberg'schen Polarisationsapparat zusammen. In möglichst geringer Entfernung von dem Apparat stellt man einen Bunsenbrenner auf, dessen Flamme durch Kochsalz gelb gefärbt ist, und verschiebt die unbelegte Glasplatte so, daß die Klemmschraube ungefähr in gleicher Höhe mit dem unteren Ende der Flamme liegt. Dann neigt man den Polarisator und den Analysator um etwa 45° gegen die Horizontale und beobachtet bei parallelen Spiegeln die Natriumflamme im Analysator. Dreht man diesen um 90° , so erscheint die Flamme bedeutend dunkler. Durch Drehen der beiden Spiegel um eine horizontale

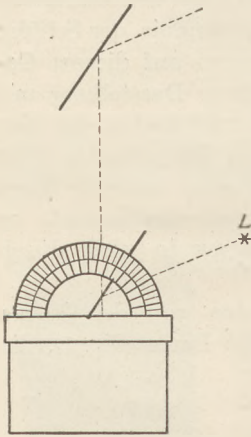


Fig. 3.

Achse sucht man nun eine Stellung zu erhalten, bei der das Bild der Flamme ganz verschwindet, das Licht also unter dem Polarisationswinkel auf die Spiegel fällt. Um diesen Winkel zu messen, stellt man gegen den unteren Spiegel einen Unterlegklotz und verfährt, wie aus Fig. 3 ersichtlich. Zur Sicherheit muß man sich jedoch vorher überzeugen, ob die Flamme bei parallelen Polarisatoren noch zu sehen ist, ob also der obere Spiegel überhaupt noch vom Lichte getroffen wird. Nötigenfalls verschiebt man die Flamme entsprechend.

Der sich ergebende Winkel wird mit dem aus der Gleichung $\operatorname{tg} \varphi = n = 1,515$ berechneten verglichen. Beide Werte weichen im allgemeinen nicht mehr als $\frac{1}{2}^{\circ}$ voneinander ab. Die mittlere Abweichung ist sehr gering.

2. Der Glasplattensatz. Für die Beobachtung der Polarisation durch Brechung ersetzt man den oberen schwarzen Spiegel durch einen Glasplattensatz, den man in einfacher Weise selbst herstellen kann. Man legt auf einen mikroskopischen Objektträger 8—10 übereinander geschichtete Deckgläser, bestreicht ihre Ränder mit Deckglaskitt nach Prof. Krönig, einem aus 2 Teilen Wachs und 7—9 Teilen Kolophonium hergestellten Gemisch (Bezugsquelle Leitz, Berlin, Luisenstr.) und kittet sie an den Objektträger. Am besten geschieht dies durch einen 2 mm starken erwärmten Draht, der an einem Ende in Länge von 2 cm umgebogen ist. Als Deckglasformat wählte ich die gebräuchliche Größe 18×18 mm, vorteilhafter, weil ein größeres Gesichtsfeld gewährend, wären vielleicht solche vom Format 18×27 oder 20×40 mm.

Um nachzuweisen, daß das von metallischen Oberflächen reflektierte Licht nicht polarisiert ist, spannt man in den unteren Halter an Stelle der unbelegten Spiegelglasplatte einen belegten Spiegel und untersucht das reflektierte Licht mit dem schwarzen Spiegel oder dem Glasplattensatz.

3. Der Kalkspat. Um die Erscheinung der Doppelbrechung zu zeigen, bezog ich von der genannten Firma Meiser & Mertig für 3 M. ungeschliffene fehlerhafte Kalkspatkristalle, die aber die Doppelbrechung gut erkennen lassen und für Schülerübungen vorzüglich zu verwerten sind. Den Kalkspat legt man auf ein Stück Schreibpapier, das mit einer 1—2 mm weiten runden Öffnung versehen ist. Es erscheinen zwei Bilder der Öffnung. Dreht man den Kalkspat, so beobachtet man eine Änderung in der Lage der Bilder. Zieht man durch die Öffnung zwei aufeinander senkrecht stehende Gerade, so erscheinen im allgemeinen von jeder Geraden wieder zwei Bilder. Dreht man den Kristall, bis von einer Geraden AB (Fig. 4) nur ein Bild erscheint, so liegt diese im Hauptschnitt. In dieser Lage bringt man Papier und Kalkspat auf den Tisch des Polarisationsapparates. Der Tisch besteht aus einem großen Linsenhalter mit drehbarem Einsatz, in den eine runde Spiegelglasplatte gelegt wird. Er-

setzt man dann den Polarisator durch einen belegten Spiegel und blickt in den Analysator, so sieht man, daß sich bei einer Drehung des Tischeinsatzes die Helligkeit der Bilder der Papieröffnung oder der Geraden CD und $C_1 D_1$ ändert. Dreht man den Tischeinsatz so, daß die in Richtung EF liegende Gerade CD oder das ordinäre Bild erscheint, die außerhalb dieser Richtung liegende Gerade $C_1 D_1$ oder das extraordinäre Bild dagegen fast völlig verschwindet, so kann man durch Vergleichung der Richtung des Hauptschnittes AB mit der Einfallsebene des Analysators nachweisen, daß der ordinäre Strahl im Hauptschnitt polarisiert ist. Ebenso kann die Art der Polarisation des extraordinären Strahles untersucht werden.

4. Das Gipsblättchen. Eine Anzahl Gipsblättchen wird, wie erwähnt, dem Apparate beigegeben. Über die anzustellenden Versuche vergleiche Aufgabe 58 meiner physikalischen Schülerübungen. Die dort angeführten Versuche sind der Hauptsache nach die von Grimsehl in seinen ausgewählten physikalischen Schülerübungen angegebenen. Benutzt man den Kalkspat in Verbindung mit einem Gipsblättchen, so kann man nach der bekannten Methode zeigen, daß die Komplementärfarben Rot und Grün, Gelb und Blau usw. Weiß ergeben.

5. Bestimmung des Zuckergehaltes. Die Bestimmung des Gehaltes einer Zuckerlösung nach Grimsehl ist ausführbar, wenn man die Stellung des Analysators an einer Kreisteilung ablesen kann. Zu dem Zweck klebte ich an einen großen Linsenhalter mit Picein einen durch dünnen Karton verstärkten Papiertransporteur (Fig. 5). An dem in den Linsenhalter passenden Einsatz E lockerte ich die beiden Schrauben, die zur Befestigung des aufgesetzten Armes A dienen, und klemmte einen aus Aluminiumblech zurecht geschnittenen Zeiger ein. Der so vervollständigte Apparat hat vor dem Grimsehlschen außer dem billigen Preise zwei Vorzüge: Das vom Analysator reflektierte Licht ist bei Verwendung des schwarzen Spiegels vollständig polarisiert und die Höhe des Gefäßes für Zuckerlösung kann 5 cm übersteigen, infolgedessen ist eine genauere Bestimmung des Zuckergehaltes möglich. Damit ein größeres Gefäß von etwa 10 cm Höhe nicht auf dem Tisch des Apparates umgestoßen wird, kann es durch einen großen Linsenhalter, den man über das Gefäß schiebt, gehalten werden. Genügender Halt wird auch schon dadurch gewährt, daß man den Ring des Analysators über das Gefäß schiebt.

Bei der Bestimmung des Zuckergehaltes kann man nun natürlich für die spezifische Drehung nicht den Wert $[\alpha] = 66,5^\circ$, der nur bei Verwendung von Natriumlicht gilt, zugrunde legen. Ebenso würde auch der verschiedentlich in einschlägigen Werken für weißes Licht angegebene Winkel $[\alpha] = 71^\circ$ fehlerhafte Ergebnisse liefern, da sich dieser auf die sogenannte empfindliche oder Übergangsfarbe bezieht. In unserm Falle soll dagegen das durch das Gipsblättchen hindurchgegangene, von dem Analysator reflektierte Licht Weiß ergeben. Nun wird ja allerdings, wenn das Gefäß mit Zuckerlösung in den Strahlengang eingeschaltet ist, der Analysator theoretisch nicht so gestellt werden können, daß das reflektierte Licht ein reines Weiß ergibt, weil die Flüssigkeit nicht nur eine Drehung, sondern auch Farbenzerstreuung hervorruft, aber bei schwächerer Drehung ist die Farbenzerstreuung sehr gering, und das Gipsblättchen erscheint weiß. Bei stärkerer Drehung ergibt die Summe sämtlicher vom Analysator reflektierten Farbenkomponenten zwar kein reines Weiß, es treten jedoch, wenn das

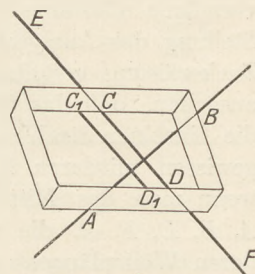


Fig. 4.

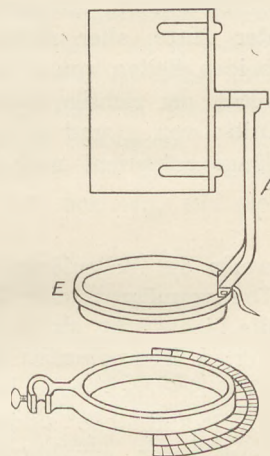


Fig. 5.

Blättchen nicht zu dünn ist, auch keine deutlichen Farben auf, der Farbenton ist verwaschen. Die richtige Einstellung erkennt man in beiden Fällen daran, daß bei einer Drehung des Analysators nach rechts und nach links Komplementärfarben zu beobachten sind. Am geeignetsten erweisen sich Gipsblättchen mit den Farben Rot und Grün, und zwar bei Stärken zwischen 0,10 und 0,16 mm. Wenn das Rotationsvermögen allerdings einen gewissen Grad übersteigt, wird das Gipsblättchen bei keiner Stellung des Analysators farblos erscheinen, dieser Fall tritt aber bei kürzeren, mit Zuckerlösung gefüllten Röhren nicht ein. Wir können also von der Voraussetzung ausgehen, daß das Gipsblättchen farblos oder fast farblos erscheint. Dies wird, da die einzelnen Strahlengattungen verschieden gedreht werden, bei Einstellung auf einen gewissen mittleren Strahl eintreten. Man wird also den Drehungswinkel erhalten, wenn man das Mittel nimmt aus den Drehungen für die Fraunhoferschen Linien *A*, *B*, *D*, *F*, *H*, die ziemlich gleichmäßig über das normale Spektrum verteilt sind, deren Wellenlängen annähernd eine arithmetische Reihe bilden. Diese Drehungen sind nach Landolt, das optische Drehvermögen:

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>D</i>	<i>F</i>	<i>H</i>
38,47°	47,56°	66,41°	101,18°	157,06°

Der Mittelwert, die spezifische Drehung, ist $[\alpha] = 82,13^\circ$.

Zu einem ähnlichen Ergebnisse kommt man durch folgende Überlegung. Das unter gewöhnlichen Verhältnissen sichtbare Spektrum geht von der Linie *A* bis zur Linie *H*. Das Mittel aus den Drehungen für diese beiden Linien ist $97,77^\circ$, eine Drehung, die etwa der Fraunhoferschen Linie *F* entspricht. Diese Linie liegt nun bei dem prismatischen Spektrum, bei dem gerade so wie bei der Zirkularpolarisation die Ablenkung umgekehrt proportional dem Quadrat der Wellenlänge ist, ungefähr in der Mitte, aber nicht bei dem normalen Beugungsspektrum. Die Lichtstärke zu beiden Seiten von *F* ist daher ungleich, und der Wert $97,77^\circ$ kann bei weißem Licht nicht der richtige Drehungswinkel sein. Bei dem normalen Spektrum liegt in der Mitte von *A* und *H* die Wellenlänge $580 \mu\mu$, also etwa die *D*-Linie. Dieser Wellenlänge entspricht nach der Dispersionsformel

$$[\alpha] = \frac{2538}{\lambda^2} - 5,58,$$

worin die Wellenlänge in Zehntausendstel mm zu nehmen ist (Landolt, das optische Drehvermögen), eine Drehung von $[\alpha] = 69,88^\circ$. Zu beiden Seiten dieser Linie ist die Lichtstärke gleich, aber das Drehvermögen verschieden, die vom Analysator reflektierten Komponenten würden also das Gipsblättchen gefärbt erscheinen lassen. Die wirkliche spezifische Drehung wird man daher finden, wenn man den Mittelwert zu $97,77^\circ$ und $69,88^\circ$ bildet, sie beträgt also $[\alpha] = 83,82^\circ$, ein Wert, der mit dem vorher berechneten annähernd übereinstimmt. Die Richtigkeit dieser Überlegungen wurde durch folgende Messungen bestätigt. In der Tabelle bedeutet *l* die Länge der Flüssigkeitssäule und *p* die Anzahl Gramm des in 100 cm^3 enthaltenen Zuckers. Um den Analysator genauer einstellen zu können, schaltete ich zwischen diesem und dem Gefäß für Zuckerlösung die große Konvexlinse von ungefähr 20 cm Brennweite so ein, daß das Gipsblättchen deutlich zu sehen war.

Aus den 4 Beobachtungen (s. nebensteh. Tab.) erhält man für die spezifische Drehung

$$82,4^\circ; 81,0^\circ; 82,1^\circ; 86,2^\circ.$$

Der Mittelwert ist, wenn man den gemessenen Winkeln entsprechend der Größe der ursprünglichen Drehung das Gewicht 4, 2, 2, 1 gibt, $[\alpha] = 82,5^\circ$. Dieser Wert wurde auch ziemlich genau bei weiteren Versuchen mit demselben Gipsblättchen erhalten. Es zeigte sich jedoch, was von vornherein zu erwarten ist, daß die Drehung etwas von der Stärke der Gipsblättchen abhängt. Man muß also streng genommen bei der Bestimmung des Zuckergehaltes ein Gipsblättchen benutzen, für das man den Winkel $[\alpha]$ bestimmt hat.

	Anfangsstellung des Analysators	Stellung des Analysators nach der Drehung			
		$l = 8,5$ cm $p = 50$	$l = 4,25$ cm $p = 50$	$l = 8,5$ cm $p = 25$	$l = 4,25$ cm $p = 25$
	134,3	169,6	152,5	152,5	142,9
	134,4	168,8	150,8	151,2	143,5
	135,0	170,0	152,1	151,2	144,4
	134,8	169,9	152,1	152,6	143,7
	134,3	169,6	151,4	152,5	144,1
Mittel	134,56	169,58	151,78	152,0	143,72
Drehung	—	35,02°	17,22°	17,44°	9,16°

Zur Ausführung aller genannten Polarisationsversuche sind, wenn man von dem Preis für die optische Bank, die ja ohnehin nötig ist, absieht, folgende Teile zu beschaffen:

- Zubehör zur Polarisation 2,— M.
- Kalkspat 3,— „
- Gefäß für Zuckerlösung 1,50 „
- Transporteur und Deckgläser 0,25 „

Man kann also für wenig Geld Hilfsmittel für reichhaltigen Übungsstoff erwerben. Allerdings ist ja auf die Zurichtung des Apparates einige Zeit zu verwenden, aber die angegebenen Arbeiten sind so einfach, daß sie von jedem leicht ausgeführt werden können, und welcher Lehrer, dem die Ausbildung seiner Schüler am Herzen liegt, würde sich nicht gern dieser kleinen Mühe unterziehen. Für die Schüler ist es jedenfalls gewinnbringender, wenn sie die Hapterscheinungen der Polarisation selbst mit Verständnis beobachten haben, als wenn sie sich eine Reihe von Tatsachen, die doch dem Gedächtnis entschwenden, nach den Angaben des Lehrbuches einprägen. „Der Zauber der Wissenschaft besteht und ihr Reiz enthüllt sich nicht in der bloßen Mitteilung der Ergebnisse, sondern in der Verfolgung der Wege und der Art, wie die Ergebnisse gewonnen werden.“

II. Beugung des Lichts.

1. Die Bestimmung der Wellenlänge. Um die Wellenlänge durch Beugungsgitter zu bestimmen, stellt man den Apparat, wie Fig. 6 zeigt, auf. Man schneidet aus einem Stück Karton von entsprechender Größe mit einem scharfen Messer einen Spalt, klebt einen etwa 10 cm langen Papiermaßstab darauf und klemmt den Karton in den linken Halter. Besser wird man allerdings einen fertigen Spalt beziehen und die Skala mit Picein darauf kitten. Die Firma Meiser & Mertig liefert in die Halter passende, verstellbare Spalte für 1,55 M. In den rechten Halter klemmt man parallel zum Spalt die Spiegelglasplatte und befestigt an dieser durch zwei besondere Federklemmen ein Beugungsgitter mit der Gitterkonstante 0,01 mm. Ein Herunterfallen des Gitters wird durch eine vorstehende Kante des Halters verhindert. Stellt man dann vor den enggestellten Spalt eine Natriumflamme, so kann man die Beugungsbilder deutlich

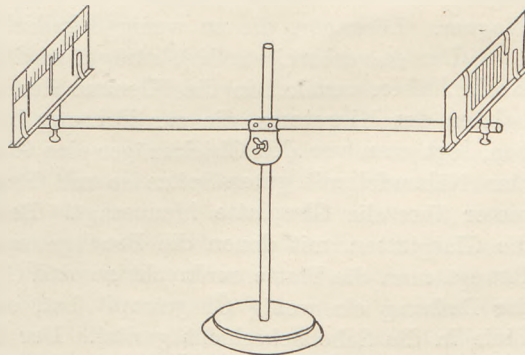


Fig. 6

beobachten und die Lage der beiden ersten Bilder unter Schätzung von $\frac{1}{10}$ mm auf dem Maßstab ablesen. Aus der Entfernung des ersten Beugungsbildes von der Gittermitte ergibt sich die Wellenlänge auf Grund der Gleichung $\lambda = b \sin \omega$. Die erhaltenen Werte sind bei Benutzung eines Gitters von der Konstante 0,01 mm für Schülerübungen recht genau, sie schwanken bei sorgfältiger Beobachtung zwischen 587 und 592 $\mu\mu$. Ebenso kann man die Wellenlänge der roten Lithiumlinie bestimmen.

Wenn man bei diesen Versuchen an Stelle des festen Maßstabes eine durch Federklemmen gehaltene verschiebbare Skala wählt, so kann man ihren Nullpunkt auf den linken Beugungsstreifen einstellen und kommt dann mit einer Ablesung aus. Wählt man außerdem die Entfernung des Gitters vom Spalt gleich 50 cm, so gibt die in $\frac{1}{10}$ mm abgelesene Entfernung der beiden ersten Beugungsbilder ziemlich genau die Wellenlänge der betreffenden Linie in Millimikron an. In dieser Form ist der Apparat auch für subjektive Beobachtung im Unterricht geeignet an Anstalten, an denen keine Schülerübungen eingeführt sind. Es wird auf die Schüler jedenfalls einen gewissen Eindruck machen, daß man eine so unfaßbar kleine Größe wie die Wellenlänge des Lichts hier unmittelbar an einem Maßstab ablesen kann, so wie man etwa den Barometerstand abliest. Überhaupt habe ich gefunden, daß die Schüler in den Übungen für keinen Versuch ein größeres Interesse zeigen, wie gerade für die Bestimmung der Wellenlänge.

Bei Übungen in gleicher Front wird nun ein Gitter von kleiner Gitterkonstante wegen des hohen Preises nicht immer benutzt werden können, es genügen dann aber auch solche von größerer Konstante, etwa 0,1 mm, wie sie für 5—6 Mark zu beziehen sind. Um eine größere Genauigkeit zu erzielen, muß man in diesem Falle jedoch den Abstand entsprechender Beugungsbilder höherer Ordnung messen. Bei Benutzung der dritten Beugungsbilder liegen die erhaltenen Werte zwischen 580 und 600 $\mu\mu$.

2. Selbstherstellung von Beugungsgittern. Man kann solche Beugungsgitter in größerer Anzahl auch leicht selbst herstellen, wenn man im Besitze eines von der Firma Leitz, Berlin, konstruierten Handmikrotoms zur Herstellung mikroskopischer Präparate ist. (Preis 30 M.) Ich habe hiermit Beugungsgitter von den Konstanten 0,1 und 0,05 mm hergestellt, die allen Anforderungen, die man für den Gebrauch in Schülerübungen an sie stellen kann, entsprechen. Ein mikroskopischer Objektträger wird in der Mitte über einer Kerze so schwach berußt, daß er noch gut durchsichtig ist, über einer Bunsenflamme erwärmt und dann mit Fixativ übergossen. Den richtigen Grad der Erwärmung findet man leicht. Ist der Objektträger zu kalt, so erhärtet das Fixativ nur langsam und wird trübe und undurchsichtig, und der Objektträger ist für unseren Zweck unbrauchbar. Bei starker Erwärmung erhärtet das Fixativ zu schnell, wird glasartig spröde und springt dann bei der weiteren Zurichtung leicht in kleinen Stücken ab. Auch bei richtig erwärmten Objektträgern wird man diese Beobachtung machen, wenn man sie längere Zeit liegen läßt. Als Fixativ benutzte ich solches für den Schulgebrauch von Günther u. Wagner. Lösungen, die zu wenig Schellack enthalten, sind nicht geeignet.

Der so vorbereitete Objektträger wird mit der Schellackseite nach vorne zwischen Korkscheiben vertikal in die Klemme des Mikrotoms gespannt. Quer über die Glasbahnen des Mikrotoms, die zur Führung beim Schneiden mit dem Rasiermesser dienen, legt man vor den Objektträger eine Glasplatte (Fig. 7), auf die man in der Mitte eine Nähnadel mit guter Spitze so mit Picein kittet, daß die Spitze um einige Millimeter über die Glasplatte hinausragt. Besonders brauchbar sind für diesen Zweck die Glasplatten, mit denen die Bruchgrammgewichte in Gewichtssätzen bedeckt sind. Bewegt man die Platte senkrecht zu den Glasbahnen, auf die man zur Verminderung der Reibung ein wenig Öl getropft hat, so wird durch die Nadelspitze eine feine Linie in die Schellackschicht geritzt. Der Objektträger kann nun durch eine Mikrometerschraube, an der man Änderungen von $\frac{1}{100}$ mm ablesen kann, gehoben werden.

Nach einer Drehung der Schraube um 5 bzw. 10 Teilstriche ritzt man eine neue Linie auf dem Objektträger ein. Auf diese Weise erhält man durch weiteres Heben Gitter von der Gitterkonstante 0,05 oder 0,1 mm, die auch direkt in den Halter der optischen Bank geklemmt werden können. Solche mit kleinerer Konstante herzustellen, ist mir nicht gelungen, die durch die Nadelspitze eingeritzten Linien waren so breit, daß bei diesen Versuchen immer die ganze Schellackschicht entfernt wurde. Auf die fertigen Gitter legt man zum Schutze ein Deckglas, dessen Ränder man mit Deckglaskitt verschließt, und wischt die überflüssige Schellackschicht mit einem in verdünnten Alkohol getauchten Lappen ab. Zur Aufbewahrung legt man sie in eine Präparatenmappe.

Ein nach dem beschriebenen Verfahren hergestelltes Gitter mit 25 Strichen und der Konstante 0,1 mm zeigte bei Natriumlicht noch sehr deutlich die Beugungsbilder fünfter Ordnung, bei Lithiumlicht die der ersten Ordnung. Gitter mit 40 Strichen und der Konstante 0,05 mm zeigten nur die Beugungsbilder erster Ordnung, bei Lithiumlicht waren sie nur schwach zu sehen.

Betrachtet man die Gitter bei schwacher Vergrößerung unter dem Mikroskop, so erkennt man deutlich die Gitterstriche und sieht, daß sie alle gleichen Abstand haben.

An und für sich könnte man auch Gitter mit mehr Strichen herstellen und dadurch noch hellere Beugungsbilder erzielen, aber es ist dann, gerade so wie bei zu stark berußten Objektträgern, nicht möglich, die Lage der Bilder auf dem Maßstab sicher abzulesen, da auch von diesem Bilder entstehen, die ihn undeutlich erscheinen lassen. Solche Gitter lassen sich jedoch für objektive Demonstrationen mit dem Projektionsapparat verwerten. Bei 15 mm Breite und der Konstante 0,1 mm ergaben sie sehr helle, auch aus größerer Entfernung gut sichtbare Beugungsbilder. Die sich überlagernden Spektra höherer Ordnung erschienen dabei weiß. Natürlich lassen sich diese Bilder, was Farbschönheit anbelangt, nicht mit den breiten Beugungsspektren der Gitter kleinerer Konstante vergleichen.

Nicht unerwähnt bleiben möge, daß man mit diesen Gittern auch durch einen einfachen Freihandversuch eine rohe Messung der Wellenlänge des Lichts ausführen kann. Man nimmt in die linke Hand eine auf Papier gedruckte Millimeterskala, in die rechte das Gitter und beobachtet einen der Zehner-Teilstriche, es erscheint deutlich rechts und links von diesem je ein Beugungsbild. Die Entfernung e der Skala von dem Gitter wird nun so gewählt, daß der Abstand a der Beugungsbilder 2 oder 4 mm beträgt, die Beugungsbilder also auf zwei Teilstriche des Maßstabes fallen. Aus dem Abstand a und der zu schätzenden Entfernung e ergibt sich der Beugungswinkel, und die Wellenlänge kann wie vorher berechnet werden.

III. Spektralversuche.

Sollen Emissions- und Absorptionsspektren in den Übungen beobachtet werden, so befestigt man an einem Ende der optischen Bank einen Halter mit Spalt und davor in einer Entfernung von etwa 15 cm einen Linsenhalter mit der großen Konvexlinse. Vor die Linse bringt man ein auf ein Tischstativ gestelltes Schwefelkohlenstoffprisma. Dann beobachtet man das von einer Kerze ausgehende Spektrum, stellt das Prisma auf das Minimum der Ablenkung ein und verschiebt die Linse so, daß das Spektrum recht deutlich erscheint. Ebenso werden die Spektren von Lithium, Kalium, Kalzium, Strontium und Baryum untersucht. Absorptionsspektren können beobachtet werden durch Einschalten von farbigen Glasplatten, Gelatinefolien oder von Küvetten mit absorbierenden Flüssigkeiten. Das Tischstativ kostet bei Meiser u. Mertig 1,10 M., das Schwefelkohlenstoffprisma 4,50 M.

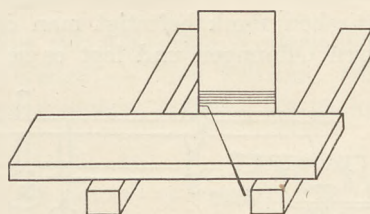


Fig. 7.

IV. Bestimmung des Ausdehnungskoeffizienten fester Körper.

Die zur Bestimmung des Ausdehnungskoeffizienten fester Körper dienenden Apparate sind recht mannigfaltig, aber in der Regel für Schülerübungen zu teuer. Mit der optischen Bank kann man diese Bestimmung, wenn man im Besitze eines Mikrometers ist, leicht in folgender Weise mit der nötigen Genauigkeit ausführen. Ein Metallrohr von 70 cm Länge wird in 5 cm Entfernung von einem Ende mit einer Kerbe versehen, und in der gleichen Entfernung vom anderen Ende wird ein Stück Metallblech von 2—3 cm Länge und 6—8 mm Breite angelötet. An den Enden der optischen Bank befestigt man die beiden kleinen Linsenhalter, führt das Rohr durch deren Öffnungen und legt es so hin, daß es mit der Kerbe auf dem inneren Rand

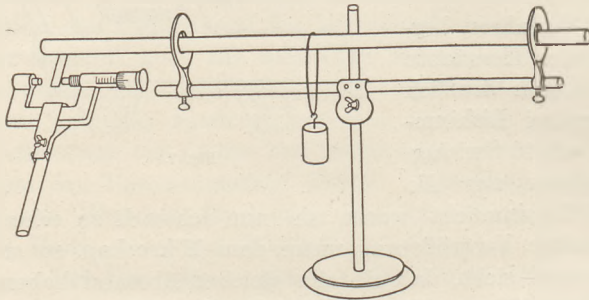


Fig. 8.

eines Linsenhalters ruht. Damit das Rohr recht sicher liegt, beschwert man es in der Mitte durch ein Gewicht von etwa 200 g. Nun befestigt man an einem Bunsenbrenner, wie Fig. 8 zeigt, die zurückgedrehte Mikrometerschraube, dreht sie so weit, daß der an dem Rohr angebrachte Metallstreifen gerade berührt wird, und liest ihre Stellung ab. Die genaue Einstellung ist an einer geringen Bewegung des Metall-

streifens zu erkennen. Läßt man dann Wasserdampf durch das Rohr strömen, so dehnt es sich sichtlich aus und man muß die Schraube weiter drehen, damit der Metallstreifen berührt wird. Man kann also die Längenänderung des Rohrs unmittelbar messen und darauf den Ausdehnungskoeffizienten bestimmen.

Für ein Messingrohr ergaben sich zwischen 20 und 100° in zehn Beobachtungen Werte von 0,0000189 bis 0,0000200, der Mittelwert war 0,0000194. Nach Fizeau ist der Ausdehnungskoeffizient in dem genannten Intervalle 0,00001899, nach Matthiessen 0,00001944. Der gefundene Wert stimmt also mit dem letzteren gut überein. Die Abweichungen von dem Mittelwerte mögen vielleicht größer sein als bei manchen andern Apparaten, aber für Schülerübungen erscheint mir diese Methode durchaus brauchbar.

Pasewalk, Kgl. Realgymnasium.

Neue Wellenmaschinen.

Von

Dr. Friedr. Fricke, Direktor der Realschule i. d. U. Bremen.

I. Die stehende Welle mit kreisförmiger Querbewegung der Teilchen.

Zur Darstellung dieser Wellenform gebraucht man einen Motor und eine Drahtspirale. Als Motor genügt vollkommen ein sogenannter Rührmotor. Auf die Achse setzt man eine Hülse mit einer Klemmvorrichtung, die gestattet, einen Draht so zu befestigen, daß er die Fortsetzung der Achse bildet, aber auch so, daß er mit der Fortsetzung der Achse einen kleinen Winkel bildet (Fig. 1a und 1b). Die Spirale ist aus 0,4 mm dickem Messingdraht eng gewickelt; ihr äußerer Durchmesser beträgt etwa 2,1 mm, ihre Länge etwa 1 m. Übrigens kommt es auf die Ausmessungen der Spirale nicht so sehr an; nur dürfte für eine besonders lange und schwere Spirale ein größerer Motor erforderlich sein. In das eine Ende der Spirale lötet man auf einige Millimeter ein Drahtstück, dessen freies Ende zu einem Haken gebogen wird (Fig. 1, links); ebenso versieht man das andere Ende der Spirale mit einem Draht,

das an seinem freien Ende ein kurzes Gewinde trägt, auf das ein Knopf geschroben werden kann, etwa eine Messingkugel oder ein Zylinderstück mit halbkugeliger Kuppe.

Man befestigt den Haken der Spirale so an der Hülse, daß er mit der Achse einen kleinen Winkel bildet (Fig. 1 b), führt den Draht am andern Ende der Spirale durch das recht weite Loch einer senkrechten Metallplatte und schraubt dann die Kugel fest auf den Draht. Metallplatte und Motor werden durch schwere Stative getragen. Das Loch der Metallplatte und die Achse des Motors befinden sich in gleicher Höhe. Der Abstand der Stative ist so zu wählen, daß die Spirale in einem ganz flachen Bogen herabhängt.

Zur Anstellung des Versuches läßt man den Motor mit schwacher Kraft laufen. Meist erscheinen dann einige Wellen — $1\frac{1}{2}$ oder 2 Wellen — ohne weiteres; tritt das nicht ein, so muß die Geschwindigkeit des Motors geändert werden; oft genügt es auch, die Spirale an einer Stelle, wo sich ein Knoten bilden will, lose zwischen dem Daumen und dem äußersten Gelenk des Zeigefingers festzuhalten, ohne dabei die Spirale in ihrer Drehbewegung zu behindern.

In Fig. 1 c ist eine so entstandene Form mit zwei Wellen veranschaulicht. *A* ist der Anfang der Spirale beim Motor, *E* das Ende an der Kugel. Aus einer solchen Form kann man bis zu einer oberen Grenze, auf

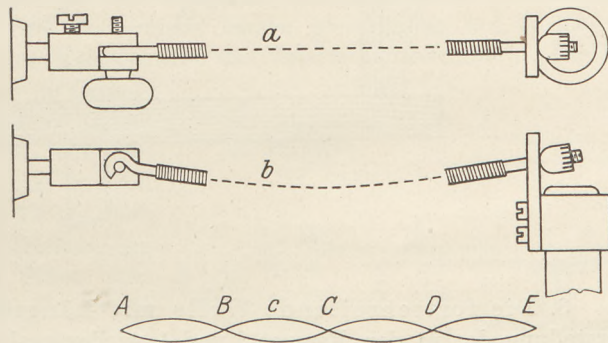


Fig. 1.

die Länge und Elastizität der Spirale Einfluß haben, beliebig viel halbe Wellen erzielen. Will man z. B. aus der dargestellten Form eine einzige halbe Welle bilden, so zieht man langsam den Knotenpunkt *B* zwischen Daumen und Zeigefinger längs der Achse der Welle nach *E*. Um zwei halbe Wellen aus der dargestellten Form zu bekommen, zieht man den Knotenpunkt *C* nach *E*, usw. Zur Erzeugung von fünf halben Wellen aus den gezeichneten vier faßt man die Spirale bei *E* und führt diesen Punkt langsam nach dem Motor zu, bis sich zwischen den Fingern und der Kugel am Ende der Spirale eine neue halbe Welle gebildet hat, usw.

In jedem einzelnen Falle kann man die Schwingungsweite durch Änderung der Umlaufzahl des Motors oder durch Änderung des Abstandes der Stative abändern.

Die Wellenformen sind weithin sichtbar und haben den Vorzug, sich beliebig lange unverändert erhalten zu lassen.

II. Darstellung von Wellen mittels Projektion.

1. Die fortschreitende Welle mit gerader Querbewegung der Teilchen. Zwischen zwei auf einem Brettchen befestigten Trägern (Fig. 2), deren Abstand sich nach dem Durchmesser des Objektives am Projektionsapparat richtet, ist eine Drahtspirale von wenigen Windungen derartig angebracht, daß sie sich mittels einer kleinen Kurbel um ihre Achse drehen läßt. Die Projektion der bewegten Spirale ergibt ein sehr schönes Bild einer fortschreitenden Welle. Es ist für die richtige Erkenntnis des Vorganges vorteilhaft, auf den Draht Perlen zu reihen, wobei man einige Perlen, etwa jede zehnte, größer als die übrigen wählt (Fig. 2 a). Gut eignen sich sogenannte Stahlperlen als die kleineren Perlen, während man als die größeren Glasperlen mit passender Bohrung aussucht; der Durchmesser des Drahtes muß dann etwa 0,8 mm betragen. Bei der Projektion sieht man, wie sich die Punkte, aus denen sich die Welle zusammensetzt, senkrecht zur Fortschreitungsrichtung hin und her bewegen,

und erkennt, daß sämtliche Punkte gleiche Schwingungsweite haben und nacheinander durch die Ruhelage gehen.

2. Die stehende Welle mit gerader Querbewegung der Teilchen. In einem Gestell, wie es Fig. 2 zeigt, ist statt der Spirale eine Sinuslinie um ihre Achse drehbar angebracht. Die Aufreihung von Perlen ist überflüssig. Bei der Projektion erscheint eine stehende Welle. Sämtliche Punkte gehen gleichzeitig durch die Ruhelage; die einzelnen Punkte haben verschiedene Schwingungsweiten, wachsend von den Knoten bis zu den Bäuchen.

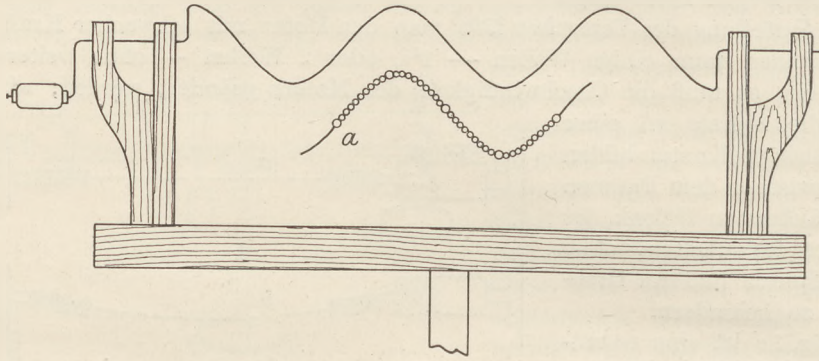


Fig. 2.

3. Die fortschreitende Welle mit Längsbewegung der Teilchen. Die Herstellung des in den Figuren 3 und 4 wiedergegebenen Apparates ist mühsam, aber sehr lohnend. Er besteht im wesentlichen aus 15 Hebeln und aus einem Triebwerk zur Bewegung der Hebel. Fig. 3 gibt die Ansicht des Apparates von oben, die Hebel in schematischer Zeichnung, Fig. 4b den Querschnitt und Fig. 4a die Ansicht der Hebel von oben.

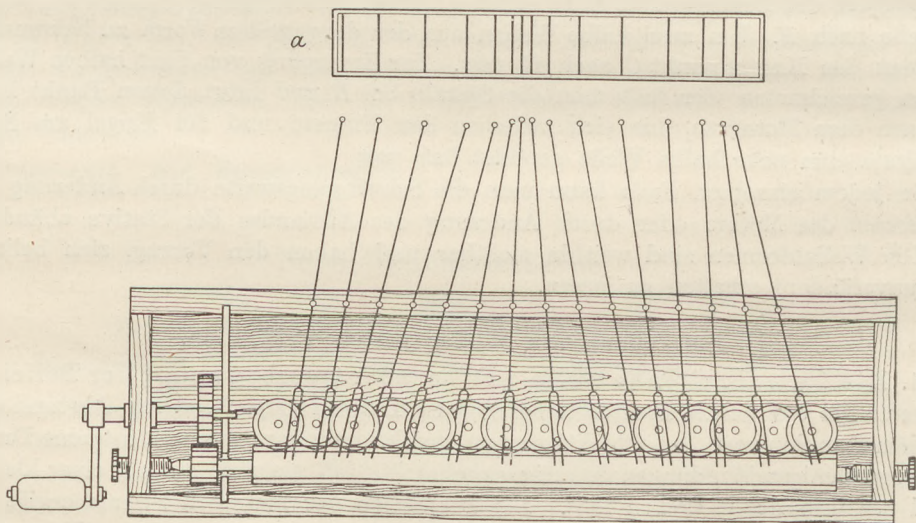


Fig. 3.

Das Triebwerk setzt sich aus zwei übereinander liegenden Schraubenspindeln (ohne Windungen gezeichnet) und 15 Zahnrädern (ohne Zähne gezeichnet) zusammen. Die Schraubenspindeln aus Rotguß sind 17,5 cm lang; sie tragen an einem Ende (Fig. 3 links) je ein Zahnrädchen, mittels derer die Spindeln durch ein größeres Zahn-

rad mit Kurbel gedreht werden können. Die 15 Zahnräder, deren Achsen auf einer 16 cm langen Strecke gleichmäßig verteilt sind, befinden sich in zwei Stockwerken übereinander, 8 werden durch die obere, 7 durch die untere Spindel getrieben. Die Anordnung der Räder ergibt sich aus Fig. 4c, in der ein Teil des Räderträgers im Längsschnitt angedeutet ist. Bei kongruenten Spindeln und kongruenten Rädern vollenden alle Räder eine ganze Umdrehung in derselben Zeit. Die 15 Räder sind sogenannte Stundenräder; sie haben 32 Zähne, der Durchmesser von Zahngrund zu Zahngrund beträgt 13,6 mm. Auf jedem Rade ist 0,53 mm vom Mittelpunkte entfernt senkrecht zur Radfläche ein Zapfen von etwa 1 cm Länge angebracht. Diese Zapfen dienen zur Führung der Hebel. Im fertigen Apparat bildet der Fahrstrahl eines Zapfens mit dem Fahrstrahl des vorhergehenden Zapfens einen Winkel von 45° , immer in demselben Sinne genommen (Fig. 3).

Die Hebel (Fig. 4a von oben, 4b von der Seite) sind aus hartem Messingblech von 1 mm Stärke angefertigt. Ihre Drehpunkte liegen gleichmäßig auf 14 cm verteilt auf der einen Seitenwand des Kastens, der das Triebwerk aufnimmt. Die Verbindungslinie der Drehpunkte hat im Grundriß von der Verbindungslinie der Rädermittelpunkte einen Abstand von 3,75 cm. Über den Rädern sind die 7 mm breiten Hebelblätter etwa 2 cm weit der Länge nach aufgeschnitten und die beiden Hälften um 90° gedreht, so daß zwischen ihnen eine Spalte bleibt, in der die Zapfen der Räder sich leicht aber ohne Spielraum gleitend bewegen können. Auf dem anderen Ende tragen die Hebel 5,5 cm vom Drehpunkte entfernt senkrecht zu ihrer Fläche je einen 5 cm langen und 0,5 mm dicken Draht (Fig. 4b). Um die Flächen der unteren Hebel möglichst nahe an die der oberen zu bringen, sind sie zweimal rechtwinklig gebogen.

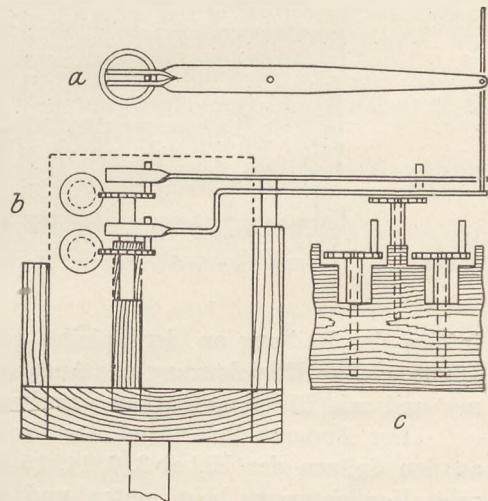
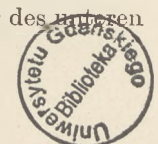


Fig. 4.

Beim Gebrauch wird der Apparat so befestigt, daß sich die Drähte der Hebel mit ihren Mitten in der Höhe der optischen Achse des Projektionsapparates befinden, und zwar möglichst nahe am Objektiv. Zwischen ihnen und dem Objektiv ist nur Platz für eine Blende zu lassen. Diese wird am besten aus Messingblech angefertigt und auf den Rahmen des Objektivs gehängt. Sie hat in der Mitte einen rechteckigen Ausschnitt von 12 cm Breite und 2 cm Höhe. Der Projektionsapparat entwirft also das Bild des in Fig. 3a dargestellten Gegenstandes. Dreht man die Kurbel, so erblickt man auf dem Auffangschirm eine durch die Länge des Rechtecks fortschreitende Wellenbewegung. Die Verdichtungen ziehen gleichmäßig durch das helle Rechteck von einem Ende zum andern; dabei wandert aber jede einzelne Linie hin und her, alle mit derselben Schwingungsweite.

4. Die stehende Welle mit Längsbewegung der Teilchen. Der erforderliche Apparat, der zum großen Teil in Fig. 5 veranschaulicht ist, unterscheidet sich von dem vorigen nur durch die Mehrzahl der 15 Zahnräder. Beibehalten werden die Räder 1, 5, 9, 13 (von links nach rechts gezählt), deren Zapfen 0,53 mm vom Radmittelpunkte entfernt sind. Die Räder 3, 7, 11 und 15 tragen den Zapfen im Mittelpunkt; sie können also auch weggelassen und je durch einen Zapfen ersetzt werden, der mittels einer Hülse auf die für das Rad bestimmte Achse geschoben wird, da es für die Bewegung (Ruhe) der Hebel gleichgültig ist, ob die Zapfen sich um ihre Achse drehen oder nicht. Die Zapfen der übrigen Räder, also aller Räder des unteren



Stockwerks, haben vom Radmittelpunkte einen Abstand von $0,53 \cdot \sqrt{2} = 0,37$ mm. Im fertig zusammengesetzten Apparate sind die Fahrstrahlen aller Zapfen parallel, aber die der Zapfen auf den Rädern 1, 2, 8, 9, 10 denen der Zapfen auf den Rädern 4, 5, 6, 12, 13, 14 entgegengesetzt gerichtet.

Damit die Räder des ersten Apparates ohne großen Zeitverlust durch die des zweiten ersetzt werden können, sind sie nicht in ihrer Lage gesichert, wie es etwa durch Sperrschrauben am Kopf der Achsen geschehen könnte. Darum muß die Kurbel im Sinne des Uhrzeigers gedreht werden, weil bei entgegengesetzter Drehung die Räder

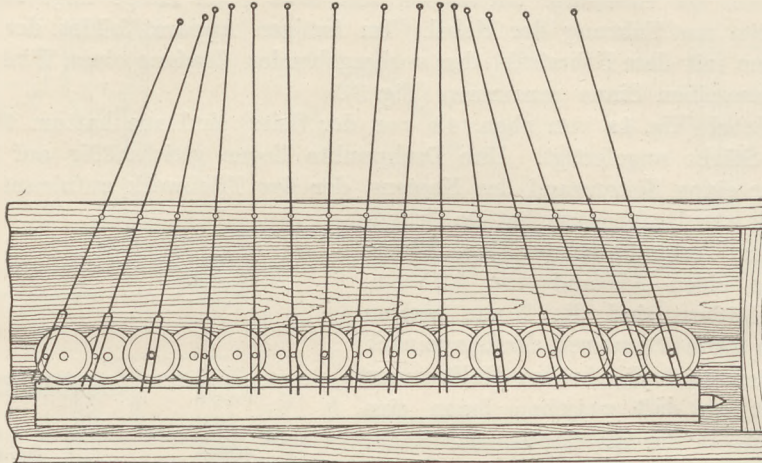


Fig. 5.

infolge der Reibung an der Spindel gehoben werden und ihre Bewegung einstellen könnten. Zur Erleichterung des Auswechselns der Räder sind sie mit Zahlen bezeichnet und mit Richtungsmarken versehen.

Der Apparat liefert bei der Projektion die stehende Längswelle. Die Drähte an den Spitzen der Hebel 3, 7, 11, 15 geben die Knoten der Wellenform. Die Fig. 5 zeigt Verdichtungen beim ersten und dritten Knoten, Auflockerungen beim zweiten und vierten. Werden die Räder um 90° gedreht, so gehen alle Drähte zugleich durch die Ruhelage. Bei weiterer Drehung um 90° erscheinen die Auflockerungen beim ersten und dritten Knoten, die Verdichtungen beim zweiten und vierten, usw. Was hier an den Drähten beschrieben ist, erblickt man auf dem Projektionsschirm an den Schatten der Drähte, wobei aber wegen der Umkehrung des Bildes die Zahlen von rechts nach links gelten. Die den Knoten benachbarten Schatten haben eine kleinere Schwingungsweite als die Schatten in der Mitte zwischen zwei Knoten.

Der Apparat gestattet vorzüglich, den Vorgang der Luftbewegung in Pfeifen zu veranschaulichen. Man versieht die Blende mit zwei Schiebern, so daß man das in der Mitte der Blende befindliche Rechteck von rechts und links aus beliebig verschmälern kann. Blendet man z. B. die Stäbe 1 bis 8 ab, so stellt das Bild auf dem Projektionsschirm das Innere einer gedeckten Pfeife dar, die ihren ersten Oberton gibt; blendet man die Stäbe 1 bis 4 und 10 bis 15 ab, so erhält man das Bild einer offenen Pfeife, die ihren Grundton gibt, usw. Sehr weit lassen sich allerdings diese Betrachtungen nicht treiben; denn es stehen nur $1\frac{3}{4}$ Wellen zur Verfügung.

Die geschilderten Apparate stellen die Wellenbewegungen klar und weithin sichtbar dar. Sie gestatten, die Bewegung in jedem Zeitmaß vor sich gehen zu lassen und sie in jedem beliebigen Augenblicke zu unterbrechen, um die gerade gebildete Form zu besprechen.

Einfache Demonstrationsversuche mit Wechselstrom.

Von

Dr. B. Reismann in Hattingen (Ruhr).

Die zunehmende Verbreitung von Wechselstromanlagen bringt es mit sich, daß diese Stromform auch im Unterricht, wenn auch nur kurz, behandelt werden muß.

1. Ich knüpfe an den von Herrn A. Lindemann (diese Zeitschr. XXIV, 21) beschriebenen Versuch an, bei dem der vom Wechselstrom durchflossene Kohlefaden einer Glühlampe durch Annäherung eines Magneten zum Schwingen gebracht wird. Dieser Versuch läßt erkennen, daß der Strom periodischen Charakter besitzt; darum ist es wohl von Interesse, diese funktionale Beziehung zwischen Strom und Zeit näher zu untersuchen.

Zu diesem Zwecke wird die Glühlampe mit Fassung in einer Klemme derart befestigt, daß der Faden vertikal auf- und abschwingen kann. Unmittelbar vor die Lampe stellt man einen langen, vertikalen Spalt, der aus dem Glühfaden einen Punkt herausblendet. Betrachtet man diesen auf- und abschwingenden Lichtpunkt im rotierenden Spiegel, so erscheint dort die Sinuslinie, deren Amplitude von der Stromstärke in der Glühlampe abhängt, und deren mehr oder minder große Steilheit sich mit der Umdrehungsgeschwindigkeit des Spiegels verändern läßt¹⁾.

Die Erscheinung läßt bei der Lichtschwäche der Glühlampe nur Einzelbeobachtung zu; doch dürfte dieser Umstand für Schulen wenigstens nicht hinderlich sein.

2. Zur Demonstration vor einer größeren Zuhörerschaft empfiehlt sich mehr ein anderes Verfahren. Von einem Wechselstromkohlebogen wird ein etwa 1 cm hohes Bild auf einem vertikalstehenden Spalte entworfen. Die durch den Spalt dringenden Strahlen werden über einen Drehspiegel hinweg auf einen durchscheinenden Papiersschirm geleitet. Eine zwischen Drehspiegel und Spalt aufgestellte Linse entwirft ein Bild des Spaltes auf dem Schirm (Fig. 1). Wird der Spiegel nun in mäßige Drehung versetzt, so wird das Spaltbild in ein horizontales Lichtband ausgezogen, in dem man deutlich hellblaue und dunkle Flecken in gleichen Abständen voneinander erkennt. Die hellblauen Stellen des Bildes entsprechen

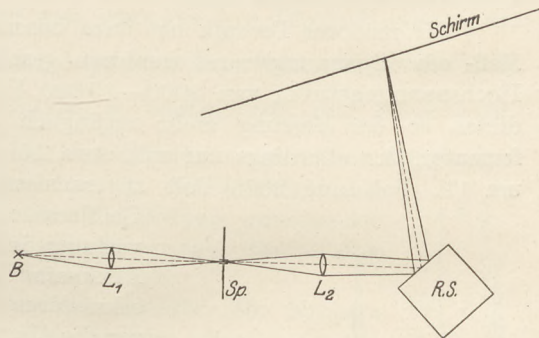


Fig. 1.

den Zeitmomenten maximaler Stromstärke, die dunklen denen minimaler Stromstärke. Die blaue Färbung rührt von den Cyan- und Kohlenbanden des Bogens her.

Die Anbringung des Spaltes ist jedoch nicht notwendig. Man kann mit einer Linse ein Bild des Bogens über den Drehspiegel hinaus auf dem Schirm entwerfen. Wegen der verhältnismäßig großen Breite der Bogenbilder wird die Erscheinung jedoch nicht so sauber wie bei Einschaltung des Spaltes, wenn auch die Versuchsanordnung prinzipiell einfacher ist.

Genauere Untersuchung des Bildes etwa durch photographische Aufnahme läßt den Richtungswechsel des Stromes innerhalb jeder Periode erkennen (Fig. 2).

Die beistehende Aufnahme ist erhalten bei einer Spaltweite von etwa 0,5 mm mit einem Porträtobjektiv von 50 mm Durchm. und 150 mm Brennweite. Die Platte

¹⁾ Statt eines verstellbaren Spaltes kann man mit Vorteil eine im Tageslicht entwickelte photographische Platte nehmen, deren Schicht mit einem Messer 0,9 mm breit aufgeschlitzt wird. Dann kann diese billige Vorrichtung stets zur Benutzung bereit gehalten werden.

befand sich in etwa 300 mm Abstand vom Objektiv, da dieses dem Spalte sehr stark genähert werden mußte, wenn man ein Feld von genügender Ausdehnung erzielen wollte. Der Lichtstrahl ist dabei nur einmal über die Platte hingeführt, so daß also die Lichtstärke auch für Beobachtungen mit dem Auge aus größerer Entfernung ausreicht.

Übrigens läßt sich, wie wohl bekannt sein dürfte, der periodische Charakter der Emission des Wechselstrombogens schon erkennen, wenn man einen glänzenden Gegenstand, etwa eine Glasröhre, im Lichte der Lampe rasch hin und her bewegt.

3. Die Frequenz des Wechselstromes kann ganz einfach ermittelt werden, indem ein lautsprechendes Telephon in den Stromkreis selbst oder besser noch in einen



Fig. 2.

Nebenschluß gelegt wird. Als Hauptstromleiter sind die Asbestgitterwiderstände von Schniewindt, Neuenrade (Westf.) sehr zu empfehlen. Sie bestehen aus blankem Konstantandraht, der selbstinduktionsfrei gewickelt und mit Asbest verflochten ist.

Die Widerstände sind in allen Größen für alle Spannungen und Stromstärken zu beziehen und sehr preiswert. Die Höhe des Telephontones kann am Klavier oder an der Sirene festgestellt werden; daraus ergibt sich die Periode durch Division mit 2.

4. Von besonderer Wichtigkeit ist es noch, die Transformation des Wechselstromes auf hohe Spannung zu zeigen. Die Normalfunkeninduktoren sind für diese Zwecke durchaus ungeeignet. Der Transformator muß vielmehr den besonderen Stromverhältnissen angepaßt sein.

Die moderne Technik hat dazu besonders geeignete Instrumente in den kleinen Meß- oder Spannungstransformatoren geschaffen, die in den Elektrizitätswerken den Hochspannungsstrom von 2000—10 000 Volt auf 110 Volt herabtransformieren und diesen so der Messung mehr zugänglich machen¹⁾. Ich habe einen solchen Transformator, der allerdings nur mit etwa 150 Watt belastet werden darf, dazu benutzt, um 110 Volt auf 2000 Volt zu transformieren, und mit dem Hochspannungsstrom

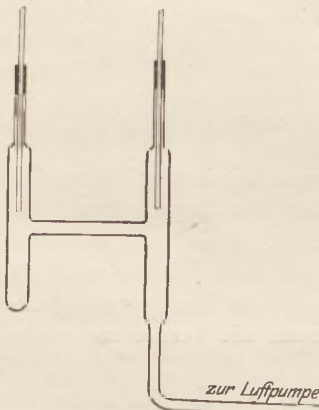


Fig. 3.

Geißlersche Röhren betrieben. Die Licht- und Wärmewirkung ist außerordentlich viel größer als bei einem Funkeninduktor gleicher Belastung wegen der höheren sekundären Stromstärke. Bei längerer Belastung schmelzen die Aluminiumelektroden schnell ab, kleinere Geißleröhren werden unter intensiver Lichtentwicklung fast sogleich zerstört. Darum wird man gut tun, selbst Vakuumröhren herzustellen etwa von beistehender Form (Fig. 3). Die Elektroden bestehen aus Stahl, sie werden in die oberen Ansätze mit Siegelack eingekittet.

Sehr gut gelingt mit diesem kleinen Transformator die Demonstration des Hochspannungswechselstrombogens und damit auch der sog. Birkeland'schen Sonne.

Man spannt zwei Stricknadeln oder entsprechend dicke Kupferdrähte in zwei gut mit Hartgummi isolierte Holtzsche Klemmen ein, nähert die Elektroden bis auf $1\frac{1}{2}$ mm und legt die Hochspannung an. Der Bogen zündet von selbst und entwickelt sich stärker, sobald die Elektroden heiß werden. Schaltet man nun einen

¹⁾ Bei Gelegenheitskäufen kann man solche Instrumente ganz billig erwerben.

kleinen Gleichstrommagneten mit Kraftlinien senkrecht zur Wechselstromrichtung ein, so breitet sich der Bogen zu einer flachen Scheibe von 1—2 cm Durchmesser aus. Dieser Versuch gibt ein recht getreues Bild der großen elektrischen Ofeneinrichtungen nach Birkelands System.

Siemens & Halske bringen nach ihrem neuesten Katalog speziell Schulapparate¹⁾ heraus, unter denen sich Transformatoren bis zu 2 KW befinden, die natürlich diese technisch wichtigen Erscheinungen noch sehr viel besser beobachten lassen. Zu empfehlen ist der Transformator von Siemens & Halske: Liste 59. Extr. 0,8 E. der bei 3000 V 0,8 KW sekundär liefert, zum Preise von M. 105.

Spannungen von 1000 V sind zu gering, von 5000 V bereits zu hoch für die besprochenen Versuche. Bei dem Betrieb Geißlerscher Röhren muß man in den Hochspannungsstromkreis Flüssigkeitswiderstände (U-Rohr mit Xylo) einschalten.

Bei voller Belastung dieses Transformators dürfte die Berührung des sekundären Stromleiters lebensgefährlich sein.

Hattingen (Ruhr), Realgymnasium.

Kleine Mitteilungen.

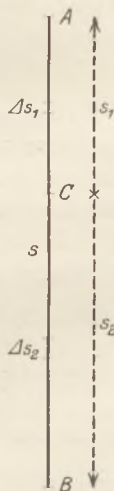
Elementare Ableitung der Wegformel des freien Falles.

Von Dr. H. Greinacher, Privatdozent in Zürich.

Es existiert bereits eine Reihe von elementaren Ableitungen für die Wegformel des freien Falls. Die einfachste besteht bekanntlich darin, daß man sich den Fallweg s mit gleichförmiger mittlerer Geschwindigkeit durchlaufen denkt. Bezeichnet man mit v die Endgeschwindigkeit, so setzt man also $s = \frac{v}{2} \cdot t$. Durch Benutzung der Formel für die gleichförmige Beschleunigung $v = gt$ folgt dann unmittelbar die Wegformel $s = \frac{g}{2} \cdot t^2$. So einfach diese Ableitung ist, so wenig exakt und daher wenig überzeugend ist sie. Andererseits schienen mir die anderen elementaren Ableitungen entweder zu umständlich oder zu wenig durchsichtig. Ich überlegte mir daher, wie man Exaktheit und Einfachheit der Darstellung miteinander verbinden könnte und war überrascht, daß trotz der großen Bearbeitung dieses Themas noch eine andere Ableitung möglich ist²⁾.

Es sei $AB = s$ der Fallraum. Die Geschwindigkeiten des Körpers seien ferner in A gleich Null, in B gleich v . Es gibt nun offenbar irgendeinen Punkt C der Bahn, wo die Geschwindigkeit gerade gleich $\frac{v}{2}$ ist. Da für die Fallbewegung $v = gt$ gilt, v also proportional mit der Zeit zunimmt, so ist die Zeit zum Durchlaufen von $AC = s_1$ und $CB = s_2$ gleich groß. Denn auf jeder dieser Strecken wächst die Geschwindigkeit um $\frac{v}{2}$. Die Zeit für s_1 und s_2 ist also je $\frac{t}{2}$.

Wir denken uns nun s_1 in n Wegstückchen von solcher Länge zerlegt, daß jedes dieser Wegstückchen in der gleichen Zeit durchlaufen wird. Die Wegstückchen selbst sind dabei verschieden groß. Die Zeit für jedes Wegelement beträgt dann $\frac{t}{2n}$. Ganz ebenso machen wir es mit s_2 , das



¹⁾ 1914. Liste 59. II. Teil. 68 Seiten.

²⁾ Wie ich aus Mach, Die Mechanik (1912), S. 123 ersehe, ist Galilei seinerzeit einem ähnlichen Gedankengang gefolgt, um mit den einfachsten Mitteln zu einem exakten Beweis seiner Fallgesetze zu gelangen.

dann ebenfalls aus n (ungleichen) Wegstückchen besteht, von denen jedes in der Zeit $\frac{t}{2n}$ durchlaufen wird.

Nun gehen wir weiter und numerieren die Wegelemente auf s_1 und s_2 und zwar auf beiden Strecken von C aus beginnend. Greifen wir nun irgend zwei Wegstückchen Δs_1 und Δs_2 von gleicher Nummer heraus. Wir finden, daß gemäß unserem Einteilungsprinzip beide Wegelemente zeitlich gleich weit von C abstehen. Δs_1 wird nun ebenso viel früher durchlaufen, als Δs_2 später durchlaufen wird. Da aber die Geschwindigkeit proportional mit der Zeit wächst, so ist auch die Geschwindigkeit auf dem Stückchen Δs_1 um den gleichen Betrag kleiner, als sie auf Δs_2 größer ist als $\frac{v}{2}$. Sei dieser Unterschied v' . Dann ist, da wir die Geschwindigkeit auf den kleinen Wegstückchen Δs_1 und Δs_2 als gleichförmig betrachten dürfen

$$\Delta s_1 = \left(\frac{v}{2} - v'\right) \frac{t}{2n}$$

und

$$\Delta s_2 = \left(\frac{v}{2} + v'\right) \frac{t}{2n}.$$

Der weitere Gang liegt nun deutlich vorgezeichnet. Man wird die zwei Wegstückchen gleicher Nummer zusammenfassen und erhält

$$\Delta s_1 + \Delta s_2 = v \cdot \frac{t}{2n}.$$

Es entfällt dann die Größe v' , und man erhält für die Summe irgend zweier Elemente gleicher Nummer denselben Ausdruck $v \cdot \frac{t}{2n}$. Nun haben wir aber n Nummern.

Also ist der Wert aller n Wegelementenpaare gleich $n \cdot v \cdot \frac{t}{2n} = v \cdot \frac{t}{2}$. Die Summe aller Wegelementenpaare ist aber andererseits gleich s . Also folgt

$$s = v \cdot \frac{t}{2},$$

oder unter Benutzung von $v = gt$

$$s = \frac{g}{2} \cdot t^2.$$

Man muß natürlich beifügen, daß die Berechnung um so genauer ist, je größer die Elementenzahl n genommen wird. Da dieser Unterteilung aber keine Grenzen gezogen sind, so erreicht die Ableitung auch jeden beliebigen Grad der Genauigkeit. Das Resultat ist also streng richtig.

Es ist leicht einzusehen, daß der hier verwendete Kunstgriff der Unterteilung des Weges nicht notwendig so ausgeführt werden muß, daß alle Wegelemente in der gleichen Zeit $\frac{t}{2n}$ durchlaufen werden. Es genügt, daß die Zeiten für gleiche Nummern gleich sind. Man erhält dann

$$\Delta s_1 + \Delta s_2 = v \cdot \Delta t,$$

wo Δt das Zeitelement zum Durchlaufen sowohl von Δs_1 als von Δs_2 ist. Und nun kann man wiederum addieren, wobei die Summe aller $\Delta t = \frac{t}{2}$ ist. Ich habe jedoch bemerkt, daß diese Verallgemeinerung dem begrifflichen Verständnis gewisse Schwierigkeiten bereitet. Ich möchte daher dem Beweis in der oben gegebenen speziellen Fassung den Vorzug geben, um so mehr, als er ja dieselbe Korrektheit besitzt.

Die Regentropfen am Wagenfenster.

Von Dr. **Alois Launer** in Innsbruck.

Wie so oft hatte wieder einmal bei einer Fahrt durch den Arlbergtunnel das Wetter umgeschlagen und scharenweise flogen bei der Ausfahrt schwere Gewittertropfen gegen die Wagenfenster. Was Wunder, daß sich die sonst auf die friedlichen Landschaftsbilder gerichtete Aufmerksamkeit auf die Regentropfen warf, da der Ausblick durch düstere Nebelschwaden verhindert war.

Schon die Richtung der in einen langen Strich auseinander gerissenen Tropfen am Fenster gibt zu mathematischen Erwägungen Anlaß, da sie das Ergebnis gar verschiedenartiger Faktoren ist. Die Beschleunigung der Schwerkraft ist zwar eine ziemlich scharf bestimmte Größe, aber ihr Einfluß wird durch den Widerstand der Luft wesentlich verändert und die Höhe, aus welcher die aus der feuchten Atmosphäre ausgeschiedenen Tropfen niederfallen, läßt sich auch nicht als Strecke von genau bekannter Länge feststellen. Dazu kommt noch der Gewittersturm, der den Regen bald hier-, bald dorthin wirft, und endlich tritt noch die Geschwindigkeit des Wagens ins Mittel, von der immer neue Komponenten in Betracht kommen, so oft der Wagen eine andere Richtung einschlägt.

Trotz dieser Vielseitigkeit verschiedenartiger Wirkungen treten da und dort Erscheinungen auf, die geradezu scharf ausgemeißelte Formen der obwaltenden Gesetzmäßigkeiten in das Gesichtsfeld werfen.

So ein Bild zauberte der Zufall auch damals an das Wagenfenster. Es war ein recht umfangreicher Tropfen, der scharf umrissen einen langen Wasserstreifen etwa unter einem Winkel von 45° gegen den oberen Rand des Fensters zeichnete und bald darauf seine Massen am unteren Ende der etwa 1 dm langen Spur sammelte. Was geschah nun weiter? Das Wasser ballte sich neuerdings zu einem Tropfen zusammen und lief, mit der bisherigen Bahn etwa einen Winkel von 160° bildend, in steilerer Richtung nach unten.

Die Reibung an der staubigen Glasfläche, dazu die fortwährend erschütternde Bewegung des Wagens und die, wie sich später zeigte, nicht unbeträchtliche Reibung der Luft längs der vertikalen Wand des Zuges ergaben neue Maße für die Fortbewegung des Tropfens, die sich längere Zeit ziemlich gleich blieb und somit an das Wagenfenster die beiden Schenkel eines Winkels zeichnete, der ein Bild der beiden Bewegungsformen lieferte, wie sie der Regentropfen vorerst durch die atmosphärischen Verhältnisse in freier Luft gegenüber der Wagenbewegung und später unter dem Einfluß von Gewicht und Reibung an Glas und Luft an der Fensterfläche angenommen hatte.

Aber noch allerlei anderes gab es da zu beobachten, was gewiß schon oft bemerkt, aber selten überlegend beachtet wurde. Man sieht die Dinge und sieht sie doch noch zu wenig an.

Jeder am Glas hängende Tropfen wirkt als optische Linse und zwar als plankonvexe Linse. Zwar ist die Krümmung nicht kugelförmig, wie bei den optischen Instrumenten, denn die Last des Tropfens zieht die größere Wassermenge nach der unteren Seite und die Kapillarität macht sich in der Weise geltend, daß das Wasser wie in einem Sacke an der staubigtrockenen Wand zu hängen scheint. In diesem linsenförmigen Körper werden aber die von den außerhalb vorbeihuschenden Gegenständen kommenden Lichtstrahlen doch so gebrochen, daß sie wie bei Sammellinsen in gewissen Entfernungen umgekehrte wirkliche Bilder liefern. Die Umkehrung der Bilder bringt es mit sich, daß auch die Bewegungsrichtung der Bilder umgekehrt wird. Somit sehen wir im Tropfen die außerhalb des Wagens sichtbaren Dinge nicht, wie durch das übrige Fenster im Vergleich zur Bewegungsrichtung des Zuges nach rückwärts schreiten, sondern mit dem Zuge nach vorne. Im Vergleich zur scheinbar zurückweichenden Bewegung der Landschaft stürzen sie sogar mit doppelter Geschwindigkeit nach vorwärts.

Eben hatte ich mich mit dieser Beobachtung vertraut gemacht, als ich in einem solchen Tropfen eine neue Erscheinung entdeckte.

In den Wirbel der optischen Bilder mischte sich noch eine mechanische Bewegungserscheinung, die ohne Zweifel eine Drehung um eine horizontale Achse darstellte und zwar so, als drehte sich der Tropfen im Sinne der Räder des Wagens. Schätzungsweise entfielen 1—3 Umdrehungen auf eine Sekunde.

Um mich der Tatsache zu versichern, suchte ich die Erscheinung auch bei anderen Tropfen auf und fand, daß diese Bewegung überall im nämlichen Sinne erfolgte, selbst wenn die Gestalt von der kreisförmigen bedeutend abweichend, stark in die Länge gezogen oder fast dreieckig war. Die Drehung hörte auf, wenn der Zug an einer Station stillstand und kam langsam wieder in Gang, wenn die Geschwindigkeit zunahm.

Eine längere genaue Beobachtung belehrte mich alsbald, daß jeder solche Tropfen an der Glasscheibe, wenn nicht schon vorher aus dem Rauch der Dampfmaschine, eine größere Anzahl winziger Kohlenteilchen eingefangen hatte. Mit diesen trieb er nun sein munteres Spiel und ließ sie um seinen ganz subjektiv gewählten Mittelpunkt tanzen. Wenn der Wagen zur Ruhe kam, so legten sich alle diese Kohlenteilchen, wie ermüdet, am unteren Rande des Tropfens zur Ruhe.

Nahm dann die fortschreitende Bewegung wieder größere Geschwindigkeit an, so wurden zuerst die umfangreichsten Teilchen in den Wirbel hineingerissen und der Tanz ging von neuem an, wenn auch nicht im Rhythmus der Wagenstöße. Auch die zitternde Bewegung der Fensterscheibe konnte nicht maßgebend sein. Vielmehr schien lediglich die Größe des Tanzbodens und seine Gestalt den meisten Einfluß zu haben.

Aber wie entstand die Drehung und warum erfolgte sie immer im nämlichen Sinn?

Wie schon früher betont wurde, nimmt der an der Außenseite des Fensters hängende Tropfen die Gestalt eines an der Wand hängenden Sackes an, der nach unten stärker ausgebaucht ist. An dieser unteren und wegen ihres größeren Umfangs leichter beweglichen Seite leitet die bei der Fahrt zunehmende Luftströmung vermöge der Reibung eine Bewegung ein, die der Richtung des Zuges entgegengesetzt ist, während sie am oberen Rande des Tropfens eine viel schwächere Wirkung erzielt, weil die Adhäsionskraft ihr hinderlich entgegentritt.

Die durch die Kohäsionskraft zusammengehaltene Wassermasse strebt aber eine einheitliche Selbstbewegung an und kann daher der Reibungswirkung an der unteren Seite nur durch eine Drehung um eine horizontale Achse nachkommen. Der Drehungsmittelpunkt wird im allgemeinen in die untere Hälfte fallen und ist überdies durch die Form der Ränder bedingt. Auch ist die Drehung keineswegs eine starre, sondern eine wirbelartige, bei der man nur von momentanen Drehungspunkten einzelner Massengebiete sprechen kann. Es zeigte sich nämlich, daß kleinere Teilchen andere Bahnen, wenn auch im selben Sinne beschreiben wie die größeren, die in ihrer Bewegung durch die Ausdehnung Störungen erfuhren und jeder Beschleunigung und Verzögerung größeren Widerstand entgegensetzten.

Bei der Vergleichung des ersten Tropfens mit den übrigen erkannte ich alsbald, daß fast alle ein ähnliches Schauspiel boten. Es ist wohl anzunehmen, daß auch jene Tropfen an dieser drehenden Unterhaltung teilnehmen, die in ihrem Lebenswandel keine dunklen Punkte aufgenommen haben und daß sie auch in Ermangelung solcher Erkennungszeichen allerlei Gemütswallungen mitmachen.

Schülerversuche mit Schallresonanzröhren.

Von **Hans Lohmann** aus Dresden.

Herr Schreiber aus Neuwied hat im Jahrgang 1914 dieser Zeitschrift (S. 34) einen Apparat für Bestimmung der Geschwindigkeit des Schalles in verschiedenen Gasen mit Hilfe des Resonanzprinzips erwähnt. Ich möchte im Folgenden eine

Versuchsanordnung und eine Erweiterung des im erwähnten Aufsätze durchgeführten Gedankens bekanntgeben, wie ich sie in den Schülerübungen im Jahre 1913 habe anwenden lassen. Bei diesen Übungen galt es, nicht sowohl die Schallgeschwindigkeit zu ermitteln als vielmehr die Gleichung $c = \sqrt{\frac{p_0}{\delta_0}} 1,41 (1 + 0,003665 \cdot t)$ in Verbindung mit der Gleichung $c = 4nl$ bei gedeckten Pfeifen

1. für konstante Temperatur und Druck, aber verschiedene Medien,
2. für verschiedene Temperaturen bei demselben Medium und Druck

durch Versuche als gültig nachzuweisen.

Zu den unter 1. genannten Versuchen benutzte ich ein Glasrohr von 80 cm Länge und 3,3 cm lichter Weite. Der verschiebbare Verschluss wurde durch einen gut rund gefeilten Kork gebildet, um den zur besseren Abdichtung noch Baumwollgarn gewickelt war. Der Kork war auf einen starken Holzstab aufgesteckt, so daß man ihn in der ganzen Röhre entlang schieben konnte¹⁾. Hält man nach der bekannten Versuchsordnung eine Stimmgabel vor das offene Ende der Röhre, so tönt die Gassäule im Falle der Resonanz laut mit. Diese Resonanz tritt ein, wenn die Länge der Gassäule ein ungerades Vielfache der dem betreffenden Gase und Tone entsprechenden Viertelwellenlänge ist.

Aus den oben angeführten Gleichungen folgt nun

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{l_1}{l_2} = \frac{\sqrt{\delta_2}}{\sqrt{\delta_1}}$$

wenn die Indices auf verschiedene Gase unter gleichen Druck- und Temperaturbedingungen hindeuten.

Gelten die Bezeichnungen l_1 und δ_1 für Luft und tritt bei der Länge l_1 der Resonanzfall ein, so muß für ein anderes Gas unter Anwendung derselben Stimmgabel bei der Länge

$$l_2 = l_1 \cdot \frac{\sqrt{\delta_1}}{\sqrt{\delta_2}}$$

ebenfalls die Resonanz stattfinden.

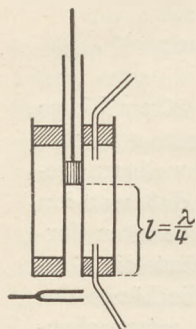
Die Länge l_1 für Luft wird nun durch den Versuch bestimmt. Es ist die Länge bei der zum ersten Male unter Anwendung von Zimmerluft beim Vorhalten der Stimmgabel die Luftsäule laut mittönt. Zieht man den Kork weiter in das Rohr hinein, so daß die Luftsäule vor der Stimmgabel vergrößert wird, so wird das Mittönen schwächer. Bei $l = 2l_1$ hört es vollständig auf. Bei weiterer Vergrößerung der Luftsäule beginnt das Mittönen wieder, um bei $l = 3l_1$ einen weiteren Höchstwert der Stärke zu erreichen. Bei $l = 4l_1$ ist wieder keine Spur von Mittönen zu bemerken. Was für Luft gilt, läßt sich auch für die anderen Gase bestehend erkennen. Dabei ist es zweckmäßig, mit Hilfe der auf Luft bezogenen Dichten der Gase die Längen $l_2, l_3 \dots$ vorher zu berechnen und zu zeigen, daß z. B. bei $4l_2$ und $2l_2$ kein Mittönen, dagegen bei $3l_2$ und l_2 starke Resonanz beim Vorhalten der angeschlagenen Stimmgabel stattfindet. Unter Anwendung einer Stimmgabel mit $n = 435$ Schwingungen wurde so z. B. $l_1 = 19,5$ cm gefunden. Unter Zugrundelegung dieser Länge wurden die Längen für die anderen Gase berechnet, so daß sich folgende Tabelle ergibt:

Gas	Dichte δ_0	Mittönen l	Stille $2l$	Mittönen $3l$	Stille $4l$
Luft	1	19,5	39	59	78
Leuchtgas	0,56	26	52	78	—
Kohlensäure	1,53	15,8	32	47	63
Wasserstoff	0,069	74	—	—	—

¹⁾ Die Röhre wurde zu den Versuchen mit verschiedenen Gasen in der von Schreiber erwähnten Weise gefüllt und zwar habe ich in den Schülerübungen in der Hauptsache Leuchtgas und Kohlensäure, bisweilen auch noch Wasserstoff verwandt.

Diese rechnerisch ermittelten und abgerundeten Werte gaben in der Tat beim Versuche recht befriedigende Ergebnisse.

Um die zweite Gruppe von Versuchen — Resonanz für dasselbe Medium und denselben Druck bei verschiedenen Temperaturen — durchzuführen, bediente ich mich folgender Anordnung:



Ein Resonanzrohr von 35 cm Länge und 2 cm lichter Weite war mittels Korke in einem Gaslampenzylinder (25 cm lang und 4,5 cm weit) befestigt (s. Fig.). In die Korke waren außerdem Glasröhren eingeführt, durch die das innere Rohr mit Wasser oder Dampf umspült werden konnte. Dieses innere Rohr ragte möglichst wenig aus dem unteren Kork heraus.

Aus den anfangs angeführten Gleichungen folgt, wenn man Medium und Druck gleich behält, aber die Temperatur (t) verändert, daß für den Fall der Resonanz

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{l_1}{l_2} = \frac{\sqrt{1 + 0,003665 \cdot t_1}}{\sqrt{1 + 0,003665 \cdot t_2}} = \frac{\sqrt{273 + t_1}}{\sqrt{273 + t_2}} \text{ ist.}$$

Man kann diesen Quotienten für gegebene Temperaturen berechnen und auch aus den Einzellängen l_1 und l_2 , die sich beim starken Ansprechen der Stimmgabel experimentell ergeben, ermitteln.

Ich führe die Ergebnisse an, die einer meiner Schüler in den Übungen unter Anwendung zweier Stimmgabeln a_1 und b_1 gefunden hat:

Ton	t_1	l_1 (cm)	t_2	l_2 (cm)	$\frac{l_1}{l_2}$	$\frac{\sqrt{273 + t_1}}{\sqrt{273 + t_2}}$ berechnet
a_1	11,5°	19	100°	22	0,86	} 0,87
b_1	11,5°	17,5	100°	20,5	0,85	

Eine kinematographische Täuschung.

Von E. Magin zu Hamburg.

Es ist eine bekannte Erscheinung, daß bei kinematographischen Vorführungen die Drehbewegungen eines Rades nicht immer richtig wiedergegeben werden. Die Räder eines fahrenden Wagens, die Propeller einer Flugmaschine u. dergl. scheinen sich auf den kinematographischen Bildern mit falscher Geschwindigkeit zu drehen. Z. B. laufen sie zu langsam um, oder stehen ganz still oder drehen sich gar rückwärts. Die Erklärung für diese Täuschung ist sehr einfach. Man kann nun eine Beobachtung machen, die auf einem ganz ähnlichen Vorgang beruht. Blickt man gegen die Räder eines schnell fahrenden Wagens, am besten eines Automobils, so scheinen die Räder in gewissen Augenblicken plötzlich ruckweise stillzustehen, indem man das ganze Speichenbild wie bei einem ruhenden Rade scharf und deutlich erkennen kann. Diese Erscheinung scheint mir in Folgendem ihren Grund zu haben. Während das Rad von einer bestimmten Stellung aus sich so weit dreht, daß jede folgende Speiche in die Stellung der voraufgehenden gelangt, ist der Blick des Auges (etwa durch Zuschlagen der Lider) unterbrochen, so daß der nächste Eindruck, den das Auge empfängt, genau dem ersten gleich ist. Das Rad scheint also in seiner Stellung verharret zu haben. Würde man bei der Bewegung des Rades in all den Zeitabschnitten, wo eine Speiche sich in die Stellung der vorhergehenden dreht, den Blick unterbrechen können, so würde die Drehung des Rades scheinbar ganz aufgehoben sein.

Die Stromverhältnisse in Starkstromnetzen.

Von **Otto Kremla** in Klosterneuburg.

Immer mehr zeigt sich in den Lehrbüchern und im Unterricht das erfreuliche Bestreben, die Fortschritte der modernen Elektrotechnik zu berücksichtigen. Die elektrische Kraftübertragung, die Generatoren und Motoren für Gleich-, Wechsel- und Drehstrom und die Transformatoren werden meist verhältnismäßig ausführlich behandelt. In der Absicht, möglichst vielerlei zu bringen, werden aber häufig einfachere und wesentlichere Dinge vernachlässigt, so z. B. im Kapitel von der Fortleitung und Verteilung des Starkstromes. Man kann ja vielleicht die Durchnahme des Dreileitersystems für nicht unbedingt nötig halten, und es finden sich Bücher, wo sich darüber nichts, wohl aber über die Dreieck- und Sternschaltung der Generatoren eine Menge findet; über die einfache Zweileiteranlage sollte man aber doch einige Worte verlieren. Die Hochspannungs-Kraftübertragung soll man gewiß erörtern, aber über Leitungsanlagen, die jeder in seiner Wohnung sieht und benützt, zu sprechen liegt doch sicher näher.

Nun findet sich aber in den Lehrbüchern oft nicht einmal die fundamentale Tatsache erwähnt, daß man die Verbrauchsapparate parallel an das Netz anschließt. Aber selbst wenn das erwähnt wird, herrscht bei den Schülern gewöhnlich darüber Unklarheit, wieso es kommt, daß dabei z. B. die einzelne Lampe durch das Zu- und Abschalten anderer Lampen nicht beeinflusst wird. Sie haben nämlich bei der Besprechung des Galvanometer-Nebenschlusses gehört, daß der Ausschlag eines Galvanometers auf den $n-1$ ten Teil zurückgeht, wenn man einen Nebenschluß mit dem n ten Teil des Galvanometerwiderstandes anlegt. Daraus schließen sie, daß allgemein das Parallelschalten eines Widerstandes zu einem Stromverbraucher diese Wirkung hat.

Das kommt daher, daß man bei Berechnung der Teilströme der Stromverzweigung beim Galvanometer stillschweigend voraussetzt, daß der zu messende (ungeteilte) Strom durch die Anschaltung des Nebenschlusses nicht stärker geworden ist. Diese Voraussetzung ist begründet, wenn die dadurch erfolgte Widerstandsverringering gegenüber dem bedeutenden sonstigen Widerstand des Stromkreises nicht ins Gewicht fällt, was ja bei der Galvanometermessung regelmäßig zutrifft. Man sollte also eigentlich in der betreffenden Zeichnung einen solchen vorgeschalteten Widerstand, dessen Größe man natürlich nicht zu kennen braucht, andeuten und nicht, wie es manchmal geschieht, das Galvanometer direkt an den Batterieklemmen liegend zeichnen.

Der Fall nun, wo man auf die Größe dieses vorgeschalteten Widerstandes eingehen muß, liegt bei der Parallelschaltung der Stromverbraucher (Lampen, Motoren usw.) in Starkstromnetzen vor. Es ist gleichsam der umgekehrte Fall der Galvanometerverzweigung. Bei dieser war der Widerstand wegen seiner Größe allein maßgebend; hier will man ihn möglichst gleich Null machen.

Es empfiehlt sich zur Klärung dieser Verhältnisse die Größe des Teilstromes in einem Widerstande w bei Parallelschaltung des Widerstandes $\frac{w}{n}$ und Vorschaltung von w_1 bei konstanter Spannung e allgemein auszudrücken (Fig. 1).

Der ungeteilte Strom J ist dann:

$$J = \frac{e}{w_1 + \frac{w}{w + \frac{w}{n}}} = \frac{e}{w_1 + \frac{w}{n+1}}$$

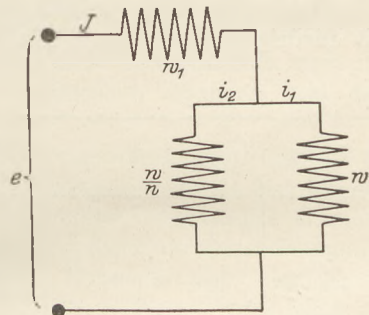


Fig. 1.

der Teilstrom im Nebenschluß:

$$i_2 = n \cdot i_1 = J - i_1,$$

daraus der Teilstrom in w :

$$i_1 = \frac{J}{n+1} = \frac{e}{w_1(n+1) + w}.$$

Ist w im Verhältnis zu $w_1(n+1)$ sehr klein, so kann man schreiben $i_1 = \frac{e}{w_1(n+1)}$,

ohne Nebenschluß ist $i_1 = \frac{e}{w_1}$ also $(n+1)$ mal so groß (Fall des Galvanometers).

Ist dagegen im Vergleich mit w w_1 zu vernachlässigen (Widerstand der Starkstromleitungen), so wird $i_1 = \frac{e}{w}$, d. h. der einzelne Verbrauchersapparat wird durch die Parallelschaltung anderer bei konstanter Netzspannung nicht tangiert. Das stimmt um so genauer, je kleiner n und w_1 sind. Wird der parallelliegende Widerstand zu klein (n groß, z. B. Zuschaltung vieler Lampen), so sinkt i_1 , und man muß durch Erhöhung von e (durch Verstärkung des Dynamofeldes, Zuschaltung von Akkumulatorenzellen) nachhelfen.

Mit stärkerer Stromentnahme nimmt eben der Verlust in den Zuleitungen usw. ($J^2 \cdot w_1$) zu; w_1 wird wichtiger¹⁾. Daß man natürlich nie ganz präzise und momentan die Spannung in allen Netzteilen regulieren kann, ist verständlich; man kann es ja auch an den zeitweiligen Helligkeitsschwankungen der Glühlampen erkennen. Genauer freilich beobachtet man Spannungsschwankungen mit dem Voltmeter. Da es sich aber doch nur um geringe Änderungen handelt, ist es, insbesondere für Demonstrationszwecke, besser, das Instrument nicht direkt an die Netzspannung zu legen, sondern den Spannungsverlust mit seinen Schwankungen direkt zu messen. Das geht dann, wenn in der Zentrale der eine Leiter geerdet ist.

Verbindet man nämlich in A (Fig. 2) den geerdeten Leiter über ein Voltmeter mit niedrigem Meßbereich mit der Erde, so zeigt dieses eine Spannung, die vom Spannungsverlust (Potentialdifferenz) zwischen A und B herrührt und mit diesem schwankt. Diese Schwankungen sind an niedervoltigen Instrument schon sehr deutlich, sie betragen mehrere Volt. Durch Anschalten von Lampen (L) usw. kann man den Ausschlag vergrößern und so das oben Gesagte bestätigen finden. Experimentiert man an einem Mehrleitersystem, z. B. einem Dreileitersystem mit geerdetem Nulleiter, so empfiehlt es sich, um die jeweilige Stromrichtung erkennen zu können, ein Drehspulinstrument zu verwenden.

Ein Ausschlag nach der einen oder andern Seite bedeutet, daß die eine oder die andere Hälfte des Leitungssystems — wenigstens hinter A — mehr belastet ist. Zuschalten von Lampen hat, wenn sie an der mehrbelasteten Hälfte liegen, eine Vergrößerung des Ausschlages, sonst eine Verringerung desselben zur Folge. Man kann so die Belastungsverteilung der Anlage beobachten.

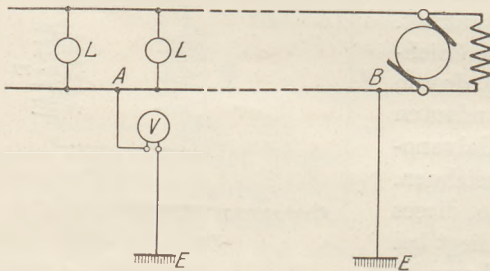


Fig. 2.

¹⁾ Ganz unpraktisch ist daher z. B. folgende Aufgabe, die sich in einem bekannten Lehrbuch findet (Rosenberg, Lehrbuch der Physik für Realschulen, 6. Aufl., Oberstufe, S. 359, Aufg. 9): „An den Enden einer Starkstromleitung von 110 Volt Spannung erfolgt ein Kurzschluß durch einen starken Draht von 0,01 Ω . Wie groß ist der Kurzschlußstrom?“ Wenn man sich so über den Widerstand der Zuleitung, des Stromerzeugers usw. hinwegsetzt, darf man sich über das erhaltene Resultat von 11000 Ampère nicht wundern.

Nun macht aber ein Voltmeter gewissermaßen nur quantitative Angaben. Will man z. B. in Gleichstromnetzen die Stromverhältnisse gleichsam qualitativ untersuchen, so muß man ein Telephon anschalten. Das Telephon gibt dann die verschiedenen Wellenzüge im Stromkreise wieder, vor allem den von der Gleichstromdynamomaschine ausgehenden. Das Schaubild der von einer solchen erzeugten Spannung zeigt keine gerade, sondern vielmehr eine Wellenlinie, die man durch Zusammensetzung der Induktionskurven der einzelnen Spulenpaare konstruieren kann. Durch Verwendung einer Induktionsspule erhält man einen durch diese periodischen Schwankungen erzeugten Wechselstrom. Aber selbst wenn der Strom nur durch Akkumulatoren erzeugt würde, würde man doch noch die Wellenzüge hören, die von den angeschlossenen Motoren herrühren.

Man kann da mit dem Telephon ganz interessante Beobachtungen machen. Fröhlichens beim Arbeitsbeginn und nach den Pausen kann man deutlich Motorenanlaufen hören (der Ton, den man hört, wird dabei höher), mit Eintritt der Dämmerung, oder wenn sich bei Gewittern der Himmel stark verfinstert, setzt ein fortwährendes Knacken ein, das von dem Einschalten von Lampen herrührt. Besonders Metallfadenlampen rufen starkes Knacken hervor, da sie wegen des im kalten Zustande geringen Widerstandes ihrer Fäden anfänglich sehr viel Strom aufnehmen. Verbindet man einen nicht geerdeten Leiter über einen Widerstand und einen Unterbrecher mit der Erde, so kann man in sehr großer Entfernung davon noch im Telephon ein rasselndes Geräusch, von den raschen Unterbrechungen herrührend, vernehmen und so auch Morsezeichen abhören.

Zur Chemie der eisernen Kriegsmünze.

Von Dr. **Richard Lucas** in Gera (Reuß).

Seit kurzem sind 60 Millionen eiserne Fünfpfennigstücke geprägt und dem freien Verkehr übergeben worden, weitere 40 Millionen sollen bald folgen. Das Erscheinen dieser „Kriegssexser“ hat überall großes Interesse erregt, nicht zuletzt bei der Schuljugend, so daß es wohl angebracht erscheint, diese Kriegsmünze auch im Chemieunterricht kurz zu behandeln, resp. in den praktischen Übungen von den Schülern selbst untersuchen zu lassen.

Die etwa $2\frac{1}{2}$ Gramm schwere Münze hat die Größe der gewöhnlichen Nickel-Fünfpfennigmünze und besteht aus Siemens-Martinstahl. Zum Schutze gegen äußere Angriffe hat man sie verzinkt. Durch diese Verzinkung erhält man ein kurz geschlossenes galvanisches Element, in der das Zink die Lösungselektrode bildet, während das Eisen unangegriffen bleibt.

Das Verzinken kann auf mehrfache Weise erfolgen: Entweder man verzinkt — „galvanisiert“ — das Eisen kalt, d. h. auf elektrolytischem Wege, oder heiß — durch Eintauchen in geschmolzenes Zink — oder schließlich man galvanisiert es „trocken“. Der elektrolytische Überzug gilt wegen seiner Dichte, Gleichmäßigkeit und größeren Reinheit besser als der auf heißem Wege erzeugte. Das zuletzt genannte „trockene Galvanisieren“ ist jedoch als das billigste und sparsamste Verfahren anzusprechen und dieses ist es auch, welches bei den neuen Kriegsmünzen in Anwendung gebracht worden ist. Es besteht im wesentlichen darin, daß man den Gegenstand mit dem wohlfeilen Zinkstaub auf 260 bis 315° im geschlossenen Gefäß erhitzt und darin erkalten läßt. Die Münze überzieht sich hierbei mit einer dünnen Zinkschicht, die ziemlich fest an dem Stahl haftet. Will man sie entfernen, so glüht man die Münze etwa in einem bedeckten Porzellantiegel einige Zeit und beseitigt dann die abblätternde Schicht rein mechanisch oder aber, was noch zweckmäßiger ist, man erhitzt die Münze in verdünnter Natronlauge, in der sich der Zinkbelag unter Wasserstoffentwicklung entsprechend der Gleichung:



glatt auflöst, während das Eisen praktisch unangegriffen bleibt.

Die oben genannte Methode des trockenen Galvanisierens rührt von dem bekannten Hüttenmann Sherard Cowper-Coles her, der sie sich bereits im Jahre 1901 (Englisches Patent Nr. 9927) patentieren ließ. Auffällig ist bei dem „Sherardisierungsverfahren“ jedenfalls, daß die Erhitzungstemperatur weit unterhalb der Siedetemperatur (930°) des Zinkes liegt, jedoch ist zu bedenken, daß nach den Messungen von Richards die Dampftension des Zinkstaubes schon bei 250° meßbare Beträge erreicht. Die Anwendung relativ geringer Hitze bedingt einerseits, daß die zu verwendenden Gefäße weniger leiden, als wenn „heiß“ verzinkt wird, andererseits eine Ersparnis an Material selbst. Daß in der Tat die Münze nur von minimalen Zinkmengen bedeckt wird, davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man die Münze wiegt, den Zinkbelag dann entfernt, abermals wiegt und so den Gewichtsunterschied feststellt. Dieser beträgt etwa 0,06 Gramm, d. h. das Zink macht etwa $\frac{1}{50}$ des Gesamtgewichtes der Münze aus. Die Anwendung einer derartigen Sparmethode erscheint in Anbetracht der riesenhaften Anzahl der in den Verkehr gebrachten Münzen durchaus nötig, sind doch zur Herstellung der 100 Millionen Münzen mindestens $100\,000\,000 \cdot 0,06\text{ g} = 60$ Doppelzentner Zinkstaub erforderlich. Berechnet man ferner die Gesamtoberfläche der Münze, so ergibt sich, unter Berücksichtigung des spezifischen Gewichtes des Zinkes (7,2), die Dicke der Zinkschicht zu etwa $\frac{1}{70}$ Millimeter. Man könnte vermuten, daß der Belag zu dünn wäre, um einen genügenden Rostschutz zu gewähren. Um sich davon zu überzeugen, daß dies nicht der Fall ist, setzt man etwa zwei Münzen, von denen die eine unversehrt, an der anderen hingegen der Zinkbelag entfernt ist, einige Tage der feuchten Witterung aus. Man wird feststellen, daß die Eisenmünze mit Rostflecken bedeckt, die Zink-Eisenmünze aber praktisch intakt geblieben ist. Nur wenn metallisches Zink längere Zeit hindurch feuchter, kohlenstoffhaltiger Luft ausgesetzt wird, überzieht es sich mit einer dünnen Haut von wasserhaltigem, basischen Karbonat. Ob die Münzen den verschiedenen sonstigen Agentien widerstehen werden, denen sie im Laufe der Zeit ausgesetzt sind, bleibt abzuwarten. Bereits die wiederholte Berührung mit dem Schweiß der menschlichen Hand wird eine frühzeitige Abnützung des Belages zur Folge haben. Indessen sollen ja die Münzen zwei Jahre nach Beendigung des Krieges wieder eingezogen werden und dieser Zeitpunkt ist hoffentlich nicht mehr fern!

Zur rein chemischen Untersuchung der Münze erhitzt man diese mit Salpetersäure, in der sich das Geldstück unter Entwicklung der bekannten rotbraunen Stickstoffdioxyddämpfe glatt löst. Alsdann versetzt man die Lösung mit verdünnter Salzsäure, was keine Bildung irgend eines Niederschlages zur Folge hat, woraus zu schließen ist, daß Blei, Silber oder einwertiges Quecksilber nicht vorhanden sind. Nunmehr wird Schwefelwasserstoff eingeleitet, um eventuell Beimengungen von zweiwertigem Quecksilber, Kupfer, Wismut, Zinn, Cadmium, Arsen¹⁾ oder Antimon als Sulfide auszufällen. Auch diese sind nicht vorhanden, was die ledigliche Ausscheidung von Schwefel beweist. Nunmehr verjagt man durch Kochen den Schwefelwasserstoff, oxydiert dann durch Erwärmen mit Salpetersäure und fällt mit Ammoniak das rotbraune Eisenhydroxyd aus. Den ausgewaschenen Niederschlag löst man in verdünnter Salzsäure und führt mit der Lösung einige charakteristische Eisenreaktionen aus. Zu dem wieder mit Ammoniak versetzten Filtrat gibt man farbloses oder schwach gelbes Schwefelammon, filtriert das ausgeschiedene weiße Schwefelzink ab, löst den ausgewaschenen Niederschlag in verdünnter Salzsäure und fügt nach der Verjagung des noch vorhandenen Schwefelwasserstoffes Natronlauge zu, in der sich das Zink im Überschuß löst. Es kann aus der alkalischen Lösung durch Schwefelwasserstoff alles weißes Zinksulfid gefällt werden.

¹⁾ Da der Zinkstaub stets Arsen enthält, so ist die Anwesenheit dieses Elementes zu vermuten. Bei der genauen Prüfung einer Münze auf Arsen konnte jedoch die Existenz desselben zur Zeit nicht mit absoluter Sicherheit festgestellt werden.

Versuche mit einfachen Mitteln.

Einfache Versuche zur Elektrostatik. Von Dr. J. Kraus in Wien. Die einfachen Versuche, welche E. Höhnemann im Maiheft der Zeitschrift beschreibt, veranlassen mich, die Aufmerksamkeit auf die klassischen Vorträge über Elektrizität zu lenken, welche John Tyndall in der Royal Institution vor 40 Jahren vor Knaben und Mädchen gehalten hat. In der deutschen Übersetzung von J. von Rosthorn, Verlag Hartleben, Wien (1884), finden sich die Versuche mit dem Isolierschemel auf Seite 28 natürlich in anderer Darstellung, denn Höhnemann hat sicher die klassische Quelle nicht gekannt. Tyndall verwendet z. B. als Elektroskop eine lange Latte, die auf einem im Eibecker stehenden Ei drehbar aufliegt.

Tyndall gibt auch einen Versuch an, bei welchem man die Elektrizität des auf dem Schemel isolierten Körpers verstärken kann. Er benützt dabei einen Ebonitkamm, den er abwechselnd durch die Haare des isolierten Helfers zieht und auf seine Hand legt; macht man das geduldig 20 bis 30 mal, dann bewegt sich die lange Latte viel lebhafter bei Annäherung des Knöchels des Helfers. Die im Körper sich sammelnde Elektrizität kann noch etwas, und zwar ohne Beihilfe eines anderen, verstärkt werden, wenn der Kamm jedesmal, nachdem er vom isolierten Experimentator durch seine Haare gezogen wurde, über einer Kerzenflamme durch die Luft gezogen wird, da dann jedesmal alle negative Elektrizität aus dem Kamm entweicht.

Für die Praxis.

Der Isochronismus der Pendelschwingungen. Von Knochendöppel in Hagen i. W. Der experimentelle Nachweis läßt sich mit Hilfe eines Telegraphenmodells führen. Mittels des Morseschreibers bestimmt man die Momente, in denen das schwingende Pendel sich in den Umkehrpunkten befindet. Die Abstände der Morsezeichen auf dem Papierstreifen zeigen gute Übereinstimmung.

Über Oberflächenspannung. Von W. Kodweiß in Heidenheim a. d. Brenz. Man bringe ein Ei im Wasser dadurch zum Schwimmen, daß man etwas Salzsäure zugeißt; an der Oberfläche angelangt, wird das Ei infolge der Oberflächenspannung wieder hinabgedrückt. Das Ei geht einigemal auf und ab, bis es schließlich so leicht wird, daß es die Oberfläche „zerreißt“. Der einfache Versuch erregt bei den Schülern immer Interesse, um so mehr, als man bei Zusatz von genügend viel Säure ein hartes Ei erhält.

Verwendung der Übungsprismen zur Spektralanalyse. Von O. Uhlmann in Lübeck. An allen Schulen, die Schülerübungen in der Physik betreiben, verfügt man gewiß über eine größere Anzahl Glasprismen, die zu Stecknadelversuchen verwendet werden. Diese Prismen lassen sich zum Gebrauch bei Behandlung der Spektralanalyse im Klassenunterricht recht gut heranziehen und liefern subjektiv bessere Spektralbilder, als man ihnen zutrauen möchte. Man empfiehlt wohl hier und da, einen weißen Kreidestrich an der Wandtafel durch ein Prisma zu betrachten. Ich empfehle, ein recht großes, helles Spaltbild mit dem Projektionsapparat zu entwerfen und dies subjektiv beobachten zu lassen. Es ist überraschend, was für ein prächtiges Spektrum die Prismen liefern. Danach wird man durch Glas- oder Gelatinetafeln ein farbiges Spaltbild erzeugen und dies beobachten lassen. Die Absorptionsstreifen sind genau so gut zu sehen, wie bei objektiver Darstellung. Ich meine aber, daß bei der subjektiven Betrachtung die analysierende Leistung des Prismas dem Schüler schärfer zum Bewußtsein kommt. Er sieht zunächst die scheinbar einfache Farbe vor sich und ist sich bewußt, daß sie da bleibt, auch wenn er sie im Prisma zerlegt sieht. Das scheint mir überzeugender zu wirken, als wenn man erst das einfarbige Spalt-

bild zeigt und es dann beim Vorsetzen des Prismas vor den Spalt vernichtet. Das bescheidene Glasprisma leistet aber noch mehr. Man kann mit ihm die Linienspektren der Geißlerschen Spektralröhren ganz gut erkennen und sie daher gleichzeitig von der ganzen Klasse beobachten lassen. Die Betrachtung durch den Spektralapparat braucht ja deswegen nicht zu unterbleiben, es ist aber gewiß vorteilhaft, zunächst einmal der ganzen Klasse in wenigen Minuten eine Vorstellung von diesen Spektren geben zu können. Es liegt nahe, die subjektive Beobachtung durch die ganze Klasse auch auf kontinuierliche Spektren wie Kerzenlicht, glühende Drähte usw. anzuwenden.

Über eine besonders anschauliche Vorführung des Elektromagnetismus. Von Prof. Dr. Friedrich C. G. Müller, Brandenburg a. H. Das Wesen des Elektromagnetismus läßt sich kaum deutlicher und wirkungsvoller zeigen, als durch die Magnetisierung gerader oder hufeisenförmiger Stahlstäbe mittels kurzer Spulen. Sehr brauchbar sind die Spulen des in vielen Sammlungen vorhandenen Weinholdschen Apparates für die Grundversuche über Induktion, die kleine Primärspule für dünne Stäbe, die 5,5 cm weite Sekundärspule für solche bis 5 cm Dicke. Letztere enthält auf nur 2,2 cm Länge 22×15 Windungen 7,5 mm Draht von 80 m Gesamtlänge und 4 Ohm Widerstand. Betätigt man diese Spule mit einem Strom von 10 Amp., selbstverständlich jedesmal nur für wenige Sekunden der Erwärmung wegen, so wird ein hindurchgeführter Stahlstab, auch wenn er glashart und 5 cm dick ist, augenblicklich bis zum Höchstbetrag magnetisiert. Man bedient sich dabei der in der Sammlung vorhandenen Magnete, die man einigemal ummagnetisiert. Wirkungsvoll ist die Tatsache, daß solche Ummagnetisierung im Augenblick erfolgt. Ich lasse unsere glasharten Magnetstäbe 30:2,5:1 cm durch die wagerecht eingespannte Spule aus einiger Höhe herabfallen, den entgegengesetzten Pol nach abwärts. Sie zeigen sich hinterher umgekehrt polarisiert in voller Stärke.

Die Ringspule läßt sich auch über Hufeisenmagnete streifen. Führt man sie bei vorgelegtem Anker unter Strom von einem zum andern Polende, so wird das Hufeisen im Bruchteil einer Sekunde bis zum Maximum ummagnetisiert. Unser 3,3 kg schwerer Hufeisenmagnet vom Querschnitt 2,7:3,4 cm zeigt diese gewaltige Wirkung anstandslos.

Ein Versuch über die Diffusion des Kohlendioxyds. Von Edv. Björnsson in Borås (Schweden). Durch den folgenden Versuch, der, soviel ich weiß, noch nicht bekannt ist¹⁾, kann man in kurzer Zeit und mit den einfachsten Mitteln die Diffusion des Kohlendioxyds zeigen: Über das eine Ende eines Glasohres von 2—3 dm Länge und etwa 4 mm innerer Weite wird ein Gummischlauch von ungefähr der doppelten Länge geschoben. Nachdem man durch einen Kohlensäurestrom die Luft ausgetrieben hat, steckt man das freie Ende des Glasrohres unter Quecksilber und schließt danach den Schlauch oben mit einer Schlauchklemme oder einem Glasstab. Das Glasrohr wird von einem Stativ senkrecht gehalten.

Da die Kohlensäure ziemlich schnell durch Gummi diffundiert, sieht man bald das Quecksilber in das Rohr emporsteigen. Bei den oben angegebenen Dimensionen des Apparates steigt es schon in einer Stunde bis 5 cm. Nach 24 Stunden ist das ganze Rohr von Quecksilber gefüllt und der Schlauch vom äußeren Druck zusammengedrückt.

Da die Diffusionsgeschwindigkeit der Luft durch Gummi ja unendlich klein ist, wäre es vielleicht richtiger, die hier vorliegende Erscheinung als Osmose statt als Diffusion zu bezeichnen.

¹⁾ Einen ähnlichen Versuch mit einem Gummiballon hat H. Rebenstorff in ds. Zeitschr. 20, 228, 1907 beschrieben.

Berichte.

1. Apparate und Versuche.

Die Hagenschen Versuche mit der Atwood'schen Fallmaschine zum Nachweis der Erddrehung. (Originalbericht.)

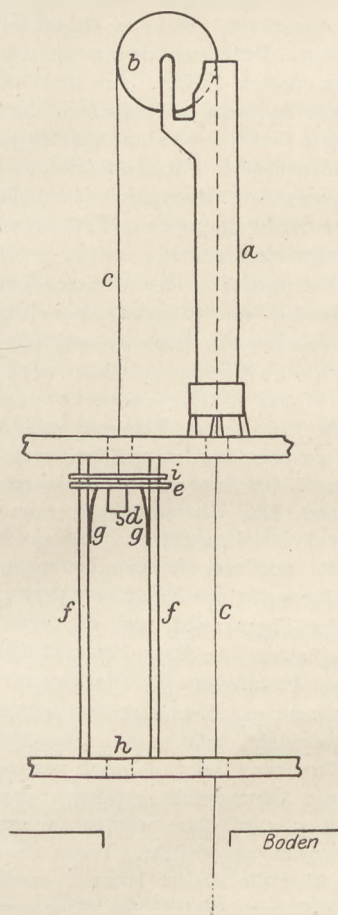
Im Bändchen Nr. 17 der von Lietzmann und Witting herausgegebenen mathematischen Bibliothek¹⁾ habe ich mit Nachdruck hingewiesen auf die schönen Versuche von Hagen zum Nachweis der Erddrehung. Ich komme gerne dem Wunsche des Herausgebers dieser Zeitschrift nach, die experimentelle Seite dieser neuen Versuche hier ausführlicher darzulegen. Ich kann zwar den Ausführungen von Hagen, die in den Publikationen der vatikanischen Sternwarte niedergelegt sind, nichts Neues beifügen. Aber die Originalabhandlung²⁾ über den Gegenstand ist so wenig bekannt und so wenig leicht zugänglich, daß es sich lohnt, die Versuche, die ohne großen Aufwand wiederholt werden können, gerade im Leserkreis dieser Zeitschrift weiter bekannt zu machen.

Die Beobachtungsergebnisse von Benzenberg, Reich, Hall und Flammarion (vgl. Math. Bibliothek Nr. 17 S. 20—25) zeigen, daß bei den Versuchen, die Erddrehung durch die östliche Abweichung beim freien Fall sichtbar zu machen, Vergrößerungen der Fallhöhen keinen Gewinn mehr bedeuten. Im Gegenteil, es müßte von Vorteil sein, die Fallbewegung künstlich zu verlangsamen, um so auch bei kleinen Fallhöhen meßbare Abweichungen zu erhalten. Diesen Weg hat Hagen eingeschlagen.

Der Grundgedanke für seine neuen Versuche ist der folgende: Der Körper fällt nicht frei, sondern an einem Faden, der um eine feste Rolle läuft und am anderen Ende ein Gegengewicht trägt, das die Fallbewegung verzögert. Bei ruhender Erde würde das Fallgewicht längs dem Lot fallen. Die Erddrehung aber bewirkt eine Ablenkung aus dem Lot, so daß nach dem Fall, d. h. wenn das Gegengewicht durch eine passende Hemmvorrichtung langsam und ohne Stoß aufgehalten worden ist, durch das abgelenkte Fallgewicht eine Pendelbewegung ein-

geleitet wird, bei welcher der erste Ausschlag nach Osten stattfindet. Die Beobachtung dieses ersten Ausschlages nach Osten ist ein einfacher, mechanischer Nachweis der Erddrehung. Die Pendelschwingungen aber, die dann einsetzen, gestatten auch eine genaue Bestimmung des Lotes der Ausgangsstelle des Fallkörpers, und durch Anwendung von einem Fernrohr mit Meßskala kann die östliche Abweichung mit bisher unerreichter Genauigkeit gemessen werden.

Bei der Versuchsanordnung von Hagen ist die Fallmaschine die denkbar einfachste, nämlich eine Messingröhre *a* (Fig. 1), die oben eine kleine Aluminiumrolle *b* (Durchmesser 79,7 mm, Dicke



2,8 mm) trägt, über die der Faden *c* läuft, der rechts das Fallgewicht und links das Gegengewicht *d* trägt. Diese Gewichte sind kleine, mit Schrotkörnern gefüllte Hohlzylinder. Das Fallgewicht wog 51 g, das Gegengewicht 42 g

¹⁾ Math. Bibliothek Nr. 17. W. Brunner, Dreht sich die Erde? Leipzig u. Berlin 1915.

²⁾ J. G. Hagen S. J., La rotation de la terre, ses preuves mécaniques anciennes et nouvelles; second appendice, Rome 1912 (Publikationen der vatikanischen Sternwarte); vgl. auch: Verhandl. der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte. 83. Versammlung. 2. Teil. 1. Hälfte. S. 37 ff. Leipzig 1913.

und der Faden 5 g. Die Messingröhre *a* war mit drei Füßen an der Tischplatte *T* eines einfachen Holzgestells festgeschraubt, und die ganze Vorrichtung stand in einem Zimmer über einem 23 m hohen Treppenhaus. Durch eine Öffnung im Zimmerboden konnten sich die Fäden bis an den Boden des Treppenhauses bewegen, wo das Beobachtungsfernrohr aufgestellt war. Der Fallraum war nur oben offen, sonst aber überall durch über ein Holzgerüst gespannte Tücher und aufgeklebtes Papier gegen Luftzug geschützt. Bei Beginn eines jeden Versuches befand sich das Fallgewicht oben in der Messingröhre *a* und war durch diese gegen Luftströmungen geschützt. Eine Glasglocke, mit der die Fallmaschine bedeckt werden konnte, verhinderte auch noch störende vertikale Luftströmungen.

Die Zeichnung zeigt die Versuchsanordnung für den Augenblick, wo das Gegengewicht *d* oben anlangt. Unten an diesem Gewicht sieht man einen kleinen Haken. An ihn wird das Gewicht vor Beginn des Versuches durch einen Bleifaden am Boden des Fallraumes festgehalten. Dieser Faden ist in einen elektrischen Stromkreis eingeschaltet, und durch Schließen des Stromes und Abbrennung des Fadens wird die Fallbewegung eingeleitet.

Der heikelste Teil der Versuchsanordnung ist die Hemm- und Dämpfervorrichtung, die das Gegengewicht langsam und ohne Stoß aufhalten soll. Sie besteht aus zwei Übergewichten *e* und *i*. Das untere *e* wog 112 g und wurde bei jedem Versuch vom Gegengewicht *d* gehoben und mitgeführt, wenn dieses die Öffnung *h* im Fußbrett des Holzgestells erreicht hatte. Die Übergewichte waren rechteckige Metallplättchen mit drei kreisrunden Öffnungen, die mittlere für den Faden und die beiden äußeren für die Führungsstangen *f*, die man in der Figur sieht und die eine Länge von 80 cm hatten. An ihnen bemerkt man noch zwei leichte Stahlfedern *g*. Die Hemmvorrichtung wirkt nun so: Wenn das Gegengewicht die Öffnung *h* erreicht, hebt es das Übergewicht *e*, und die Bewegung wird dadurch verlangsamt. Gewicht und Übergewicht erreichen dann die Stahlfedern *g*, und diese werden immer mehr an die Stangen gedrückt. Wenn das Übergewicht *e* über die Federn kommt, erreicht es das zweite Übergewicht *i*, das 58 g wog und an der Tischplatte des Holzgestells befestigt war, mit einem Spielraum von 8–9 cm. Es hatte den Zweck, die Bewegung ganz zum Stillstand zu bringen und das Anstoßen des Gegengewichts am Holzgestell zu verhindern. Dann ist noch eine Vorrichtung nötig, um das durch

die Übergewichte schwerer gewordene Gegengewicht am Rückwärtsgleiten zu verhindern. Das schwerere Übergewicht *e* wird, oben angekommen, durch die Federn *g* aufgehalten und muß nun seinerseits auch noch das Gegengewicht *d* am Zurückfallen hindern. Zu diesem Zweck sind oben am Gegengewicht, in Pfeilform, Spitze nach oben, zwei kleine Stahlfedern angebracht. (In der Figur sind sie nicht eingezeichnet.) Sie gehen mit dem Faden durch die mittlere Öffnung des ersten Übergewichtes und halten, über diesem angekommen, durch ihre Widerhaken jede Rückwärtsbewegung auf.

Unten im Treppenhaus, aber außerhalb des Fallraumes war der Theodolit zur Beobachtung des Fadens vom Fallgewicht auf einer in die Wand eingelassenen Marmorplatte aufgestellt. Am Fallraum, der, wie schon bemerkt, durch Tücher und Pappe vermacht war, wurden zwei kleine Glasfenster angebracht, das eine nach Norden zur Beobachtung der östlichen Abweichung und das andere nach Osten zur Messung einer etwaigen südlichen Abweichung vom Lot. Die engen Räume bedingten die Anwendung eines Spiegels zur Beobachtung des niedergehenden Fadens, da sonst die Distanz zwischen Faden und Theodolit zu klein gewesen wäre. Der Spiegel wurde auf dem Deckel eines kleinen Kastens angebracht, und vom Okular aus konnte man den Kastendeckel mit dem Spiegel so drehen, daß eine Mire, die südlich vom niedergehenden Faden aufgestellt war, im Gesichtsfeld des Fernrohrs erschien. Die Mire bestand einfach aus einem an die Wand gespannten Faden. Im Fallraum war eine starke elektrische Lampe und ermöglichte, daß man den Faden auf der Mikrometerskala aus Glas im Okular des Fernrohrs deutlich sehen konnte. Der Teilwert der Skala wurde bestimmt, indem man einen Millimetermaßstab hart an den Faden hielt und im Fernrohr ablas, wieviele Millimeter die Teile der Skala umfaßten.

Wegen seiner großen Geschwindigkeit ist das Fallgewicht nicht zu sehen, wenn es das Gesichtsfeld des Fernrohrs durchläuft; wohl aber ist der Faden deutlich sichtbar, wenn auch sein Bild nur wenige Augenblicke auf derselben Stelle der Skala weilt.

Das Ausprobieren der besten Beobachtungsmethode erforderte nicht wenige Vorversuche. Die naheliegende Meinung, daß die Amplitude der nach dem Fall einsetzenden Pendelschwingungen ein Maß für die östliche Abweichung gebe, erwies sich als irrig, da wohl die erste Ausweichung immer nach Osten stattfand, die Amplituden aber abwechselnd abnahmen und zunahmen. Der Grund ist der, daß der Schwer-

punkt des Fallkörpers beim Pendeln nicht genau in einer Ebene schwingt, sondern kleine Ellipsen beschreibt, deren Achsen sich in einer horizontalen Ebene drehen. Beim Anhalten des Fallgewichts verlängerte sich der Faden infolge seiner Elastizität um $\frac{1}{3}$ m und verkürzte sich dann wieder. Er geriet dabei oft, aber nicht jedesmal, in kleine Schwingungen wie eine Saite. Sie dauerten aber nur wenige Sekunden und hinderten die Ablesung der Schwingungen nicht. Endlich zeigten die Vorversuche, daß es möglich war, den Faden zu beobachten, bevor die Fallbewegung aufhörte. Wenn der Beobachter die Skala auf die Mire einstellte und seine Aufmerksamkeit auf die Stelle der Teilung richtete, wo er wußte, daß der Faden erscheinen mußte, sah er ihn als feine schwarze Linie auftauchen und konnte seine Stellung auf halbe Zehntel genau einschätzen.

Die eigentliche Beobachtung ging nun, wenn die Fallmaschine oben bereitgestellt worden war, so vor sich: Der Beobachter brachte Spiegel und Theodolit in Stellung. Dann wurde der Strom geschlossen, und der Fallkörper begann seine Bewegung. Nach 10—11 Sekunden erschien der Faden auf der Skala, und seine Stellung wurde eingeschätzt. Die Ablesung der äußersten Ausweichungen der dann einsetzenden Pendelschwingungen wurde auf beiden Seiten fünfmal gemacht. Ihr Mittel gab die Lotrichtung. Die Abweichung der ersten Lesung bei noch fallendem Gewicht von der Lotstellung war die östliche Ablenkung bei dieser unfreien Fallbewegung.

Die Fallhöhe betrug bei den Hagenschen Versuchen 22,96 m. Daraus berechnet sich die Schwingungszeit zu 4,8 Sekunden. Die Amplitude der Schwingungen betrug nur zwei Skalenteile oder ungefähr $2\frac{1}{2}$ mm; schon nach 1 Minute war sie fast Null.

Die Theorie der Versuche ist von Hagen und Pater Stein ausgearbeitet worden. Ich möchte hier nicht darauf eingehen und verweise auf die Originalabhandlung von Hagen oder auf meine ausführliche Darstellung im Januarheft der Zeitschr. f. mathemat. u. naturwiss. Unterricht (Hoffmannsche Zeitschrift, herausgegeben von Schotten und Lietzmann).

Einen Punkt allerdings kann ich nicht übergehen, da er die experimentelle Seite berührt. Es handelt sich beim Fall auf der Atwoodschen Fallmaschine um eine unfreie Bewegung auf der rotierenden Erde. Die Differentialgleichungen dieser Bewegung kann man aber nur dann leicht integrieren, wenn die Fallbeschleunigung p_0 konstant vorausgesetzt wird. In Wirklichkeit aber ist die Beschleunigung wegen der Zunahme der Fadenlänge auf der Seite des Fallgewichts

und wegen ihrer Abnahme auf der Seite des Gegengewichts veränderlich und eine Funktion der Fallhöhe. Die Erfahrung zeigt, daß diese Änderung der Fallbeschleunigung nicht vernachlässigt werden darf. Man wird deswegen die Versuchsanordnung so ergänzen, daß beim Steigen und Fallen der Gewichte auf beiden Seiten der Rolle das zur Wirkung kommende Fadengewicht sofort wieder aufgehoben wird. Das läßt sich erreichen, wenn man unten am Gegengewicht einen zweiten Faden befestigt, doppelt so schwer wie der über die Rolle gehende (oder den gleichen Faden doppelt genommen) und etwa so lang wie die Fallhöhe. Konstante Fallbeschleunigung p_0 vorausgesetzt und wenn von den Reibungswiderständen und vom Luftwiderstand abgesehen wird, gibt die Theorie für die östliche Abweichung bei der Fallbewegung auf der Atwoodschen Fallmaschine den Betrag

$$y = \frac{p_0^2}{2p_0 + g} \omega t^3 \cos \varphi,$$

wo $\omega = 0,00007292$ die Winkelgeschwindigkeit der Erddrehung für eine mittlere Zeitsekunde, g die Beschleunigung der Schwere, t die Fallzeit und φ die geographische Breite des Beobachtungsortes ist. Für $p_0 = g$ geht der Ausdruck für y in die bekannte Gaußsche Formel $y = \frac{1}{2} g \omega t^3 \cos \varphi$ für die östliche Abweichung beim freien Fall über. Die konstante Beschleunigung p_0 berechnet man aus der Fallhöhe und der Fallzeit, die man am besten mit einer Stoppuhr oder einem Chronographen beobachtet.

Hagen beobachtete die östliche Abweichung 66 mal und fand:

Beobachtung: $y = 0,899 \pm 0,027$ mm; wahrscheinlicher Fehler einer Beobachtung $= \pm 0,217$ mm.

Berechnung: $y = 0,889$ mm.

Die Versuche zeigen, und das ist ganz besonders wichtig für ihre Beurteilung, keine einzige Abweichung nach Westen. Dabei ist zu beachten, daß einzelne Versuche aus mechanischen Gründen versagten, daß aber kein Versuchsergebnis von der Berechnung ausgeschaltet wurde.

Hagen beobachtete auch die südliche Abweichung und fand im Mittel aus 22 Messungen

$$X = 0,010 \pm 0,027 \text{ mm}$$

in schöner Übereinstimmung mit der Theorie, die zeigt, daß die südliche Abweichung nur vom Quadrat der kleinen Winkelgeschwindigkeit ω abhängt und für praktisch in Frage kommende Fallhöhen kleiner als $\frac{1}{1000}$ mm ist. Hagen betrachtet die Bestimmung der südlichen Abweichung als das „Experimentum

crucis“ für seinen neuen Weg, die Erdrotation nachzuweisen. Beobachtungsmethoden, die eine merkliche Abweichung nach Süden ergeben, sind zum vornherein ohne Wert für die quantitative Bestimmung der östlichen Abweichung.

Die Genauigkeit der Hagenschen Versuche läßt sich jedenfalls noch steigern, und man wird auch mit kleineren Fallhöhen noch brauchbare Ergebnisse erzielen. Es ist nicht zu übersehen, daß die Hagenschen Apparate sehr einfach waren und auch die Hemmungsvorrichtung sich jedenfalls noch verbessern läßt. Es wäre

sehr zu wünschen, daß die Versuche wiederholt werden, denn befriedigende quantitative Nachweise der Erddrehung sind selten. Man hört gelegentlich, daß dieses Kapitel der physikalischen Beobachtungskunst erledigt sei, aber man sollte sich doch eigentlich nicht zufrieden geben, bevor es gelungen ist, die Geschwindigkeit der Erddrehung aus mechanischen Versuchen annähernd mit derselben Genauigkeit zu ermitteln, wie dies durch Beobachtung der täglichen Bewegung der Gestirne möglich ist.

W. Brunner, Zürich.

2. Forschungen und Ergebnisse.

Aus der Optik. Ein neues Verfahren der Farbenmessung von Lichtquellen und Körperfarben wurde von L. BLOCH angegeben.¹⁾ Zwischen Auge und Photometer wird der Reihe nach ein rotes, grünes und blaues Glas von genau definierter Färbung und Dicke eingeschaltet. Die von Schott in Jena hergestellten dreifarbigten Gläser von 1 mm Dicke befinden sich in einer Revolverscheibe, die noch eine vierte freigelassene Öffnung für die Messung im natürlichen Licht besitzt. Bei der Farbenmessung künstlicher Lichtquellen diene als Normal-Lichtquelle das Tageslicht bei bedecktem Himmel, unter der Annahme, daß dieses in allen Farben die gleiche Helligkeit (= 100) besitzt. Findet man dann z. B. für eine Lichtart die Werte 250 in Rot, 150 in Grün, 75 in Blau, so kann man das Verhältnis der drei Farben auch durch 180:100:50 ausdrücken. Das führt zu einer graphischen Darstellungsweise, die übersichtlicher ist als etwa das Maxwellsche Farbendreieck. BLOCH nimmt ein rechtwinkliges Koordinatensystem, auf dessen Abszisse die Verhältnisse Blau:Grün, auf dessen Ordinate die Verhältnisse Rot:Grün eingetragen werden. Jede Lichtart erhält dann einen bestimmten Platz, aus dem man sofort erkennt, wie weit sie von andern Lichtarten und vom Tageslicht entfernt ist. Bei den künstlichen Lichtquellen für den täglichen Gebrauch zeigt sich eine allmählich immer weitergehende Annäherung an die Farbe des Tageslichts; die Reihenfolge: Stearinkerze, Petroleumlampe, Gasbrenner (Kohlenfadenlampe), Azetylenflamme (Metalldrahtlampe), Magnesiumflamme nähert sich durch Abnahme der roten Strahlen immer mehr dem Tageslicht. Das Gasglühlicht zeigt trotz der grünen Färbung einen Überschuß an Rot und einen Mangel an Blau. Die elektrischen Glühlampen nähern sich um so mehr

dem Tageslicht, je höher die Temperatur des Glühfadens und je niedriger der Effektverbrauch pro Kerze ist. Die neuen Metallfadenlampen sind daher nicht nur vorteilhafter wegen des geringeren Stromverbrauchs, sondern auch wegen der größeren Annäherung an das Tageslicht. Die Kohlen-Bogenlampe zeigt noch einen Überschuß an Rot und einen Mangel an Blau, erhält aber bei Luftabschluß mehr violette Strahlen. Die Magnetit-Bogenlampe gibt eine dem Tageslicht am nächsten kommende Farbe. Die Quecksilber-Bogenlampe hat fast gar kein Rot und liegt daher nahe der Abszissenachse. Die leuchtenden verdünnten Gase des Moorelichts geben ein Licht, das sich fast gar nicht vom Tageslicht unterscheidet.

Um das beschriebene Meßverfahren auch für Körperfarben anwendbar zu machen, wurde bei Schmidt und Hänsch ein besonderer Farbmesser hergestellt. Auf den Boden eines geschlossenen Kastens wird eine etwa 10 qcm große Probe des zu messenden Körpers gebracht, daneben eine weiße Vergleichsplatte von derselben Größe. Durch Prismen werden beide Felder nebeneinander gebracht und durch ein Photometer betrachtet, in dessen Okular sich die Revolverscheibe mit den 3 farbigen Gläsern befindet. Die beiden Felder werden durch Tageslicht oder durch kleine Glühlampen beleuchtet. Nach dem zu messenden Körper gelangt das Licht durch eine Öffnung von unveränderlicher Größe, während die Beleuchtung der weißen Vergleichsplatte durch eine veränderliche Öffnung erfolgt, deren Weite genau abgelesen werden kann. Durch Einschalten der farbigen Gläser verschwimmt der Farbenkontrast zwischen dem Versuchskörper und der Vergleichsplatte, und es läßt sich leicht feststellen, welche Beleuchtung diese erhalten muß, damit sie ebensoviel rotes, grünes und blaues Licht reflektiert, als der zu messende Körper. Die drei Zahlen geben ein Maß für dessen Reflexionsfähigkeit für rotes, grünes und blaues

¹⁾ Die Naturwissenschaften 2, 85 (1914); 3, 333 (1915).

Licht. Diese Zahlen werden auf einen Normalkörper bezogen, der aus einem Magnesianieder-schlag auf einer Metallplatte besteht. Teilt man die Skala des Farbmessers so ein, daß die Normalplatten für jede der 3 Farben bei 100 richtig eingestellt ist, so kann man die Reflexionsfähigkeit irgend eines Körpers unmittelbar ablesen. Durch eine besondere Vorrichtung kann man mit demselben Apparat auch die Farbmessung durchsichtiger Körper vornehmen. Zur graphischen Darstellung der Ergebnisse dieser Farbmessungen benutzt BLOCH ein räumliches Koordinatensystem von drei aufeinander senkrechten Achsen, auf denen die drei Werte für Rot, Grün und Blau aufgetragen werden, so daß jede Farbe in dem Raume innerhalb eines Würfels ihren Platz findet. Wegen der Schwierigkeit der perspektivischen Darstellung kann man auch den Grundriß und Aufriß des Würfels benutzen, so daß jede Farbe dann durch zwei Punkte im Grundriß und Aufriß charakterisiert ist. Der Farbmesser, der jede Farbe zahlenmäßig festzustellen erlaubt, dürfte besonders für die Farbenchemie, die Färberei, die Textil- und Papierindustrie, für die Herstellung von Farbgläsern und die Farbenphotographie von Nutzen sein.

Über das optische Verhalten dünner Metallschichten hat K. Försterling eine Theorie entwickelt, nach der sich der Brechungs-exponent n und der Absorptionsexponent k zugleich mit der Schichtdicke d aus dem Polarisationszustand des reflektierten und durchgegangenen Lichts berechnen lassen. Frau N. Galli untersuchte Schichten von Silber, Gold, Palladium und Platin und fand auch eine Abhängigkeit jener Konstanten von der Dicke, ohne jedoch die Gesetzmäßigkeit bestimmt feststellen zu können. Sehr eingehende Versuche mit Kupfer stellte W. PLANCK an.³⁾ Die Schichten wurden durch Kathodenzerstäubung auf Glas hergestellt und von beiden Seiten mit einem Fueßschen Polarisationsphotometer untersucht; n , k und d wurden nach der Försterlingschen Theorie berechnet. Die Abhängigkeit der Größen n und k von d gehen aus der graphischen Darstellung deutlich hervor; auch die in den Drudeschen Formeln ausgedrückten Funktionen $n^2 - k^2$ und $2nk$ zeigten eine deutliche Abhängigkeit von der Dicke. Die Theorie des Verf. führt zu dem Schlusse, daß die freien Elektronen des Metalls um so mehr ihren Einfluß auf die optischen Erscheinungen verlieren, je dünner die Schicht ist. Genauere Angaben über die Abhängigkeit der optischen Konstanten von der Schichtdicke machte W. FRITZE, der die Untersuchungen sowohl mit der

Försterlingschen als auch mit anderen Methoden bei Silber und Kupfer ausführte.³⁾ Nach ihm nimmt n bei Silberschichten im Intervall von 0,6—105 μ mit zunehmender Dicke stetig ab, während k in geringerem Maße zunimmt. Beide Konstanten nähern sich bei einer bestimmten Grenzdicke den Konstanten des massiven Metalls (von 105 μ Dicke an), wie durch Vergleich mit der Drudeschen Reflexionsmethode festgestellt wurde. Bei Kupfer war eine so starke Abhängigkeit wie bei Silber nicht wahrzunehmen. Die Silber- und Kupferschichten zeigten in allen Dicken dieselbe normale bzw. anomale Dispersion wie die massiven Metalle. Silberschichten zeigten ferner dieselben Konstantenwerte, mochten sie durch Kathodenzerstäubung oder auf chemischem Wege hergestellt sein. Die Hagen-Rubenssche Methode der Bestimmung von k geht von der Annahme aus, daß k von der Dicke unabhängig ist, kann also nicht zu richtigen Ergebnissen führen. Auch die Kundtsche Prismenmethode zur Bestimmung von n führt bei Silber und Kupfer nicht zu den richtigen Werten.

Das Reflexionsvermögen einiger Lösungen im ultraroten Spektrum untersuchte F. GEHRTS.⁴⁾ Die Versuchsanordnung war die von Rubens und Ladenburg. Das Licht einer Nernstlampe wurde nach Reflexion an der zu untersuchenden Fläche mit Hilfe eines Hohlspiegels auf den Spalt eines Spektrometers und nach der Zerlegung durch einen zweiten Hohlspiegel auf die Lötstelle eines Mikroradiometers geworfen. Zum Vergleich diente ein Silber-spiegel (Reflexionsvermögen = 100). Die Messungen von 1 bis 7 μ wurden mit dem Flußspatprisma, die von 7 bis 11,5 μ mit dem Steinsalzprisma gemacht. Bei reinem Wasser zeigte die Reflexionskurve im wesentlichen denselben Verlauf wie bei Rubens und Ladenburg: 2 Maxima bei 3,2 μ und bei 6,2 μ . Das Wassermaximum war auch bei den Lösungen zu bemerken. Eine 65prozentige Lösung von Ammoniumnitrat hatte bei 7,5 μ , eine Lösung von Silbernitrat bei 7,65 μ ein Maximum. Eine Lösung von Kaliumkarbonat hatte das Maximum bei 7,3 μ , Kadmiumsulfat und Ammoniumsulfat bei 9,1 μ , Kaliumchromat bei 11,4 μ . Die zum Vergleich herangezogenen Reflexionskurven der gleichen geschmolzenen Substanzen (nach Beobachtungen von Pfund) zeigen einen ähnlichen Verlauf; doch verschiebt sich das Reflexionsmaximum beim Übergang in Lösung etwas nach der Seite der längeren Wellen. Änderung der Konzentration war von erheblichem Einfluß. Mit zunehmender Konzentration verbreitert sich

³⁾ Phys. Ztschr. 15, 563 (1914).

³⁾ Ann. d. Physik, 47, 763 (1915).

⁴⁾ Ann. d. Physik 47, 1059 (1915).

die ganze Bande, das Minimum wird tiefer, das Maximum höher und beide rücken nach der Seite der kürzeren Wellenlänge. Letzteres läßt sich durch das Anwachsen des Extinktionskoeffizienten erklären. Die Erscheinungen sind im Einklang mit der Drudeschen Dispersionstheorie. An den wässerigen Lösungen einiger organischer Salze wurden folgende Reflexionsmaxima gefunden: Kalium- und Ammoniumrhodanit 4,95, Kaliumformiat 6,3 und 7,5, Ammoniumformiat 6,35 und 6,9. Natriumformiat 6,3 und 7,6, Kalium- und Natriumazetat 6,45 und 7,15. Auch bei organischen Salzen besitzen die Salze derselben Säure im wesentlichen dieselben Reflexionsmaxima. Die dem Säureradikal organischer Salze entsprechenden Eigenschwingungen scheinen auch bei den entsprechenden Estern aufzutreten.

Die von Lenard entdeckte Ozonisierung des Sauerstoffs durch ultraviolette Bestrahlung hat E. WARBURG dadurch ergiebiger gemacht, daß er die Strahlung auf flüssigen Sauerstoff oder flüssige Luft wirken ließ.⁵⁾ Die letztere befand sich in einem Quarzrohrgläse, das gasdicht in ein weiteres Glasgefäß eingesetzt war; um das Beschlagen des Quarzrohrs zu verhindern, wurde die Luft zwischen beiden Gefäßen von Kohlensäure und Wasserdampf befreit. Das Glasgefäß enthält zwei gegenüberliegende Fenster von Bergkristall, durch dessen eines das Licht einer Zinkfunkenstrecke auf die im Quarzrohr befindliche flüssige Luft konzentriert wurde. Das Absorptionsspektrum war ähnlich dem von Liveing und Dewar beschriebenen Absorptionsspektrum des komprimierten Sauerstoffs. Die Ozonisierung machte sich bald durch den Geruch und die Bläuung von Jodkaliumstärke bemerkbar. Die bei 8 ccm Flüssigkeit gemessene Ozonmenge betrug bei Sauerstoff 1,63, bei Luft 1,44 mg. Das Ozon war auch durch die Veränderung der Absorption der Flüssigkeit nachzuweisen.

Die kürzesten ultravioletten Wellen hatte bisher Schumann mit dem Vakuumspektrographen und gelatinefreien Platten bei 1230 Å.E. gefunden. TH. LYMAN konnte noch kleinere Wellen beobachten.⁶⁾ Sein Vakuumspektrograph bestand aus einem mit Wasserstoff von 2—3 mm Druck gefüllten Messingrohr, in dem sich ein Beugungsgitter befand. Die elektrische Entladung erfolgte in einem in das Messingrohr eingesetzten Quarzrohr, das nach dem Spalt hin offen war, so daß das Wasserstofflicht keinen festen Körper zu passieren hatte. Die Spektrallinien wurden

⁵⁾ Verh. d. Deutschen Phys. Ges. 17, 194 (1915).

⁶⁾ Proc. Amer. Nat. Ac. 1, 364; Die Naturwissenschaften 3, 621 (1915).

mit einer Schumannschen gelatinefreien Platte photographiert. LYMAN gelangte so bis 900 Å.E., wo die Absorption des Wasserstoffs merklich wird. Vorherrschend war die Wasserstofflinie 1216 Å.E.; sie mit der Linie 1026 und 972 bilden drei Glieder einer von Ritz vorausgesetzten Serie. Wurde der Wasserstoff durch Helium ersetzt, so erreichte der Verf. die kürzeste Linie bei 600 Å.E.

Eine neue Lumineszenz an Calciumpräparaten entdeckte DONAU.⁷⁾ So luminesziert Kreide mit bläulichgrüner Farbe, wenn sie mit einer Wasserstoffflamme gespült wird. Reines Calcium zeigt die Erscheinung nicht; auch tritt sie nicht auf, wenn man eine Spiritus-, Benzin- oder Kohlenoxydflamme benutzt. Spuren von Wismutsalzen bedingen eine cyanblaue, Mangansalze eine mattgelbe Lumineszenz. Ein Milligramm einer 0,00001 prozentigen Wismutlösung genügt, um Calcit zum Leuchten zu bringen; es ist also die empfindlichste chemische Reaktion. Unter dem Einfluß der Kathodenstrahlen leuchtet verunreinigter Calcit im Vakuum in ähnlicher Weise.

Die von E. C. C. BALY entwickelte Theorie, nach der die „geschlossenen“ Kraftfelder der Moleküle durch Lösungsmittel „geöffnet“ werden können (diese Ztschr. 27, 253) führt zu der durch die Beobachtung bestätigten Folgerung, daß Stoffe in verschiedenen, die Felder in verschiedenem Grade „öffnenden“ Lösungsmitteln verschiedene Absorptionsstreifen besitzen können. Hieraus gelangte BALY weiterhin zu einer Beziehung zwischen Absorption und Fluoreszenz.⁸⁾ Sind z. B. λ_1 die Wellenlänge eines Absorptionsstreifens in alkoholischer, λ_2 , λ_3 die Wellenlängen von Streifen derselben Substanz in anderen, die Felder weiter öffnenden Lösungen, so kann man erwarten, daß während der Absorption von λ_1 auch λ_2 , λ_3 in Aktion gesetzt werden, d. h. daß Fluoreszenz von λ_2 , λ_3 eintritt. In der Tat fand der Verf., daß das von verschiedenen Stoffen in alkoholischer Lösung ausgesandte Fluoreszenzlicht gleich ist dem von den in Schwefelsäure gelösten Stoffen absorbierten Licht. Ebenso war die Wellenlänge des von alkoholischen Lösungen der Aminoaldehyde und -ketone ausgesandten Fluoreszenzlichts dieselbe wie die des von diesen, bei geringem Zusatz von Wasserstoffchlorid, absorbierten Lichts. In einigen Substanzen, die mehrere Absorptions- und Fluoreszenzmaxima zeigen, war die Differenz zwischen diesen Maximis konstant. Diese Konstanz begründete der Verf. aus der Quantentheorie und

⁷⁾ Die Naturwissenschaften 3, 506 (1915).

⁸⁾ Phil. Mag. 27, 632 (1914).

kam dabei zu dem Resultat, daß die Differenzen zwischen den Frequenzen der Absorptionslinien gleich der Frequenz der ultraroten Schwingung sein müssen, was in verschiedenen Fällen bestätigt wurde. Nach einer experimentell bestätigten Theorie von Bjerrum besteht ferner das Absorptionsspektrum im kurzwelligen Teile des Ultrarot aus einer Reihe von Maximis, die symmetrisch um eine Linie der Schwingungszahl ν angeordnet sind, wo ν die charakteristische Frequenz der Atome im Molekül ist, während jedes Paar der Maxima einer bestimmten Rotationsfrequenz der Moleküle entspricht. Nach Baly entsprechen diesen Streifen im Ultrarot ebensolche auf Elektronenschwingungen beruhende Streifen im Ultraviolett, die sich auch um eine charakteristische mittlere Schwingungszahl gruppieren. Dieselbe Struktur würde auch für die Fluoreszenzstreifen gelten. Die Frequenzen der zentralen Linien der Absorptions- und der Fluoreszenzmaxima sind ferner ganzzahlige Vielfache der Frequenz der ultraroten Streifen, was auch bei einer Reihe von Stoffen bestätigt gefunden wurde.⁹⁾

Die „Feinzerlegung“ der Wasserstofflinien im elektrischen Felde durch J. Stark (diese Ztschr. 27, 252) wurde von ihm noch genauer beschrieben und diskutiert.¹⁰⁾ Während im Zeemaneffekt die magnetischen Komponenten einer Linie alle die gleiche Intensität haben, waren im elektrischen Effekt die Komponenten von sehr verschiedener Intensität. Die Höchstpunkte in den Schwärzungen der Komponenten bei der Grobzerlegung entsprachen den intensivsten Komponenten bei der Feinzerlegung. Die Abstände der Komponenten von der unzerlegten Linie waren proportional der Feldstärke. Die Komponenten lagen ferner stets symmetrisch zu der unzerlegten Linie. J. Stark folgert aus seinen Beobachtungen, daß die Anordnung und das Intensitätsverhältnis im elektrischen Komponentensystem einer Serienlinie des Wasserstoffs bedingt ist durch die Struktur des Atoms, bezw. durch die räumliche Anordnung der negativen Elektronen. Während im nichtdeformierten Atom alle Elektronen dieselben Freiheitsgrade haben, auch ein magnetisches Feld das Atom nicht merklich deformiert, werden in einem elektrischen Felde für eine Anzahl Elektronen einer Serienlinie die Freiheitsgrade hinsichtlich der Frequenz und der Intensität voneinander verschieden.

Durch die Anordnung der Elektronen eines Atoms kann dieses zu einem elektrischen Dipol mit einer elektrischen Hauptachse und einem

elektrischen Moment gemacht werden, das durch ein äußeres elektrisches Feld beeinflusst werden muß. Die Intensität der von den Elektronen veranlaßten Lichtemission wird ferner durch die Lage der Elektronenschwingung zu jener elektrischen Hauptachse beeinflusst werden können, so daß z. B. nur die Schwingungen parallel oder senkrecht zur Hauptachse Licht emittieren. Werden in einem elektrischen Felde die Atome infolge ihres elektrischen Moments parallel gestellt, so können die Zentren gewisser Serienlinien auch zu Schwingungen parallel der Feldachse gebracht werden; d. h. die Serienlinien werden im elektrischen Felde auch ohne merkliche Zerlegung polarisiert erscheinen. Stark fand diese elektrische Polarisierung bei der dritten Nebenserie des Lithiumspektrums¹¹⁾. Die Emission der Linien wurde dadurch bewirkt, daß Kanalstrahlen gegen eine ebene Schicht von Chlorlithium auf einer Hilfelektrode hinter der Kathode geworfen wurden; zwischen diesen beiden im Gebiet der Li-Emission wurde das elektrische Feld erzeugt. Die Linien, von den Wellenlängen 4636, 4147, 3923, wurden unter dem Einfluß des elektrischen Feldes nicht in mehrere *p*- und *s*-Komponenten zerlegt, sondern ohne Zerlegung lediglich nach den längeren Wellen verschoben. Die Verschiebung der Linie $\lambda = 4636$ war nur gering; dagegen erreichte bei einer Feldstärke von 80 000 Volt/cm die Verschiebung von $\lambda 4147$ den Betrag von 7,8 Å., die von $\lambda 3923$ den Betrag von 16 Å. Die Polarisation der Linien wurde mit der schon früher bei Kanalstrahlen angewandten Methode — Ermittlung des Verhältnisses J_p/J_s der Intensitäten parallel und senkrecht zum Felde polarisierter Komponenten (diese Zeitschr. 28, 156) — bestimmt. Die Linie 4636 ergab bei einer Feldstärke von 20 800 Volt/cm $J_p/J_s = 2,0$, bei 57 200 Volt 3,0; die Linie 4147 bei 14 300 Volt 1,4, bei 57 200 Volt 2,2. Für beide Linien zeigt sich also eine Zunahme der *p*-Polarisierung mit wachsender Feldstärke. Außer der Verschiebung und Polarisation zeigten dieselben Linien unter dem Einfluß des elektrischen Feldes auch eine erhebliche Zunahme ihrer Intensität. So blieben bei einer bestimmten Versuchsanordnung die Linien 4636 und 4147 bei der Feldstärke 0 nach 10 stündiger Belichtung auf der photographischen Platte noch unsichtbar. Bei einer Feldstärke von 14 000 Volt/cm bewirkten die Linien bei 10 stündiger Belichtung eine normale Schwärzung der Platte, bei 80 000 Volt erschienen die Linien auf der Platte schon nach 1 Stunde Belichtung überbelichtet. Aus den beobachteten

⁹⁾ Phil. Mag. 29, 223; Beibl. 39, 384 (1915).

¹⁰⁾ Ann. d. Physik 48, 210 (1915).

¹¹⁾ a. a. S. 210.

Erscheinungen ist zu folgern, daß die Lithiumatome im Zustand der Emission ihrer Serienlinien ein elektrisches Moment besitzen und daß in ihnen die Zentren der dritten Nebenserie überwiegend für Schwingungen parallel der elektrischen Atomhauptachse Licht emittieren, und zwar um so mehr, je stärker das Feld ist. Die Einwirkung solcher „einachsige strahlender“ Elektronen auf die Atomrotation veranlaßt dann, wie der Verf. zeigt, auch eine Zunahme der Lichtintensität mit der Feldstärke.

Während die Komponenten der durch das elektrische Feld zerlegten Wasserstofflinien stets symmetrisch zu der unzerlegten Linie lagen, fand J. KOCH, daß die Linien des Heliums, auf welche das Feld ebenfalls einwirkt, dissymmetrisch gelegene Komponenten besitzen. Ferner entdeckte KOCH beim Helium auch eine dritte Nebenserie, die in ihren Eigenschaften ganz der dritten Nebenserie des Lithiums entspricht¹²⁾. Die Emission der Heliumlinien wurde in der Stärkschen Anordnung durch Kanalstrahlen bewirkt, das elektrische Feld in gleicher Weise eingeschaltet. Die Aufnahmen wurden mit sehr lichtstarken Spektrographen bei großen Feldstärken (bis 100 000 Volt/cm) vorgenommen. Die Linien liegen bei $\lambda = 6060, 4518,77$ und $4046,02$ Å.E. und bilden die drei ersten Glieder einer Ritzschen Kombinationsserie; ihre Wellenlängen lassen sich aus denjenigen der Grundschwingungen und einzelner Glieder der Prinzipalserie berechnen. Die beiden Linien 4518 und 4046 waren in hohem Maße polarisiert, und zwar war auch hier J_p viel intensiver als J_s . Ebenso wuchs die Intensität der Linien mit der Feldstärke; ohne Feld waren sie gar nicht bemerkbar. Doch wurde die dritte Helium-Nebenserie durch das elektrische Feld nicht in demselben Maße verstärkt als die dritte Lithium-Nebenserie, woraus folgen würde, daß das elektrische Moment des He-Atoms im Zustand der Serienemission kleiner ist als das des Li-Atoms. Daß aber auch das He-Atom die neuen spektralen Eigenschaften zeigt, beweist, daß diese in einer Eigenart der Atomstruktur begründet sind, die bei mehreren chemischen Elementen wiederkehrt.

Schk.

Über Lumineszenz. Auf der Versammlung der amerikanischen physikalischen Gesellschaft, die Ende Dezember 1914 in Philadelphia stattfand, gab ERNEST MERRITT einen Überblick über den gegenwärtigen Stand der Forschung auf dem Gebiete der Lumineszenz. Der genannte Physiker, der selbst eine nicht geringe Anzahl von

Untersuchungen auf diesem Forschungsgebiet ausgeführt hat und zu seinen genauesten Kenntnissen gerechnet werden muß, hat seinen Vortrag in der *Physical Review* (5, 2. Reihe, 319–334, 1915) veröffentlicht. Aus seinen Ausführungen sollen im folgenden die wesentlichsten Punkte wiedergegeben werden.

Die Lumineszenzerscheinungen lassen sich in zwei Klassen einteilen, je nachdem zu ihrer Deutung die Kenntnis gewisser Beziehungen zwischen den Molekeln der lumineszierenden Stoffe ausreicht, ohne daß eine Hypothese über den Mechanismus der Lichtemission erforderlich ist, oder ihre Erklärung nicht ohne eine derartige Hypothese und damit ohne bestimmte Annahmen über die Atomstruktur möglich ist. Zu den Erscheinungen der ersteren Art gehören die Phosphoreszenz, die Chemilumineszenz und der Einfluß der Temperatur auf beide, zu denjenigen der zweiten Art ist der Zusammenhang zwischen Lumineszenz und Absorption, sowie der Einfluß der Erregungsart auf den Charakter des emittierten Lichtes zu rechnen. Eine scharfe Trennung beider Gruppen ist allerdings nicht immer möglich.

Daß ohne die Zuhilfenahme irgendeiner Theorie lediglich durch Experimentieren auf dem Gebiete der Lumineszenzforschung wichtige Fortschritte möglich sind, zeigt sich am deutlichsten an den Phosphoreszenzerscheinungen. Seitdem erkannt worden ist, daß die Fähigkeit der Phosphoreszenz nicht den reinen Verbindungen (z. B. den Sulfiden der Erdalkalimetalle) zukommt, sondern daß mit diesen vermeintlichen Trägern der Phosphoreszenzerscheinungen eine in der Regel äußerst kleine Menge einer „aktiven Substanz“ in innige Berührung gebracht werden muß, so daß eine feste Lösung entsteht (s. diese Zeitschr. 23, 48), ist es den Bemühungen mehrerer Forscher (Lenard und Klatt, Wiedemann und Schmidt) gelungen, durch Änderung der Zusammensetzung Phosphore von den verschiedensten Eigenschaften herzustellen (auch die vielbenutzte Sidotblende ist ein künstliches Präparat, nämlich Zinksulfid mit einem geringen Gehalt an Mangan oder Kupfer). Andererseits hat sich gezeigt, daß es sehr schwierig ist, ein Salz so rein herzustellen, daß es keine Spur von Phosphoreszenz zeigt, namentlich dann, wenn es durch Kathodenstrahlen erregt wird. Als Waggoner (*Physical Review* 27, 209, 1908) von Phosphoreszenz freies Kadmiumsulfat in zweimal destilliertem Wasser, welches über Nacht in einer Glasflasche gestanden hatte, löste und die Lösung zur Trockne verdampfte, zeigte der Trockenrückstand eine sehr starke Phosphoreszenz, offenbar weil er nannmehr Stoffe enthielt,

¹²⁾ Ann. d. Physik 48, 98, 1915.

die von dem Wasser aus der Glassubstanz gelöst worden waren. Auch die Phosphoreszenz der Mineralien ist an das Vorhandensein von Verunreinigungen (wahrscheinlich von einigen der seltenen Erden) gebunden. Eine Ausnahme scheinen nur die Uransalze zu bilden, deren von der Natur des Säurerestes vollständig unabhängige Phosphoreszenz nur durch das Vorhandensein des Uranylradikals (UO_2) bedingt wird. Vielleicht ersetzt aber in diesem Falle ein Produkt des radioaktiven Zerfalls die sonst vorhandene Beimengung.

Nach einer von E. Wiedemann im Jahre 1889 (*Annalen d. Physik* **37**, 177) aufgestellten Hypothese, die inzwischen seitens verschiedener Physiker mehr oder weniger modifiziert worden ist, beruhen die Lumineszenzerscheinungen darauf, daß eine Verbindung unter der Wirkung des erregenden Agens aus dem beständigen Zustand A in den unbeständigen B übergeht. Ist die Rückkehr in den Zustand A von einer Lichtentwicklung begleitet, so wird Phosphoreszenz beobachtet. Die Fluoreszenz kann von Schwingungen herrühren, die während der Umwandlung $A \rightarrow B$ erregt werden, oder daher, daß die entgegengesetzte Umwandlung ($B \rightarrow A$) sowohl während der Erregung als während des Abklingens unter Lichtentwicklung stattfindet. Im ersteren Falle stimmt das von dem fluoreszierenden und das von dem phosphoreszierenden Körper ausgesandte Licht überein; im letzteren sehr häufig eintretenden Falle sind neben dem Phosphoreszenzlicht zukommenden Wellenlängen noch andere vorhanden und nicht selten vorherrschend, die der Umwandlung $B \rightarrow A$ entsprechen. Bei der Thermolumineszenz tritt infolge der Temperaturerhöhung eine Umwandlung ein, während deren die Molekeln so heftig erschüttert werden, daß sie Licht aussenden. Häufig ist die Thermolumineszenz sicherlich nur eine beschleunigte Phosphoreszenz, z. B. dann, wenn zwar die Umwandlung $A \rightarrow B$ bei niedriger Temperatur, die entgegengesetzte aber erst bei höherer stattfinden kann. Derartige Stoffe zeigen beim abermaligen Erhitzen die Thermolumineszenz nur dann, wenn sie zuvor aufs neue (durch Belichtung mit dem elektrischen Funken oder durch die Wirkung von Kathodenstrahlen) erregt worden sind.

Nach der Elektronentheorie kommt die Umwandlung $A \rightarrow B$ dadurch zustande, daß von der Molekel ein Elektron losgetrennt wird, dessen Wiedervereinigung mit dem Kern der Molekel die Lumineszenzerscheinung hervorruft. Von seiten der Chemiker ist man geneigt, eine chemische Umwandlung im gewöhnlichen Sinne oder auch nur eine Umlagerung in eine tautomere

Verbindung anzunehmen. Es ist sehr wahrscheinlich, daß in manchen Fällen der eine, in manchen wiederum der andere Vorgang allein vorhanden ist oder doch vorwiegt.

Zugunsten der Theorie von Wiedemann spricht die Tatsache, daß das von festen und flüssigen Körpern ausgesandte Fluoreszenzlicht stets unpolarisiert ist, gleichgültig, ob das erregende Licht natürliches oder polarisiertes war; denn die Natur des während der Umwandlung $B \rightarrow A$ ausgesandten Lichtes kann nicht von der Art und Weise beeinflußt werden, in der die Umwandlung $A \rightarrow B$ erfolgte. Die erwähnte Tatsache beweist auch zugleich, daß es sich bei der Fluoreszenz nicht um eine Resonanzerscheinung handelt. Die Gase verhalten sich allerdings anders, da nach den Untersuchungen von R. W. Wood (*Phil. Mag.* [6], **16**, 184, 1908) das von ihnen ausgesandte Fluoreszenzlicht teilweise polarisiert ist (beim Kalium- und Natriumdampf zu etwa 30 Proz.), falls zur Erregung polarisiertes Licht diente. Sonach sind Erregungs- und Emissionsprozeß in den festen und flüssigen Körpern einerseits, den Gasen andererseits anscheinend voneinander verschieden, und die von Wood und von Dunoyer gebrauchte Bezeichnung der Resonanzstrahlung für die letztere Art von Fluoreszenz ist berechtigt.

Weiter spricht zugunsten der Wiedemannschen Theorie, daß die Energieverteilung in dem Fluoreszenzspektrum von der Art der Erregung (durch Licht verschiedener Wellenlänge, Röntgenstrahlen oder Kathodenstrahlen) vollständig unabhängig ist, und daß sie während des Abklingens unverändert bleibt. Wegen der geringen Intensität der Fluoreszenzspektren läßt sich die letztere Tatsache allerdings nur sehr schwierig mit der wünschenswerten Genauigkeit nachweisen.

Für das Abklingen der Phosphoreszenz hat der Vortragende schon im Jahre 1906 (*Physical Review* **22**, 279), indem er auf den durch die Belichtung hervorgerufenen Vorgang, der nach der Wiedemannschen Theorie in der Trennung des aktiven Stoffes in zwei Teile besteht, die Gesetze der bimolekularen Reaktionen anwandte, die Formel

$$J = \frac{1}{(a + bt)^2} \quad \text{oder} \quad \frac{1}{\sqrt{J}} = a + bt$$

aufgestellt, in der J die Intensität des Phosphoreszenzlichtes t Sekunden nach dem Aufhören der Erregung bezeichnet und a und b Konstanten sind. Trägt man also die Werte von t als Abszissen, die dazu gehörenden Werte von $\frac{1}{\sqrt{J}}$ als Ordinaten auf, so sollte man eine Gerade erhalten. Dies ist auch vielfach, z. B. bei

Gasen und bei manchen festen Körpern, wie der Sidotblende, der Fall. In anderen Fällen erhält man aber zwei Geraden mit verschiedener Richtungskonstante, die durch ein ziemlich scharf gekrümmtes Stück voneinander getrennt sind. Alsdann liegen zwei Prozesse vor, die verschiedene Banden erregen. Lenard hat diese (1904) als Momentan- und als Dauerbanden unterschieden und bei seinen ausgedehnten Untersuchungen über die Phosphoreszenzspektren getrennt aufgenommen. Die Momentanbanden klingen unabhängig von der Erregungsart schnell an und ab, auch erfolgt ihr Abklingen nach Lenards Untersuchungen¹⁾ nach einem Exponentialgesetz. Das Abklingen der Dauerbanden vollzieht sich langsamer, und sie bedürfen zu ihrer Erregung vielfach einer stärkeren Intensität. Übrigens ist zu bedenken, daß die einfache Gesetzmäßigkeit des Abklinsens der Phosphoreszenz durch zwei Umstände, nämlich durch die mangelnde Homogenität der Phosphore und durch sekundäre Veränderungen, die vermutlich chemischen Charakters sind, Komplikationen erfahren kann. Da sich Veränderungen der letzteren Art bei tiefen Temperaturen naturgemäß sehr langsam vollziehen oder ganz fehlen, so ist zu erwarten, daß das oben angegebene lineare Gesetz des Abklinsens um so strenger befolgt wird, je tiefer die Temperatur des Phosphors ist. Versuche von Kennard (*Physical Review* (2), 4, 1914) haben dies am Paraffin, Kerosin und Cetylalkohol, die auf die Temperatur der flüssigen Luft abgekühlt wurden, bestätigt. Überhaupt scheinen die Bedingungen zur Untersuchung der Phosphoreszenz am günstigsten zu sein, wenn der betreffende Phosphor auf eine niedrige Temperatur abgekühlt wird, weil dann sich auch andere Einflüsse, wie seine Vorgeschichte und die Einwirkung der roten und ultraroten Strahlen, welche bei gewöhnlicher Temperatur zunächst ein starkes Wachstum der Intensität des Phosphoreszenzlichtes zur Folge hat, dem dann ein ebenso rasches Abklingen folgt, mehr oder weniger ausgeschaltet sind.

Die strenge Gültigkeit des Stokesschen Gesetzes, die man früher angenommen und die zu Versuchen geführt hat, es aus dem 2. Hauptsatz abzuleiten, besteht tatsächlich nicht (vgl. *diese Zeitschr.* 23, 49, 1910). Indes zeigt sich in denjenigen Fällen, in denen das erregende Licht langwelliger ist als das erregte Phosphoreszenzlicht, daß der Unterschied in den Wellenlängen außerordentlich klein ist. Nach der Quanten-

theorie muß die Geschwindigkeit, mit der das Elektron die aktive Molekel verläßt, von der Wellenlänge des erregenden Lichtes abhängen. Ebenso hängt die Wellenlänge des bei der Wiedervereinigung des Elektrons ausgesandten Phosphoreszenzlichtes von der Energie des zurückkehrenden Elektrons ab, die aber im allgemeinen kleiner ist als diejenige des abgespaltenen, weil dieses inzwischen einen Teil seiner Energie durch die Zusammenstöße mit anderen Molekeln verloren hat. Daher ist die Schwingungsfrequenz des Phosphoreszenzlichtes im allgemeinen kleiner als die des erregenden; sie kann aber auch größer sein, da in gewissen wiewohl seltenen Fällen durch die Zusammenstöße ein Energiezuwachs des Elektrons stattfinden kann.

Das Fluoreszenzspektrum der meisten Stoffe besteht nur aus wenigen, breiten Banden. In manchen Fällen ist die Anzahl der Banden jedoch größer. So zeigen sich beim Anthrazen deren vier oder fünf, die schon bei gewöhnlicher Temperatur eng sind und bei niedriger Temperatur noch enger werden. In dem Spektrum des Fluoreszenzlichtes der Uranylsalze (s. u., 18 Zl. weiter) beobachtet man bei gewöhnlicher Temperatur in der Regel 7 bis 8 Banden, von denen jede annähernd 100 Angströmeinheiten breit ist. Die Intensität dieser Banden wächst von der im Rot liegenden an bis zu einem Maximum, welches die im Grün gelegene erreicht, und nimmt dann wieder ab. Das Eigenjümlische dabei ist, daß die Energieverteilung innerhalb jeder einzelnen Bande diejenige der Bandengruppen genau nachahmt, so daß die Intensitätskurven für jede einzelne Bande und für die Bandengruppen einander täuschend ähnlich sind, ebenso aber auch der Intensitätskurve des Fluoreszenzspektrums des Fluoresceins, welches aus nur einer Bande besteht, oder derjenigen für die Intensitätsverteilung im Spektrum des absolut schwarzen Körpers. Bei der Temperatur der flüssigen Luft löst sich jede Bande des Spektrums der Uranylsalze in mehrere sehr enge Banden auf, die häufig so scharf begrenzt sind wie Spektrallinien, so daß das Fluoreszenzspektrum einem Linienspektrum ähnlich wird. Trägt man jedoch die Banden in einen Maßstab ein, dessen Teilstriche den Schwingungsfrequenzen entsprechen, so ist es möglich, die engen Banden in einzelne Gruppen zu ordnen, deren jede aus gleich weit voneinander entfernten Linien besteht. Bisweilen lassen sich auch die Linien des Absorptionsspektrums in ähnliche Gruppen mit kürzeren oder auch mit den gleichen Zwischenräumen anordnen. Im ganzen sind die Beziehungen zwischen Absorptions- und Fluoreszenzspektrum noch wenig geklärt. Bei der oben erwähnten

¹⁾ Vgl. dazu namentlich Sitzungsber. d. Heidelberger Akad., Math.-naturw. Kl., Abt. A, 1914, 13. Abh.

Fluoreszenz des Natriumdampfes, die R. W. Wood als Resonanz bezeichnet hat, ist es ihm gelungen, durch die eine der beiden Linien, aus denen die *D*-Linie des Natriumdampfes besteht, Fluoreszenzlicht zu erzeugen, welches sich ebenfalls nur aus dieser Komponente des Dublets zusammensetzt. Erregt man die Fluoreszenz des Natriumdampfes aber durch eine der ultravioletten Linien des Natriumspektrums (λ 3303), so zeigen sich, wie R. J. Strutt vor kurzem nachgewiesen hat, sowohl die D_1 - als die D_2 -Linie.

Zwischen dem Fluoreszenzspektrum der auf tiefe Temperaturen abgekühlten Uranylsalze und dem Resonanzspektrum der Gase bestehen offensichtliche Ähnlichkeiten, die darauf schließen lassen, daß in beiden Fällen die Fluoreszenz unter besonders einfachen Bedingungen erregt wird. Indes sind die in dieser Beziehung vorliegenden Versuchsergebnisse für allgemeine Schlußfolgerungen noch viel zu wenig umfangreich.

Der Vortrag schließt mit einem Hinweis darauf, daß das Studium der Lumineszenzerscheinungen möglicherweise zu einer Kenntnis des Mechanismus der Lichtemission führen wird, weil in der Photolumineszenz der einzige Fall vorliegt, bei dem sich die Art der Lichterregung definieren und kontrollieren läßt, namentlich,

wenn sie durch Kathodenstrahlen oder durch monochromatisches Licht erfolgt. Diese Art der Erregung verhält sich in bezug auf die Einfachheit der Bedingungen, unter denen sie stattfindet, zu derjenigen, wie sie durch eine Flamme, den Lichtbogen oder den elektrischen Funken erfolgt, „wie der Klang einer Stimmgabel zu dem Heulen des Mobs“. Das Spektrum photolumineszierender Körper ist gewiß keineswegs einfach. Es gibt aber Spektren von Stoffen, wie z. B. von den oben erwähnten Uranylsalzen, denen gegenüber Balmers Linienserien als etwas recht Kompliziertes anzusehen sind, und die Hoffnung, daß vielleicht die von den kurzwelligsten Strahlen, den Röntgenstrahlen, erzeugten Spektren besonders einfache Verhältnisse darbieten würden, scheint sich nicht zu erfüllen. Nimmt man an, daß die Lumineszenzerscheinungen durch die Schwingungen der Valenzelektronen, die X-Strahlen dagegen durch diejenigen der Atomkerne hervorgebracht werden, so ist zu erwarten, daß das Studium der Lumineszenzspektren und der Spektren der kurzwelligen Strahlen das Eindringen in die Kenntnis der Atomstruktur vermitteln wird: durch das erstere erzwingen wir den Eintritt in die Außenwerke, durch das letztere denjenigen in die Zitadelle. *Bgr.*

3. Geschichte und Erkenntnistheorie.

Zwei geschichtliche Bemerkungen. Von R. Winderlich (Oldenburg i. Gr.). (Originalbericht.)

1. Zur Entdeckung des roten Phosphors. Es ist eine weit verbreitete Ansicht, daß Schrötter im Jahre 1845 den roten Phosphor entdeckt habe, oder vielmehr nachgewiesen habe, daß der rote Stoff eine besondere Abart des gewöhnlichen gelben Phosphors sei. [Vergl. diese Zeitschr. 11, 241.] Diese Meinung beruht auf einem Irrtum. Wahrscheinlich ist Berzelius der Entdecker, denn in seinem Jahresbericht 23, 51, der in deutscher Übersetzung 1844 erschien und bereits im März 1843 in schwedischer Sprache der Akademie in Stockholm eingereicht war, heißt es: „Der Phosphor hat bekanntlich mehrere allotropische Modifikationen, von denen die vorzüglich charakteristischen sind: 1. Der Phosphor in seiner gewöhnlichen Form, in der er ungefärbt, durchsichtig und in der Kälte kristallinisch ist, sowie ausgezeichnet durch seine rauchende, langsame Oxydation an der Luft, und 2. die rote Modifikation, in welche er durch Einwirkung des Sonnenlichtes über-

geht, selbst im luftleeren Raume des Barometers; derselbe raucht und oxydiert sich nicht in der Luft und kehrt durch Destillation in seine gewöhnliche Form wieder zurück.“

In der fünften Auflage des „Lehrbuches“ I, 193 [erschieden 1843] steht bei der Beschreibung des roten Phosphors nichts von Rückverwandlung in gelben, und die ganze Darstellung läßt darauf schließen, daß Berzelius sich hier noch nicht über die Tatsache einer besonderen Modifikation klar war.

Schrötters Verdienst braucht deshalb nicht geschmälert zu werden, denn dieser zweite, offenbar unabhängige Entdecker hatte die Tragweite seiner Entdeckung besser erkannt, während Berzelius seine Angaben nur ganz beiläufig machte. Auf die beim alternden Berzelius mangelnde Hervorhebung der Wichtigkeit ist es wohl zurückzuführen, daß E. v. Meyer in seiner Geschichte der Chemie (4. Aufl. S. 372) schreibt: „Die Umwandlung des gewöhnlichen Phosphors in den roten beobachtete schon Berzelius, entdeckte erst mit Sicherheit Schrötter.“

2. Die Entdeckung des Satzes von der Ausströmungsgeschwindigkeit der

Gase aus engen Öffnungen wird gewöhnlich Bunsen zugeschrieben, zuweilen findet man auch einen Hinweis auf Graham. In Wahrheit der Satz viel älter. In einer Arbeit, die 1806 in den Mémoires de la Société d'Arcueil erschien, schrieb Gay-Lussac: „Wenn zwei elastische Flüssigkeiten“ [das sind Gase], „die unter einerlei Druck sind, durch zwei kleine Öffnungen von gleicher Größe entweichen, so

geschieht das mit Geschwindigkeiten, welche in dem verkehrten Verhältnisse der Quadratwurzeln ihrer Dichtigkeiten stehen.“ Er fügt hinzu, daß Leslie auf diesen Satz „eine sehr elegante Methode, die spezifischen Gewichte der elastischen Flüssigkeiten zu bestimmen“ gegründet habe. Einen Auszug aus dieser Arbeit findet man in Gilberts Annalen (1808) 30, 259.

4. Unterricht und Methode.

Die Entwicklung der chemischen Schülerübungen (Originalbericht).

Seit dem letzten zusammenfassenden Bericht in dieser Zeitschrift (26, S. 54 und 191) ist eine ansehnliche Reihe von Arbeiten erschienen, teils selbständige Schriften, die unmittelbare Anweisungen für Schülerübungen darbieten, teils Zeitschriften-Aufsätze, die mehr grundsätzliche Meinungsäußerungen über die Schülerübungsfrage enthalten, zuweilen aber auch Material für die Schülerübungen selbst liefern. Die erste Gruppe von Arbeiten wurde bereits im vorigen Heft dieser Zeitschrift (28, 342) in dem Sammelbericht „Neuere Literatur für praktische chemische Übungen“ betrachtet. Die dort gegebene Übersicht bildet einen integrierenden Teil des vorliegenden Berichtes und ist noch durch die Erwähnung zweier weiterer Arbeiten zu ergänzen. (1) Das „Chemische Praktikum“ von R. HERZ ist in diesem Heft (S. 53) angezeigt. (2) Die „Methodik des chemischen Unterrichts“ von K. SCHEID ist in dieser Zeitschrift bereits eingehend besprochen worden (27, 133); sie ist aber in diesem Zusammenhange noch einmal zu erwähnen, da in ihr die verbindlichen Schülerübungen zur Grundlage des ganzen chemischen Unterrichts gemacht sind.

Der vorliegende Bericht hat sich mit den das Thema der chemischen Schülerübungen behandelnden Zeitschriftenaufsätzen, Vorträgen und ähnlichen Veröffentlichungen zu beschäftigen. Nur hinzuweisen brauchen wir erstens auf den in dieser Zeitschrift (26, 317) ausführlich wiedergegebenen Vortrag von W. END-München: „Der physikalisch-chemische Unterricht an den bayrischen Realanstalten“, in welchem die engste Verknüpfung von Unterricht und Übung befürwortet wird; zweitens auf die verdienstlichen statistischen Zusammenstellungen von W. BRÜSCH-Lübeck in dem Vortrag: „Chemische und physikalische Schülerübungen auf allen Klassenstufen des Realgymnasiums“ sowie in der Programmabhandlung: „Die Einführung und Durch-

führung der in den Unterrichtsgang eingefügten chemischen und physikalischen Schülerübungen“, diese Zeitschrift 26, 382 und 398. Etwas eingehender ist ein Aufsatz von K. WÖRNER-Frankfurt a. M.¹⁾ zu betrachten, der gegenüber der Eingliederung der chemischen Übungen in den Klassenunterricht einen ablehnenden Standpunkt einnimmt. An der Anstalt des Verfassers sind die drei auf der Oberstufe verfügbaren chemischen Stunden so verteilt, daß in zwei Stunden obligatorisch praktisch gearbeitet wird, und in der dritten Wochenstunde Klassenunterricht stattfindet (ein fakultatives Praktikum ist anscheinend nicht vorhanden). Dieses Verhältnis (2:1) hält der Verfasser für unrichtig und vergleicht eigentümlicherweise den einstündigen chemischen Klassenunterricht mit dem einstündigen geographischen Unterricht. Jedenfalls wird dem Demonstrationsunterricht stark das Wort geredet. In sehr bedenklicher Weise wird dagegen der Wert der chemischen praktischen Übungen herabgesetzt.

Dem Aufsatz, dessen Erscheinen wir im Interesse der Fortentwicklung der chemischen Schülerübungen lebhaft bedauern, ist bereits verschiedentlich kurz entgegengetreten worden. Eine ausführlichere Widerlegung ihrer Hauptpunkte hat Referent in derselben Zeitschrift gegeben.²⁾ Indem wir einige Sätze daraus wiedergeben, wird gleichzeitig der Inhalt der Wörnerschen Schrift näher gekennzeichnet: (S. 118) „So wird behauptet, „der Glaube, daß das auf solche Art (nämlich durch praktisches Arbeiten) Errungene treu und unverlierbar im Gedächtnis haften“, stelle sich als „grober Irrtum“ heraus; es seien vielmehr „nach einiger Zeit ganz auffallend alle Eindrücke völlig ver-

¹⁾ K. Wörner, Chemische Übungen in der Oberrealschule, „Preußische Jahrbücher“ 151, Heft 2, S. 253/263.

²⁾ O. Ohmann, Noch einmal die chemischen Übungen an Realanstalten. „Preußische Jahrbücher“ 161, Heft 1, S. 112/122.

wischt"! Weiterhin wird als „außer Zweifel“ stehend ausgesprochen, „daß die chemischen Schülerübungen nichts Besonderes zu einer gedächtnismäßigen Einprägung enthalten“ . . . Und welcher Art ist die Begründung? Es sollen bei der Erinnerung an die Herstellung eines chemischen Präparates die „Bewegungsvorstellungen, die sich aus der Technik der Gewinnung einstellen“ — nach dem Zusammenhange sind hier Operationen wie Eindampfen, Bildung eines Niederschlages, Filtrieren u. ä. gemeint — wie eine „Wolke von Erinnerungen untergeordneter Natur“ sich mit dem Gedankengang der Darstellung und den Eigenschaften der Substanz vermischen und einen so störenden Einfluß üben, daß sie „als Unkraut der Erinnerung alle Deduktionen überwuchern“. Ja, der Verfasser versteigt sich schließlich zu dem Satze, daß diese Bewegungsvorstellungen, die sich „bei jedem Präparat, bei jeder Reaktion“ wiederholen, „keinerlei Vorstellungen anderer Art aufkommen lassen“! Wäre dem so, und wäre zudem richtig, was der Verfasser von Äußerungen auf der Pflingsttagung 1912 des Deutschen Vereins für Knabenhandarbeit und Werkunterricht zitiert, also sich zu eigen macht —: „es ist ein Trugschluß, zu glauben, das manuell Hergestellte habe besser im Gedächtnis . . .; sobald die Schüler jeden Versuch selbst machen . . ., werden die gewonnenen Erkenntnisse ebenso schnell vergessen, wie die ohne manuelle Tätigkeit vermittelten“ — dann stände es schlimm um die Schülerübungen, aber nicht nur um die chemischen, sondern auch um die physikalischen, ja um das ganze Prinzip der praktischen Selbsttätigkeit . . .

Und was hat es mit den genannten Operationen und den zugehörigen „Bewegungsvorstellungen“, die so „besonders lebensfähig“ sein sollen, weiter auf sich? Sind sie wirklich in psychischer Hinsicht ein so störendes Moment? Keineswegs. Zunächst finden selbst diese technischen, zuweilen etwas langwierigen Operationen anfänglich durchaus das Interesse des Schülers. Nach einiger Übung werden sie bald mehr und mehr beherrscht und ihrem jeweiligen Werte nach richtig eingeordnet; sie bilden wohl manchmal ein gewisses zeitraubendes Übel, andererseits aber die notwendigen Etappen bis zum Ziel, das als Hauptsache immerfort vor Augen steht und mit Spannung erwartet wird. Dann aber sind diese Dinge auch ein Stück Wirklichkeit. Es soll den jungen Leuten einmal eingehen, daß in der Wirklichkeit sich nicht alles so einfach und glatt erledigt, wie bei den reinen Gedankenoperationen und selbst bei vielen physikalischen oder gar den mathematischen Deduktionen. Der Schüler soll diese hemmenden

Faktoren gelegentlich gründlich zu kosten bekommen. Darin liegt schließlich auch in sozialer Hinsicht ein nicht zu unterschätzender Wert. Und treten diese Störungen mit den zugehörigen „Bewegungsvorstellungen“ nicht ebenso bei vielen Experimenten des Klassenunterrichts auf? Dann wäre es ja folgerichtig und an der Zeit, diese ebenfalls einzuschränken und mehr die reinen Gedankenexperimente zu pflegen. Noch einen Schritt weiter, und wir sind wieder bei der vielgenannten „Schwamm- und Kreide-Physik“ oder vielmehr „-Chemie“ angelangt.

Es entspricht nun ganz dieser Gedankenrichtung, wenn der Verfasser den praktischen Übungen gegenüber die Vorzüge des althergebrachten Klassen-Demonstrationsunterrichtes in allen Farben schildert. Wir freuen uns indessen, hier, in der Wertschätzung dieser Unterrichtsweise, mit dem Verfasser bis zu einem gewissen Grade übereinstimmen zu können.

S. 122: Den Hauptfehler der Darstellung sehen wir darin, daß eine Einrichtung, die nur für eine beschränkte Zahl von Anstalten zutrifft (das Verhältnis 2:1), als allgemeingültig angenommen und mit als Basis zu einer abfälligen Beurteilung der chemischen Übungen verwendet wird.

Ein origineller Beitrag zur Schülerübungsfrage ist ein Aufsatz „Das chemische Praktikum im Urteile der Schüler“ von G. KLATT³⁾, Görlitz. Der Verfasser überraschte eines Tages die Schüler der beiden Primen (Realgymnasium) mit der Anforderung, ihre Ansichten über die Bedeutung des chemischen Praktikums zu Papier zu bringen. Manches Interessante kam zum Vorschein. Der eine betonte, daß während man im Sprachunterricht „nur mit dem Geist aufnehmen kann“, man hier mit den Sinnen, mit Augen und Geruch arbeite. „Ein weiterer Vorteil ist der, daß jeder Schüler immerwährend beschäftigt ist, und nicht immer nur einer vom Lehrer geprüft wird.“ „Im Praktikum lernt der Lehrer die Schüler erst richtig kennen und kann bald die, welche wirkliche Kenntnisse besitzen, von denen unterscheiden, die wohl die Repetition in der Stunde glatt vortragen können, die aber doch kein eigentliches Verständnis für die Chemie haben.“ Auf einen Mangel in der Organisation des chemischen Unterrichts weist ein anderer Schüler hin: „Mir gefällt die organische Chemie, wo doch der praktische Unterricht von Anfang an mit dem theoretischen Hand in Hand geht, viel besser als die anorganische,“ und der Verfasser fügt mit Recht hinzu: „Es ist in der Tat sehr bedauerlich, daß wir

³⁾ G. Klatt in „Monatshefte f. d. naturw. Unterr.“ 7, 395/404 (1914).

in der O II die Metalloide durchnehmen müssen, ohne den Unterricht mit einem Praktikum verbinden zu können. Hoffentlich wird das bald anders.“ Ein anderes Urteil: „Wenn man die Vorgänge selbst veranlassen kann und dann sich abspielen sieht, lernt man die Zusammenhänge erst wirklich verstehen.“ Das Praktikum „erzieht die Schüler zu einer gewissen Selbständigkeit; es mahnt ihn, Vorsicht walten zu lassen . . .“ „Es werden Versuche im kleinen angestellt, die sonst unsere moderne Industrie im großen anstellt. So werden wir dem gewaltigen Arbeitsfelde der Industrie näher gebracht.“ Der Verfasser stellt fest, daß die Schüler sich „durch das Praktikum teils praktisch gefördert, teils erzieherisch beeinflußt fühlen.“ Die Bedeutung der eigenen Arbeit wird von ihnen klar erkannt; „der Gegensatz zwischen dem bloßen passiven Aufnehmen und dem selbständigen Erarbeiten⁴⁾ des Wissensstoffes hat sich ihnen in aller Deutlichkeit offenbart, und ihr Lehrmeister war — das chemische Praktikum.“

Wie bereits in dieser Zeitschrift (26, 333) kurz erwähnt, wurde das Thema der Chemischen Schülerübungen in zwei Versammlungen der Groß-Berliner Ortsgruppe des Vereins zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts behandelt. Es wurde versprochen, auf den Inhalt der Referate (von A. KRAUSE und O. OHMANN) und der Diskussion später zurückzukommen. Inzwischen ist ein ausführlicher Bericht hierüber vom Ref. erschienen⁵⁾. Wir beschränken uns daher auf die Wiedergabe einiger Sätze. Ref. gab, anknüpfend an seinen Aufsatz „Friedrich Wöhler und K. F. von Klöden in ihrem Verhältnis zu den chemischen Schülerübungen“ (vgl. diese Zeitschr. 26, 48), einen Überblick über die Entwicklung dieser Übungen. „Wir müssen nach allem annehmen, daß Wöhler — übrigens ganz unabhängig von Liebig — diese [nämlich gegenüber dem akademischen Praktikum die engeren und notwendigeren Ziele des chemischen Schulpraktikums] bereits zum großen Teil erkannt hatte. Hierauf wollen wir uns jetzt wieder besinnen und wollen stolz darauf sein, daß das Übungsverfahren bei uns autochthon ist — wir brauchen es nicht erst unter dem

⁴⁾ Die gesperrten Worte auch im Original gesperrt.

⁵⁾ O. Ohmann, Zwei Versammlungen der Berliner „Vereinigung für biologischen, chemischen und erdkundlichen Unterricht“ mit dem Thema der Chemischen Schülerübungen. B. Schmid's „Monatshefte f. d. naturw. Unterr.“, 6, Heft 6/7, 373/380 (1913).

irreführenden und hochtrabenden Namen der „praktisch heuristischen“ Methode vom Auslande zu importieren.“ „Denn gehen die praktischen Übungen in der Analyse neben dem eigentlichen Unterricht einher, so bilden sie zwar an sich immer noch etwas Nützliches, stellen aber neben dem Lehrstoff des Klassenunterrichts, der schon vielseitig genug ist, doch noch ein besonderes Unterrichtsgebiet, in gewissen Sinne eine neue Belastung des Klassenunterrichts dar. Schließen sich jedoch die Übungen unmittelbar an den Unterricht an, folgen sie ihm, soweit dies durchführbar ist, Schritt für Schritt, so vermögen sie den Unterricht nachdrücklich zu unterstützen, . . . kurz die Übungen stellen dann in gewissem Sinne eine Entlastung des Klassenunterrichts dar. — Nicht richtig wäre es dagegen, den Unterricht ganz in den Laboratoriumsübungen aufgehen zu lassen, wie dies verschiedentlich in England und Amerika . . . verwirklicht ist. Den Demonstrationsunterricht mit seinen Vorzügen der größeren Konzentration . . . wollen wir uns nicht nehmen lassen.“ Der zweite Referent, Prof. Dr. A. KRAUSE, „warf einen Blick auf die früheren unbefriedigenden Universitätspraktika, in denen die Analyse einseitig betrieben und nur selten ein Präparat für spezielle Fälle angefertigt wurde.“ „Auch später wurde an derselben Anstalt [an der Wöhler gewirkt hatte] von Rüdorff auf die Darstellung von Präparaten besonderer Wert gelegt; die analytischen Übungen bildeten mehr die Ausfüllung von Lücken, die neben jener Haupttätigkeit entstanden.“ „Bei der Anfertigung von Präparaten . . . ist Wert auf quantitatives Arbeiten zu legen; die Arbeiten von Rebenstorff, Rischbieth, Lüpke, Ohmann, Bahrdt, Müller geben hier viel Material an die Hand. Die Titrierübungen sind sehr zu empfehlen.“ „Die neueren Bestrebungen auf dem Gebiete der praktischen Schülerübungen richten sich nicht bloß gegen die einseitige Betonung der qualitativen Analyse, sondern sie wollen die Übungen zur Grundlage des ganzen chemischen Unterrichts machen. In dieser Beziehung erscheint aber nötig, Vorsicht walten zu lassen. Bei verschiedenen Vorschriften neuerer Leitfäden (Scheid, Löwenhardt) bedauert der Vortragende, nicht imstande zu sein, das Geforderte mit der gegebenen Zeit und den gegebenen Räumlichkeiten in Einklang bringen zu können.“ „Von den zur Hebung der entgegenstehenden Schwierigkeiten vorgeschlagenen Mitteln ist das eine Hilfe durch bezahlte Kräfte . . . (beim Vorbereiten, Reinigen, Abräumen usw.).“ „Ein zweites Mittel wäre eine größere Beschränkung des Stoffes; doch sei zu fürchten, daß wir schließlich die Grundlage ver-

lieren. . .“ „Gegen das dritte Mittel, Weglassung der Reaktionsübungen und der Analyse, wendet sich der Vortragende“ unter näherer Begründung seiner Ansichten. — Bezüglich der sich an beide Vorträge anschließenden lebhaften Diskussion verweisen wir auf d. a. O. und geben nur noch die Ausführungen Prof. v. HANSTEINS wieder, „daß am Königstädtischen Realgymnasium zurzeit in der I drei Arten von praktischen Übungen bestehen: physikalische, chemische und biologische, die miteinander abwechseln und an denen nahezu alle Schüler teilnehmen. Da die Stadt in entgegenkommender Weise die Teilung der beiden Primen in je vier Unterabteilungen bewilligt hat, so arbeiten immer 7 bis 8 Schüler in einer Abteilung, so daß jeder einzelne in der einen Woche an der physikalischen und chemischen, in der anderen an der biologischen Übung teilnimmt. Es wird dadurch möglich, die Übungen als Teil des Unterrichts zu behandeln und alle Versuche, die nicht besondere Vorsicht oder umfangreiche Apparate erfordern, in der Übungsstunde von den Schülern ausführen zu lassen.“ Die vom Ref. vorgelegten und von der Versammlung revidierten und angenommenen 6 Leitsätze wurden bereits in dieser Zeitschr. (26, 333) mitgeteilt.

Mit dem Unterricht in der Chemie ist die Mineralogie, einschließlich Gesteinslehre, untrennbar verknüpft. Es ist daher auch der Fortschritt auf diesen Gebieten zu gedenken. Ein „Petrographisches Vademekum“ von E. WEIN-SCHENK-München, das auf Exkursionen — die ja mit den praktischen Übungen in engem Zusammenhange stehen — gut verwendbar ist, sowie die ausgezeichnete „Anleitung zum geologischen Beobachten, Kartieren und Profilieren“ von HANS HÖFER VON HEIMHALT finden sich in diesem Heft unter den Bücherbesprechungen angezeigt. Unter dem Titel „Über die Bestimmung von gesteinsbildenden Mineralien und Gesteinen in Schülerübungen“ hat KARL SCHULZ-Berlin in Anlehnung an das Werk von L. V. Pirsson „Rocks and Rock Minerals“ eine sehr beachtenswerte Aufsatzfolge veröffentlicht⁶⁾. Es werden zwei Wege zur Bestimmung angegeben, und der Verfasser hält den einen, nämlich die „Bestimmung der gesteinsbildenden Mineralien nach äußeren Merkmalen“ (gemäß Tabelle 1 S. 338) besonders für die Schülerübungen für geeignet, da nur einfache Hilfsmittel erforderlich sind; während der andere, der „das chemische Verhalten“ (gemäß Tabelle 2, S. 405) berücksichtigt, dem Lehrer in zweifelhaften Fällen zur Ergänzung dienen soll. Eine dritte Tabelle (S. 466) behandelt die „Be-

stimmung der wichtigsten Gesteinsarten“. Wir glauben, daß in den meisten Fällen gerade auch die Bestimmung mittels chemischer Reaktionen für die Schülerübungen geeignet ist. In Tabelle 3 gehen zudem beide Verfahren von vornherein Hand in Hand. Die sehr nützliche Arbeit koinzidiert in verschiedener Hinsicht mit den Bestrebungen des Ref. in dieser Zeitschrift wo sie in seinem „Leitfaden der Chemie und Mineralogie“, in dem für eine experimentelle Behandlung der Mineralien, im Demonstrationsunterricht wie in den Übungen, nachdrücklich eingetreten wird.

Eine sehr dankenswerte Veröffentlichung ist ein Aufsatz von GREINER-Steglitz, der genaue Angaben über das vom Verfasser am dortigen Realgymnasium geübte Verfahren gibt⁷⁾. Grundsätzlich wird in gleicher Front gearbeitet, und zwar in drei Stufen. Auf der ersten Stufe werden einfache, nur kurze Zeit erfordernde Versuche obligatorisch von allen Schülern im Unterricht ausgeführt, wobei die Ergebnisse gemeinsam erörtert und notiert werden. Diese Übungen entsprechen ganz den oben erwähnten Forderungen. Auf der 2. und 3. Stufe (U I und erstes Halbjahr der O I) sind die Übungen fakultativ und finden 14-tägig zweistündig statt. Auch hier sucht der Verfasser die Übungen so einzurichten, daß sie im Zusammenhang mit dem übrigen Unterricht stehen, teils das bisher gelernte Pensum ergänzen, teils das kommende vorbereiten. Mit Recht wird besonderer Wert auf quantitative Versuche gelegt. Bezüglich aller Einzelheiten sei auf die Originalarbeit verwiesen. Dem Vorschlage des Verfassers, daß auch andere über das von ihnen geübte Verfahren nähere Mitteilungen, und zwar im Osterprogramm der Anstalt, machen möchten, können wir nur voll beipflichten; auch Veröffentlichung solcher Mitteilungen in Fachzeitschriften ist erwünscht.

Eine kurze Zusammenfassung der Bestrebungen auf dem Gebiet der chemischen Schülerübungen gab Ref. in einem Aufsatz in einem der Führer der „Bugra“ (Ausstellung für Buchgewerbe und Graphik), dieses leider durch den Krieg so arg geschädigten weitreichenden Unternehmens; er findet sich in demselben Bande, in welchem „Die physikalischen Schülerübungen“ von ERNST GRIMSEHL und „Die biologischen Schülerübungen“ von BASTIAN SCHMID behandelt sind⁸⁾. Es sei aus ihm ein besonders

⁷⁾ Greiner, Chemische Übungen am Realgymnasium. Monatshefte f. d. naturw. Unterr. 8, Heft 4, S. 218/226, 1915.

⁸⁾ O. Ohmann, Die chemischen Schülerübungen. In „Das Kind und die Schule. Aus-

⁶⁾ K. Schulz in der Zeitschr. „Aus der Natur“, 9. Jahrg., S. 336/40, 402/7, 464/70.

wichtiger Punkt herausgehoben. Bei der Erörterung der Frage der Eingliederung verbindlicher Schülerübungen einerseits und der Frage nach der Bedeutung des fakultativen Praktikums andererseits wird (S. 298) die Forderung aufgestellt: „Ohne ein bestimmtes Äquivalent — etwa für das Realgymnasium in Gestalt einer dritten wöchentlichen Unterrichtsstunde — dürfen wir die für das chemische Praktikum ausgeworfenen Wochenstunden auf keinen Fall aufgeben“. Wir kommen hiermit zu der wichtigsten Gegenwartsfrage des chemischen Unterrichts. Es droht die Gefahr, daß, veranlaßt durch zu weitgehende Übertreibung des Wertes rein oder fast rein praktischer Beschäftigung, verfügt werden könnte, das fakultative Praktikum — das vielfach mit soviel Mühen erkämpft wurde — solle aus dem chemischen Unterricht verschwinden. Wir glauben, daß weite Kreise dies als eine Vergewaltigung des chemischen Unterrichts empfinden würden. In sehr bestimmter Weise spricht sich R. WINDERLICH-Oldenburg über diese Frage aus und erklärt sich gegen das Fallenlassen der fakultativen Übungen⁹⁾; in einem neueren Aufsatz „Arbeitsunterricht“ (*Unterrichtsbl. XXI, Nr. 8, 144/147*) warnt derselbe Autor noch davor, den Arbeitsunterricht zu einseitig zu betonen, etwa den ganzen naturwissenschaftlichen Unterricht in die Übungssäle verlegen zu wollen: „Das würde ein Nachahmen angelsächsischer Zustände und ein Aufgeben unserer Stärke bedeuten, die in der Pflege der wissenschaftlichen Theorie, in der denkenden Durchdringung des Stoffes besteht.“ Wir neigen ebenfalls mehr und mehr der Ansicht zu, daß das fakultative chemische Praktikum, das ja doch zu allererst den Platz für praktische Betätigung im naturwissenschaftlichen Unterricht eroberte, überhaupt nicht aufgegeben werden darf. Vielleicht lassen sich die gegensätzlichen Bestrebungen in der Weise zum Ausgleich bringen, daß gerade in der ersten Periode des chemischen Unterrichts, da wo das eigentliche Hineinleben in den schwierigen Stoff stattfinden soll, nur allgemeinverbindliche Übungen stattfinden; mit anderen Worten, daß da ein Unterricht platzgreifen solle, der sich auf Schülerübungen aufbaut — womit noch nicht gesagt sein soll, daß der ganze Unterricht ausschließlich in das Laboratorium zu verlegen ist. Der so geartete Unterricht würde die beiden Klassen U II und O II umfassen. Durch diese eindringliche, praktische Betätigung würde

druck, Entwicklung, Bildung“. Leipzig, Dürrsche Buchhandlung. 400 S. S. 295/299.

⁹⁾ R. Winderlich, Methodik des chemischen Unterrichts. Im „Pädagog. Archiv“, 55, S. 662.

ein Grundstock geschaffen, auf dem sich weiter bauen läßt. In den beiden Primen könnte jetzt der Unterricht unter ausgiebiger Benutzung des möglichst anschaulich gestalteten Experiments, bei dem auch die Schüler zu assistentenähnlicher Mitbeschäftigung herangezogen werden können, im wesentlichen als Demonstrationsunterricht weitergeführt werden, und daneben werden alle diejenigen in ein wahlfreies, mit dem Klassenunterricht möglichst Fühlung nehmendes Praktikum versammelt, die im Hinblick auf ihren späteren ärztlichen, technischen oder anderen wissenschaftlichen Beruf oder aus Interesse am chemischen Unterricht überhaupt, weiter in die Chemie eindringen möchten. Es würde dies sich in Übereinstimmung befinden mit den in den beiden oben erwähnten „Versammlungen“ zum Ausdruck gebrachten Anschauungen sowie auch den in der oben genannten Arbeit von GREINER gekennzeichneten Bestrebungen entsprechen.

Es sei gestattet, die vorliegenden Ausführungen mit der Schlußbetrachtung jenes Bugra-Aufsatzes abzuschließen (a. a. O. S. 299): „So herrscht, trotz des noch lebhaften Widerstreites der Meinungen in einzelnen Fragen, ein reges Leben allenthalben. Aber ist nun für den naturwissenschaftlichen Unterricht mit der Erledigung der Schülerübungsfrage alles getan? Gesezt, das Ringen um all diese Tagesfragen wäre vorüber, jede Schwierigkeit ideal gelöst, das richtige Gleichgewicht überall gefunden, — sind wir nun in bezug auf die Einwirkung des naturwissenschaftlichen Unterrichts in ein neues Stadium getreten? Vermögen nun die Naturwissenschaften zu zeigen, was sie können? Weit entfernt. Das jetzige lebhafte Ringen um jene Dinge erscheint dem, der den Blick weiter vorausrichtet, klein im Vergleich zu dem, was für den naturwissenschaftlichen Unterricht zum Heile der Schule noch erstrebt werden muß. Vor 20 Jahren bereits stellte Verfasser die näher begründete Forderung auf, den naturwissenschaftlichen Unterricht durch mäßige Vermehrung der Stundenzahl aus dem Range eines einflußlosen Nebenfaches zu einem den übrigen Hauptfächern ebenbürtigen Unterrichtsfach zu erheben („Das Schicksal des chem. mineralog. Unterr.“ usw., Progr. Nr. 57, 1894). Der Ruf verhallte, wie noch mancher von anderer Seite. Was seitdem für den naturwissenschaftlichen Unterricht offiziell geschah, ist — abgesehen von den dankenswerten, aber noch ganz unzureichenden Zugeständnissen an den Biologieunterricht der Oberstufe — nicht weiter zu bewerten. Wann endlich wird der Schatz, der in einem gründlicher betriebenen naturwissenschaftlichen Unterricht

für die Gesamtausbildung des jugendlichen Geistes steckt, gehoben werden? Glücklich, wer es erlebt! Dann wird der Unterricht in den Naturwissenschaften keine Sisyphus- und Danaiden-

arbeit mehr sein, wie jetzt zumeist, sondern für Lehrer und Schüler eine Arbeit voller Befriedigung und Erfolg.“

O. Ohmann.

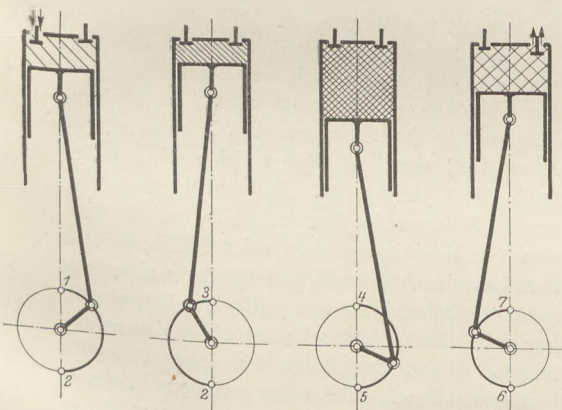
5. Technik und mechanische Praxis.

Der Gleichdruckölmotor. Über den Gleichdruckölmotor (Dieselmotor), sein Anwendungsgebiet und seine Wirtschaftlichkeit handelt B. KLAFTEN in den *Naturwissenschaften* (1914, Heft 51).

Als das auffallendste Merkmal dieser Gattung von Motoren wird das Fehlen einer abgetrennten Einrichtung zur Erzeugung des Triebstoffes bezeichnet, als nächstwichtig der Wegfall einer Kondensatoranlage und die Unnötigkeit des Wegschaffens von Rückständen, wie der Asche bei der Kohlenfeuerung. Mit den angeführten Vereinfachungen hängen zwei weitere Vorzüge zusammen, die Verminderung des Bedarfs an Bedienungsmannschaft und die große Raumersparnis der Gesamtanlage. Aus dem allen ergibt sich die hervorragende Verwendbarkeit der Verbrennungskraftmaschinen überhaupt für den Betrieb von Land-, Wasser- und Luftfahrzeugen.

Die Unterschiede des Gleichdruckölmotors von der gewöhnlichen Art der Verbrennungsmotoren (z. B. dem Automobilmotor) bestehen in folgendem. Während bei dem „Verpuffungsverfahren“ ein Gemisch von Brennstoff und Luft verdichtet und dann mit fremder Wärmequelle entzündet wird, führt man bei dem „Gleichdruckverfahren“ zunächst nur reine Luft ein, ver-

dichtet sie und preßt dann erst den Brennstoff unter gleich bleibendem Verdichtungsdruck in die durch die Kompression erhitze Luftmasse ein. Dies Verfahren hat den Nachteil, daß es einer besonderen Hochdruckpumpe bedarf, um den Brennstoff auf einen gewissen Überdruck zu bringen und ihn dann durch ein besonders gesteuertes feines Nadelventil in einem bestimmten Moment in die komprimierte Luft hineinzuspritzen. Dagegen hat es den Vorzug der Selbstentzündung, der angesichts des gelegentlichen Versagens, oder der unerwünschten, die Betriebssicherheit gefährdenden Früh- oder Spätzündung der Verpuffungsmaschinen sehr hoch einzuschätzen ist. Während vorzeitige Selbstentzündungen durch zu starke Kompression bei dem Verpuffungsverfahren vermieden werden müssen, kann man bei dem Gleichdruckverfahren Druck und Temperatur beliebig steigern. Dadurch ermöglicht man die Verwendung auch schwer entzündlicher, daher gefahrloser und billigerer Öle, ihre selbsttätige sofortige Verdampfung und vor allem ihre sofortige sichere Selbstzündung in der hohen Verdichtungswärme der Verbrennungsluft. (Die Verdichtungstemperatur steigt bis etwa 850°, die Temperatur bei der Entzündung bis gegen 1600°.)



Zu Fig. 1. 1—2 angesaugtes, 2—3 verdichtetes Gasluftgemisch, 4—5 expandierende, 6—7 ausströmende Verbrennungsprodukte.

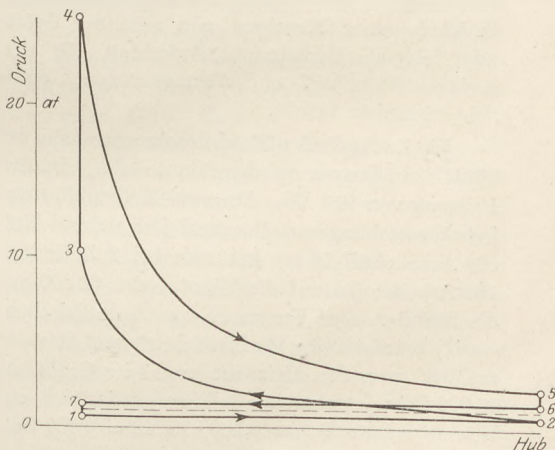
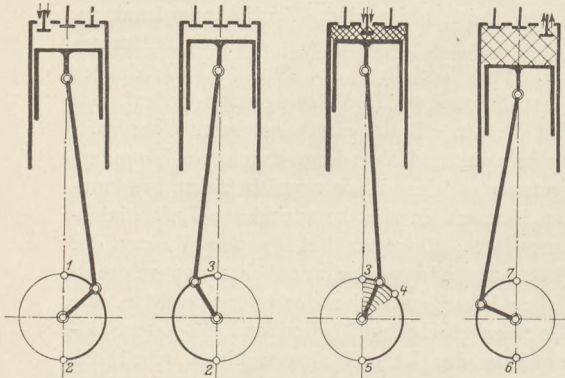


Fig. 1. Verpuffungsverfahren.

Die nebenstehenden Diagramme stellen die beiden Arbeitsarten graphisch dar. Beim Verpuffungsverfahren (Fig. 1) saugt der Kolben mit Unterdruck das fertige Gemisch an (1—2) und verdichtet es beim Rückgang (2—3) auf

mäßige Druckhöhe. In Punkt 3 tritt die (nicht elektrische) Fremdzündung ein, das Gemisch verbrennt mit steigendem Druck (3—4) bei gleichbleibendem Volumen, dann expandieren die Verbrennungsprodukte (4—5) und strömen (6—7) ins Freie.

Beim Gleichdruckverfahren (Fig. 2) wird die Luft (1—2) angesaugt, dann (2—3) auf große Druckhöhe (bis über 30 Atm.) verdichtet; bei Punkt 3 erst tritt der Brennstoff ein, es folgt (3—4) die Einspritzungs- und Verbrennungs-



Zu Fig. 2. 1—2 angesaugte, 2—3 verdichtete reine Luft, 3—4 Einspritzung und Verbrennung des Öls, 4—5 expandierende, 6—7 ausströmende Verbrennungsprodukte.

Die große Höhe der angewandten Drucke bedingt große Wandstärke des Zylinders und überhaupt eine sehr stabile und wuchtige Konstruktion. Dazu kommt die notwendige Heranziehung von mindestens zwei Hilfsmaschinen, die eine zum Einspritzen des Öls, die andere zur Herstellung der dazu nötigen Druckluft von etwa 70 Atm. Der wirtschaftliche Vorteil des Verfahrens tritt daher erst bei größeren Maschinen (über 20 PS) hervor. Über die Leistungsfähigkeit einer Maschine von mittlerer Größe gibt folgende Berechnung Aufschluß, die den geringen Brennstoff- und Wärmeverbrauch deutlich erkennbar macht.

Ein Zweizylinder-Gleichdruckmotor habe bei 200 Umdrehungen in der Minute die effektive Leistung von 200 PS. Da zwei Kolbenhübe auf jede Umdrehung entfallen und jeder vierte Hub ein Arbeitshub ist, so kommen bei 2 Zylindern 100 Arbeitshübe auf die Minute oder 60 000 auf die Stunde. Der Verbrauch an Öl (galizischem Gasöl) beträgt 180 g für Pferdekraft und Stunde; rechnet man den Heizwert von 1 kg Gasöl zu 10 000 Wärmeinheiten (Cal), so ergibt sich ein Wärmeverbrauch von $0,180 \cdot 10000 = 1800$ Cal. (Ein Verpuffungsmotor dagegen würde mindestens 250 g Benzin mit dem Heizwert 11 000, bzw. 2750 Cal verbrauchen.) Nun ist das Wärmeäquivalent einer Pferdekraftstunde 632,3 Cal. Wir erhalten daher als thermischen Wirkungsgrad der Maschine

$$\eta = \frac{632,3}{1800} = 0,35,$$

periode, dann die Expansion (4—5), die Entspannung (5—6) und die Ausstoßung (6—7) der Verbrennungsprodukte. Das Typische des Gleichdruckverfahrens ist also die Verbrennung bei gleichbleibendem Druck und wachsendem Volumen (3—4).

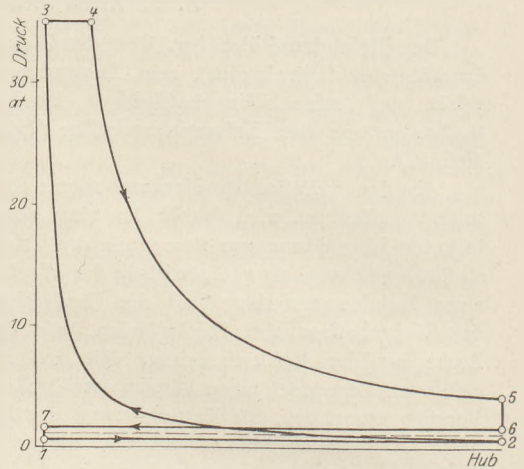


Fig. 2. Gleichdruckverfahren.

dagegen für den Benzinmotor

$$\eta = \frac{632,3}{2750} = 0,23.$$

Bei einer Dampfmaschine gleicher Leistung betrüge selbst bei hoher Überhitzung und guter Kondensation der Wärmeverbrauch immer noch etwa 4000 Cal für die PS-Stunde, was einem Wirkungsgrad von

$$\eta = 0,15 \text{ bis } 0,16$$

entspreche. Die Kosten des Ölverbrauchs berechnet der Verfasser bei den normalen Preisen zu 3,60 M. für die Stunde.

Das Anwendungsgebiet des Öldruckmotors erstreckt sich namentlich auf Schiffsmaschinen der Handels- und Kriegsmarine. Ihr geringer Raumbedarf (auch für den zum Betrieb nötigen Brennstoff) eignet sie namentlich auch zum Betrieb der Unterseebote. Bei den langsam laufenden Motoren der Handelsschiffe hat der Quotient von Maschinengewicht nebst Hilfsapparaten dividiert durch die mittlere Leistung allerdings noch den hohen Wert von 160 kg/PS, bei schnelllaufenden Motoren für Unterseebote ist es gelungen, diesen Quotienten bis unter 23 kg/PS herabzudrücken. Infolge des geringen Ölbedarfs wird auch ein mit Dieselmotor ausgerüstetes Schiff von Ölstationen nahezu unabhängig. Die ununterbrochene Rekordfahrt eines solchen Schiffes hat nicht weniger als 80 Tage betragen.

Die Anwendung des Motors auf Lokomotiven und Lokomobilen befindet sich noch im Versuchsstadium. Was die Größe betrifft, so ist

man noch nicht über 5000 PS hinausgekommen, doch sind große Fabriken wie die Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg und Gebr. Sulzer in Winterthur mit der Konstruktion immer größerer Typen beschäftigt. Die konstruktiven Schwierigkeiten sind nicht gering. So lastet bei einer Versuchsmaschine, einem Einzylindermotor von 2000 PS, auf dem Arbeitskolben von 1 m Durch-

messer ein Druck von 300 000 kg, der Größenordnung nach dem Maximaldruck in der Explosionskammer eines großkalibrigen Geschützes entsprechend. Die hierdurch bedingte Beanspruchung erfordert eine besondere Güte des Materials, von der die Steigerung der Leistung daher hauptsächlich abhängt. P.

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Kultur und Mechanik. Von Ernst Mach. Mit 34 Abbildungen. 86 S. Stuttgart, W. Speermann, 1915.

Das Schriftchen ist eine Ergänzung zu des Verfassers „Mechanik“, wo die Anschauung vertreten ist, „daß sich die Lehren der Mechanik aus den Erfahrungsschätzen des Handwerks durch intellektuelle Läuterung ergeben haben“. Dementsprechend spürt der Verfasser den primitiven Erfahrungen nach, die der Erfindung der einfachsten Werkzeuge und Maschinen zugrunde liegen, und zieht auch Erinnerungen an dynamische Empfindungen der frühesten Kindheitszeit zur Aufklärung herbei. Betätigungen an dem einfachsten Material, an Holz und Stein, führten zur Erfindung der prähistorischen Transportmittel, der Rollen, weiterhin zur Töpferscheibe und zur Herstellung der Schraube; namentlich von letzterer gibt die Schrift eine ganze Reihe interessanter Entwicklungsformen an, unter denen auch verschiedene Arten von Feuerbohrern nicht fehlen. Es schließen sich daran Mitteilungen über Glastechnik und Keramik, sowie über die Anfänge der Metallurgie und der chemischen Technologie. Ein einleitendes Kapitel handelt von dem Einfluß der alten historischen Kulturvölker auf die Entwicklung der Mechanik und dehnt die Betrachtung in raschem Fluge bis auf die noch „in Gährung begriffene“ Energetik und die keineswegs abgeschlossene, sondern „verfrüht schematisierte“ Thermodynamik aus. P.

Dreht sich die Erde? Von W. BRUNNER, Prof. a. d. höheren Töchterschule in Zürich. (Mathematische Bibliothek, herausg. von W. Lietzmann und A. Witting.) Mit 19 Fig. im Text und auf 1 Tafel. Leipzig, B. G. Teubner, 1915. Kart. M. 0.80.

Dies Bändchen ist eins der interessantesten aus der verdienstlichen Math. Bibliothek. Es stellt die wissenschaftlichen Beweise für die Umdrehung der Erde zusammen und bietet auf engem Raum ein reiches, zum Teil wenig oder noch gar nicht bekanntes Material. Neben den Foucaultschen Versuchen wird auch der

Bravaisische Nachweis mit Hilfe des konischen Pendels behandelt. Besonders eingehend aber erörtert der Verfasser die Ostabweichung freifallender Körper, für deren richtigen Betrag $\frac{1}{8} g \omega t^2 \cos \varphi$ er eine elementare Abbildung gibt. Von Interesse sind auch die graphischen Darstellungen der Fallversuche von Benzenberg, Reich und Flammarion, die vielen zum erstenmal ein deutliches Bild von der Kompliziertheit der Versuchsergebnisse verschaffen werden. Besonders bemerkenswert aber ist der Nachweis der Erddrehung durch Fallversuche an einer Atwoodschen Fallmaschine, über die in diesem Heft der Zeitschr. (S. 33) ausführlicher berichtet ist. Der Verfasser hat gleichzeitig eine Darstellung der theoretischen Grundlagen der Versuche in der Zeitschrift für mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht 1916 Heft 1 veröffentlicht. P.

Versuche aus der Wärmelehre und verwandten Gebieten, mit Benutzung des Doppelthermoskops von Prof. Dr. Gustav Looser in Essen. 4. verbesserte u. vermehrte Auflage mit 71 Abbildungen. 143 S. Braunschweig, Fr. Vieweg u. Sohn, 1915. M. 4.—.

Der Verfasser hat seit der ersten Bekanntmachung seines Doppelthermoskops im Jahre 1895 unermüdlich an dessen Vervollkommnung und an der Erweiterung seines Anwendungsbereichs gearbeitet. Die vorliegende, in 4. Auflage erschienene Schrift bietet eine willkommene Beschreibung und Anleitung zu den damit anzustellenden Versuchen, die ausnahmslos in dieser Zeitschrift von ihm selbst und anderen veröffentlicht worden sind. Neu hinzugekommen sind u. a. Versuche von Lüdtke zum Nachweis des optischen Grundgesetzes der Abnahme der elektromagnetischen Strahlungsenergie mit dem Quadrat der Entfernung und andere elektromagnetische Versuche, der Nachweis von strahlender Wärme im Ultrarot mit Hilfe der von J. Schneider in Darmstadt angegebenen Absorptionskapseln, der Nachweis der Dichtigkeitsänderungen in tönenden Luftsäulen nach Merkelbach u. a. m.

Das Buch umfaßt nicht weniger als 174 Versuche. Eine Übersicht der bei Leybolds Nachfolger in Köln und bei Rob. Müller in Essen zu beziehenden Hilfsapparate ist als Anhang beigegeben.

P.

Handbuch der physikalisch-chemischen Technik für Forscher und Techniker von Prof. Dr. Kurt Arndt, Privatdozent an der Kgl. Technischen Hochschule zu Berlin. Mit 644 Textabbildungen, Ferd. Enke, Stuttgart, 1915. XVI und 830 S. Preis M. 28.—, geb. M. 30.—.

Zu diesem fleißigen und nützlichen Sammelwerk gibt es bisher kein Analogon; das ähnlichste, Ostwald-Luther-Druckers Hand- und Hilfsbuch, hat mehr lehrhaften Charakter und hat seinen Rahmen erheblich enger gesteckt. Es sind fast ausschließlich Apparate aus wissenschaftlichen Laboratorien, nicht aus der Technik, die beschrieben und abgebildet werden, mit sehr nützlichen Anweisungen und Angabe verschiedener „Kniffe“. Namentlich Nernst und seine Mitarbeiter haben aus ihren Arbeitsgebieten, den höchsten und den tiefsten Temperaturen, bei denen Messungen bisher möglich sind, allerhand unveröffentlichte Apparate und Meßanordnungen beigegeben. Für jeden Forscher ist es eine große Annehmlichkeit, die weit verstreuten, oft unzugänglichen apparativen Hilfsmittel systematisch zusammengestellt zu finden. Man merkt natürlich heraus, bei welchen Abschnitten der Verf. aus eigener Erfahrung spricht, bei welchen er sich auf fremde Quellen verlassen mußte. Die Abschnitte sind auch sonst mit ungleicher Liebe und Ausführlichkeit abgefaßt; doch möchte der Ref. sich jede Kritik im Einzelnen versagen.

Die Vielseitigkeit und Nützlichkeit des Buches geht am deutlichsten aus einer kurzen Zusammenstellung der (abgekürzten) Abschnittüberschriften hervor: Handfertigkeiten, elektrische Widerstandsöfen, Pumpen, Thermostaten, Rührvorrichtungen, Druckregelung, Wägen, Messen von Längen, Flächen und Raumeinheiten, Dichtemessungen, Gasdrucke, Teildrucke, osmotischer Druck, Löslichkeit, Zeitmessung, Temperaturmessung, Schmelzpunkt, Siedepunkt, Wärmemengen, spezifische Wärmen, Zähigkeit, Oberflächenspannung, Diffusion, elektrischer Widerstand, Dielektrizitätskonstante, Überführungszahl, Coulometer, Spannungsmessungen, optische Messungen, Nachträge.

Dem nützlichen Buch steht vielleicht bei seiner Verbreitung der hohe Preis im Wege. Er erscheint dem Ref. unverhältnismäßig hoch, da sicher fast alle Abbildungen von den interessierten Firmen zur Verfügung gestellt worden sind.

W. Roth-Greifswald.

Kurzes Lehrbuch der anorganischen Chemie

mit einer Skizzierung der organischen Chemie als Anhang. Von Dr. Lothar Wöhler, Prof. der Chemie und Direktor des Chem. Inst. der Techn. Hochschule zu Darmstadt. Leipzig, S. Hirzel, 1914. 203 S. M. 4,60, geb. M. 5,60.

Das Buch ist für solche Studierende an technischen Hochschulen bestimmt, die sich mit der Chemie als Nebenfach beschäftigen. Die Hälfte aller Studierenden, auch der technischen Hochschule, sagt der Verfasser im Vorwort, sind gymnasialreif, und er macht hier einen bemerkenswerten Vorstoß für den chemischen Unterricht am Gymnasium: „Noch immer ist dem Schüler der allermeisten humanistischen Gymnasien die Erkenntnis der chemischen Vorgänge im Weltlaboratorium, der Gesetzmäßigkeiten im Werden und Vergehen chemischer Verbindungen, der Wandel alles Stofflichen verschlossen — aus Mangel an Zeit. Noch immer erfährt er so gut wie nichts von den Grundgesetzen chemischen Geschehens, der Statik und Dynamik, von der Affinität der Stoffe, sein berechtigtes Warum in allen Fragen der Stoffänderung bleibt nach wie vor ohne Antwort — aus Mangel an Zeit. Als ob die Chemie wie vor hundert Jahren noch Liebhaberei der Fürsten und Apotheker ist und nicht ein Kultur- und Finanzfaktor allerersten Ranges. . .“ Das sind lapidare Sätze, mit denen sich die Verfechter des Gymnasiums in seiner jetzigen Gestalt werden irgendwie auseinandersetzen müssen. Das Buch geht gleich in medias res, behandelt bereits auf der dritten Seite das Prinzip der maximalen Wärmetönung und der maximalen Arbeitsleistung und gibt eine vorzügliche Übersicht über die wichtigsten Lehren der Allgemeinen Chemie in eigenartiger Gestaltung, weiterhin über die Elemente nach den Hauptgruppen des periodischen Systems und bietet zum Schluß eine Skizzierung der organischen Chemie. Das Buch sei über seinen engeren Zweck hinaus allgemeiner Beachtung empfohlen.

O. Ohmann.

Einführung in die Mikroskopie.

Von Prof. Dr. P. Mayer, Jena. Mit 28 Abb. Berlin, J. Springer, 1914. 205 S. Preis geb. M. 4.80.

Das klar und leicht faßlich geschriebene Buch behandelt zwar vorwiegend Objekte biologischer Herkunft; da aber auch einige anorganische Präparate, die Kristallisation von Kochsalz, Alaun und Borax u. a. berücksichtigt sind, so rechtfertigt sich die Besprechung an dieser Stelle. Das Buch ist von Anfang an auf die Praxis eingestellt, setzt nichts voraus, wendet sich vielmehr an die, welche noch nicht mikroskopiert haben und ganz auf sich angewiesen

sind, wie Lehrer an kleinen Orten, Ärzte und Apotheker, die die früher erworbenen Kenntnisse wieder auffrischen wollen und auch an Schüler höherer Lehranstalten, denen sonst eine Anleitung nicht zuteil wird. Die trefflichen Abbildungen sind gute Stützen der gegebenen Anweisungen. Hervorgehoben sei noch, daß auch das Zeichnen und Messen der Objektive eingehend behandelt ist und eins der zwölf Kapitel des Buches ausmacht. Das Buch wird sicherlich vielen Freude bereiten, es sei auch zur Anschaffung für die Schülerbibliotheken empfohlen.

O.

Chemisches Praktikum für die Oberklassen der realen höheren Lehranstalten. Bearbeitet von Prof. Dr. R. Herz. Leipzig, 1912, G. Freytag, 110 S. geb. M. 1,50.

Die Stoffanordnung des Buches ist etwas ungewöhnlich. Die eigentlichen „Versuche“ (§ 7 ff.) beginnen (nachdem vorher zweckmäßige „Allgemeine Ratschläge“ über verschiedene Manipulationen, Gewichtsberechnungen u. a. gegeben sind) S. 22 mit einem Versuch zur „Erhaltung der Masse“, in welchem eine größere Zahl von Verbindungen mit vollständiger Formel angeführt sind, die in diesem Stadium des Lehrganges kaum bekannt sein dürften, z. B. Natriumsilikat, Bleiacetat, Kaliumdichromat. Auf der 2. Seite dieser „Versuche“ folgen bereits „Verbrennungen in Chlor“, darunter auch die für Übungen ziemlich umständliche Verbrennung von „Leuchtgas“ in Chlor, auf der 3. und 4. Seite folgen der heikle Versuch der Gewichtszunahme bei der Verbrennung einer Kerze (wobei noch die Wasserstrahlpumpen verwendet wird) — ein Versuch, der beiläufig gar nichts beweist, da auch ohne Brennen der Kerze eine erhebliche Gewichtszunahme stattfindet, sobald man den Luftstrom „5–10 Minuten“ hindurchstreichen läßt, da die angewandten „Natriumhydroxydstücke“ den Wasserdampf und das Kohlendioxyd der Luft begierig aufsaugen — sowie ein noch heiklerer Wägesuch: metallisches Calcium im Kugelrohr soll in einem Chlorstrom erhitzt werden. Wir halten diese Versuche im Anfang für ganz ungeeignet und auch an sich für die chemischen Schülerübungen für zu weitgehend. Diese Versuche und noch mehrere andere stehen auch im Widerspruch mit dem Vorwort, wo gerade auf „einfache Versuchsanordnungen“ hingewiesen wird. Den Schlüssel zu den obigen Diskordanzen glauben wir im Vorwort zu finden. Danach entspricht dieser Anfang gar nicht dem vom Verfasser im Praktikum eingeschlagenen Lehrgang. Denn der Verfasser selbst beginnt „im Praktikum, das vom Klassenunterricht unabhängig ist, mit den allgemeinen

Reaktionen (§ 40–46)“, schließt daran „die analytischen Reaktionen (§ 95)“ und läßt „die Analyse folgen (1 Jahr)“, nämlich das Jahr in O II der Oberrealschulen. Dieser Lehrgang wird wohl kaum sonst anzutreffen sein, bisher galt es für richtig, daß die Analyse, falls sie überhaupt im Zusammenhange durchgenommen wird, eher am Ende als am Anfange liegen muß. Einen Fortschritt für die Entwicklung der chemischen Schülerübungen vermögen wir daher in dem Buche nicht zu erkennen. Wir glauben, daß der Methodik des chemischen Unterrichts am besten gedient wird, wenn nicht Vorschläge gemacht werden, wie man einen Lehrgang der praktischen Übungen gestalten könnte, sondern nur das geboten wird, was nicht nur in den einzelnen Teilen, sondern auch als Ganzes, in seinem ganzen Aufbau, sich im Feuer der wirklichen Erprobung bewährt hat.

O.

Petrographisches Vademekum. Ein Hilfsbuch für Geologen. Von Dr. E. Weinschenk, a. o. Prof. der Petrographie an der Universität München. 2. verb. Aufl. Mit 1 Tafel und 101 Abb. Freiburg i. Br. 1913, Herder. 210 S. Geb. M. 3,20.

Das handliche Buch ist ein außerordentlich zweckmäßig angelegtes Hilfsmittel, um auf Exkursionen eine schnelle Orientierung über die gerade in Frage kommenden Teile der vielseitigen Gesteinswelt zu ermöglichen — gewissermaßen eine „Petrographie ohne Mikroskop“, soweit diese möglich ist. Das Buch kann ein Lehrbuch der Gesteinskunde nicht ersetzen, gibt aber dennoch sehr genaue und treffende Kennzeichnungen der wichtigsten Gruppen der Gesteine. Die vielen vorzüglichen Abbildungen, besonders die autographischen, sind nicht nur eine Zierde des Buches sondern unterstützen die Darlegungen ganz wesentlich, indem sie bei vielen Gesteinen das Charakteristische in geradezu überraschender Weise wiedergeben. Das Vademekum, das auch dem mineralogischen Unterricht der Mittelschule gute Dienste leisten kann, wird jedem, der es näher kennen lernt, Freude bereiten.

O. Ohmann.

Anleitung zum geologischen Beobachten, Kartieren und Profilieren. Von Hans Höfer von Heimhalt, Ing. Dr. mont. h. c., k. k. Hofrat, emer. Prof. d. Geologie der Hochschule in Leoben. Mit 26 Abb., Braunschweig 1915, Fr. Vieweg & Sohn, IX und 82 S. Geb. M. 2,80.

Ein Praktiker übermittelt hier aus dem reichen Schatz seiner mehr als vierzigjährigen Erfahrung wertvolle Vorschriften und Winke. Es wird zunächst die zu einer geologischen Exkursion nötige fachliche „Ausrüstung“, vom Hand-

kompaß an bis herab zu den Farbstiften, Schachteln und Glasröhren eingehend behandelt und auch der touristischen Ausrüstung gedacht. Genaue Einzelheiten über die „Geologische Begehung“ und über alle draußen anzustellenden „Beobachtungen“ sowie deren Verwertung für die „Fertigstellung der Karte und Profile“ und für einen „Bericht“, bilden dann den Hauptteil der kurzen, aber sehr inhaltreichen Arbeit, deren

Schlußkapitel die „agrogeologische Aufnahme und Kartierung“ bildet. Das Buch — dem für eine weitere Auflage ein klein wenig stärkeres Papier und ein etwas ermäßigter Preis zu wünschen wäre — sei für alle mit dem chemisch-mineralogischen Unterricht bzw. den chemischen Schülerübungen zu verknüpfenden geologischen Exkursionen warm empfohlen.

O. Ohmann.

Korrespondenz.

Übungen in der Kgl. Zentralstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht in Berlin. Im Winterhalbjahr 1915/16 finden noch folgende Übungen statt: Prof. Dr. Schoenichen,

Einführung in die Bakterienkunde, w. 2 St. — Oberlehrer Dr. Schauff, Übungen im Ausführen physikalischer Schulversuche, w. 2 St. — Direktor Prof. Fischer, Kriegsländerkunde, w. 2 St.

Zur astronomischen Tafel für 1916.¹⁾

Von Prof. M. Koppe in Berlin.

Im Folgenden sind nur die tabellarischen Angaben, die von Jahr zu Jahr wechseln, wiedergegeben. Die vollständige Erklärung der Tafel findet man in der Sonderausgabe.²⁾

Hauptstellungen der Planeten zur Sonne.

Merkur.

gr. E. östl. (w.rückl.)	Stillst. (w.rückl.)	unt. Konj.	Stillst. (w.rechtl.)	gr. El. w.	ob. Konj.
I 20	I 27	II 5	II 17	III 1	IV 14
V 12	V 25	VI 6	VI 18	VI 30	VII 28
IX 9	IX 22	X 5	X 14	X 20	XI 24

Venus.

gr. El. (östl.)	gr. Glanz (Abendst.)	Stillstand (wird rückl.)	unt. Konj.	Stillstand (w. rechtl.)
IV 24	VI 1	VI 12	VII 3	VII 25

(2,3^h sichtb.)

gr. Glanz (Morgenst.)	gr. El. (westl.)
VIII 3	IX 13

(1,5^h sichtb.)

Mars.

Oppos.	Stillstand (w. rechtl.)	Quadr.
II 10	III 21	V 15

Kulmin. 0^h 18^h

Jupiter.

Konj.	Quadr.	Stillstand (w. rückl.)	Oppos.	Stillstand (w. rechtl.)
IV 2	VII 27	VIII 25	X 24	XII 20

Kulm. 12^h 6^h 0^h

¹⁾ Die Tafel für 1916 ist irrtümlich bereits dem 6. Heft des Jahrganges 1915 beigegeben worden.

²⁾ Die Bahnen der beweglichen Gestirne im Jahre 1916. Verlag von Julius Springer in Berlin. Preis M 0,40; für 10 Expl. M 3,—; für 20 Expl. M 5,50 bei postfreier Zusendung.

Saturn.

Oppos.	Stillstand (w.rechtl.)	Quadr.	Konj.	Quadr.	Stillstand (w.rückl.)
I 4	III 11	III 30	VII 12	X 24	XI 12

Kulm. 0^h 18^h 12^h 6^h

Elemente der Planetenbahnen.

	Mittlere Länge 1916 Jan. 0. 0 ^h	Änderung der mittleren Länge in		Mögliche Abweichung d. mittl. v. d. wahren Länge	Radius der Bahn
		365 ^d	366 ^d		
♃	327,73 ^o	4 ^u 53,72 ^o	4 ^u 57,81 ^o	23 ^o	0,39
♃	343,37 ^o	1 ^u 224,79 ^o	1 ^u 226,39 ^o	1 ^o	0,72
♃	98,29 ^o	359,76 ^o	1 ^u 0,75 ^o	2 ^o	1,00
♃	115,61 ^o	191,29 ^o	191,81 ^o	11 ^o	1,52
♃	3,72 ^o	30,34 ^o	30,43 ^o	6 ^o	5,20
♃	102,29 ^o	12,23 ^o	12,26 ^o	6 ^o	9,54
♃	312,89 ^o	4,30 ^o	4,31 ^o	5 ^o	19,2
♃	120,18 ^o	2,20 ^o	2,20 ^o	1 ^o	30,1

(^u = Umlauf)

Elemente der Mondbahn.

	trop. Monat M ₁	Drachenm. M ₂	anom. Monat M ₃
Dauer	27,322 ^d	27,212 ^d	27,555 ^d
Epoche 1915 XII 14,84 ^d	XII 11,09 ^d	XII 7,44 ^d	

Die zyklischen Mondphasen und das Osterfest. Man vergleiche den vorigen Jahrgang. Die Tabelle der Monatszahlen hat dort eine Lücke, sie heißt vollständig

	I	II	III	IV	V	VI
m = 0		3	3	6	1	4
	VII	VIII	IX	X	XI	XII
m = 6		2	5	0	3	5

Sichtbarkeit der Planeten für die Breite von Berlin.

Berlin 1916. Ortszeit. Bürgerl. Tag mit durchgehender Stundenzählung																	
Sicht- bar am	♃		Sicht- bar am	♀		♂		♃		♄							
	von	bis		von	bis	von	bis	von	bis	von	bis						
I 8 21 31	Abendstern 17,2 ^h		I 2 22 II 11	Abendstern D 16,6 ^h U 18,2 ^h		A 20,1 ^h D 7,1 ^h D 18,2 ^h	D 7,1 ^h 6,8 ^h 6,3 ^h	D 17,1 ^h 17,6 ^h 18,1 ^h	U 22,5 ^h 21,6 ^h 20,6 ^h	D 17,2 ^h 17,6 ^h 18,2 ^h	D 6,8 ^h 6,7 ^h U 5,6 ^h						
	D 17,4 ^h U 18,1 ^h			17,1 ^h 19,4 ^h								18,4 ^h		17,6 ^h 21,6 ^h		17,6 ^h 6,7 ^h	
	17,8 ^h			17,7 ^h 20,5 ^h								18,8 ^h 5,6 ^h		18,6 ^h 19,8 ^h		18,2 ^h U 5,6 ^h	
IV 25 V 11 25	Abendstern 20,2 ^h		III 2 22 IV 11	18,2 ^h 21,5 ^h		18,8 ^h 19,4 ^h 20,0 ^h	5,6 ^h 4,9 ^h U 3,7 ^h	18,6 ^h	19,8 ^h	18,7 ^h 19,3 ^h	4,4 ^h 3,0 ^h						
	D 20,9 ^h U 22,0 ^h			18,9 ^h 22,4 ^h								19,4 ^h				20,0 ^h 1,8 ^h	
	21,5 ^h			19,5 ^h 23,4 ^h								20,8 ^h 2,5 ^h				20,8 ^h 0,6 ^h	
X 12 20 XI 9	Morgenstern 5,2 ^h		VI 10 30	20,8 ^h 23,8 ^h		21,6 ^h 22,2 ^h 22,3 ^h	1,3 ^h 0,3 ^h 23,2 ^h	A 1,6 ^h D 1,8 ^h 0,4 ^h	D 1,8 ^h 2,0 ^h	22,2 ^h 22,2 ^h	23,4 ^h 22,2 ^h						
	A 4,8 ^h D 5,5 ^h			21,3 ^h 22,6 ^h								22,2 ^h		22,2 ^h		22,2 ^h	
	6,0 ^h			Morgenstern								22,3 ^h		23,2 ^h		0,4 ^h 2,0 ^h	
XII 27 32	Abendstern 17,0 ^h		VII 20 VIII 9 29 IX 18 X 8	A 2,8 ^h D 3,2 ^h		21,9 ^h 1,6 ^h 1,2 ^h 1,3 ^h 2,0 ^h	22,2 ^h 3,7 ^h 4,4 ^h 5,0 ^h 5,6 ^h	23,2 ^h 21,9 ^h 20,6 ^h D 19,2 ^h 18,4 ^h	2,6 ^h 3,3 ^h 3,9 ^h 4,6 ^h 5,2 ^h	A 2,3 ^h 1,3 ^h 0,2 ^h 23,0 ^h	D 3,1 ^h 3,8 ^h 4,4 ^h 5,1 ^h						
	D 17,1 ^h U 17,5 ^h			1,6 ^h 3,7 ^h								2,8 ^h 6,2 ^h		17,7 ^h 5,8 ^h		21,7 ^h 5,7 ^h	
				1,2 ^h 4,4 ^h								3,6 ^h 6,7 ^h		17,2 ^h U 4,9 ^h		20,4 ^h 6,2 ^h	
			XI 17 XII 7 27 32	1,3 ^h 5,0 ^h		4,8 ^h 5,9 ^h 6,0 ^h	7,2 ^h 7,4 ^h 7,5 ^h	17,0 ^h 17,0 ^h 17,1 ^h	3,4 ^h 2,1 ^h 1,8 ^h	19,0 ^h 17,6 ^h 17,2 ^h	6,6 ^h 6,8 ^h 6,9 ^h						
				2,0 ^h 5,6 ^h								4,8 ^h 7,2 ^h		17,0 ^h 3,4 ^h		17,6 ^h 6,8 ^h	
				2,8 ^h 6,2 ^h								5,9 ^h 7,4 ^h		17,0 ^h 2,1 ^h		17,6 ^h 6,8 ^h	

A und U bedeuten Aufgang und Untergang, D bedeutet: links vom Mittelstrich das Erscheinen abends, rechts das Verblässen morgens in der Dämmerung. Ein Doppelstrich in der senkrechten Mittellinie zeigt an, daß die rechts stehende Zeitangabe des Verschwindens sich auf den nächsten Tag bezieht.

Die dort aufgestellte Formel für den Wochentag eines Datums läßt sich folgendermaßen ableiten:

Es sei $n = 100s + j$ die Jahreszahl, für 1916 also $s = 19, j = 16$, ferner sei $\alpha (= 1, 2 \dots 7)$ die Nummer des Wochentags am 1. Januar des Jahres 1 vor Chr. Geburt nach dem antizipierten Gregorianischen Kalender, wobei Sonntag = 1 gesetzt wird. Bis zum 1. Januar des Jahres n nach Chr. Geburt sind vergangen n Jahre, das wären $n \cdot 365 = n \cdot 7 \cdot 52 + n$ Tage, oder nach Fortlassung voller Wochen n Tage, wenn es keine Schalttage gäbe. Die letzteren würden für den Julianischen Kalender auf die Jahre 0, 4, 8, 12 unserer Zeitrechnung, d. h. auf 1 v. Chr. Geb., 4 n. Chr. Geb., 8 n. Chr. Geb. fallen, ihre Anzahl wäre gleich den in $n/4$ enthaltenen Ganzen, vermehrt um 1, also $= 25s + j' + 1$. Hiervon fallen im Gregorianischen Kalender die der vollen Hunderte, sofern sie nicht durch 4 teilbar sind, weg, das sind $(s - s')$ Tage. Demnach ist der 1. Januar des Jahres n als Wochentag bestimmt durch die Zahl

$$\begin{aligned} W &= \alpha + n + (25s + j' + 1) - (s - s') \\ &= \alpha + (100s + j) + (25s + j' + 1) - s + s' \\ &= \alpha + 124s + s' + j + j' + 1 \end{aligned}$$

oder wenn man 124 Tage durch Fortlassung von 17 Wochen auf 5 reduziert

$$W = \alpha + 5s + s' + j + j' + 1.$$

Vom 1. Januar bis zu dem Tag mit der Nummer $T = m + t$ sind noch $(T - 1)$ Tage; so kommt man auf den Wochentag des gegebenen Kalendertages:

$$w = \alpha + 5s + s' + j + j' + m + t.$$

Da α nicht bekannt ist, so wird es selbst aus dieser Gleichung bestimmt, indem man irgend ein Datum einsetzt, dessen Wochentag bekannt ist. Man findet dann immer denselben Wert, nämlich 7 oder 0.

Für Tage in einem Schaltjahre ist diese Betrachtung nur richtig, wenn der Schalttag, d. h. natürlich der 29. Februar, schon vorbei ist; denn man hat ihn oben als notwendigen Bestandteil jedes Schaltjahres eingerechnet, als ob er allen andern voranginge¹⁾. Für Tage vor

¹⁾ So wird es wirklich, wenn man die Tage durch das Jahr durchzählt, und in einem gemeinen Jahr mit 1, 2 ... 365, in einem Schaltjahr mit 0, 1 ... 365 bezeichnet.

dem 29. Februar ist daher oben der Zeitraum um einen Tag zu groß angenommen, daher die Korrektur [- 1].

Somit hat man die Formel:

$$w = 5s + s' + j + j' + m + t + [-1].$$

Beispiel: Im nächsten Jahr fällt der verbesserte Frühlingsvollmond des Clavius auf 1916 IV 17, das läßt sich ohne Änderung des Wochentages verwandeln in 316 IV 3. $5s = 15, j + j' = 20, m = 6, t = 3, w = 44$ oder 2 bedeutet Montag. Sechs Tage später ist Ostern: 1916 IV 23.

Himmelserscheinungen im Februar und März 1916.

☿ Merkur, ♀ Venus, ☉ Sonne, ♂ Mars, ♃ Jupiter, ♄ Saturn, ☾ Mond, 0^h = Mitternacht.

	Februar						März					
	1	6	11	16	21	26	2	7	12	17	22	27
☿ { AR	21 ^h 24 ^m	21. 1	20.40	20.32	20.36	20.49	21. 8	21.32	21.57	22.25	22.54	23.25
{ D	- 12 ^o	- 13 ^o	- 15 ^o	- 16 ^o	- 17 ^o	- 17 ^o	- 17 ^o	- 16 ^o	- 14 ^o	- 12 ^o	- 9 ^o	- 6 ^o
♀ { AR	23 ^h 8 ^m	23.30	23.52	0.14	0.35	0.57	1.18	1.40	2. 2	2.24	2.46	3. 8
{ D	- 7 ^o	- 4	- 2	+ 1	+ 3	+ 6	+ 9	+ 11	+ 13	+ 16	+ 18	+ 20
☉ { AR	20 ^h 55 ^m	21.16	21.35	21.55	22.14	22.33	22.52	23.11	23.29	23.48	0. 6	0.24
{ D	- 17.4 ^o	- 15.9 ^o	- 14.3 ^o	- 12.7 ^o	- 10.9 ^o	- 9.1 ^o	- 7.2 ^o	- 5.3 ^o	- 3.3 ^o	- 1.3 ^o	+ 0.6 ^o	+ 2.6 ^o
♂ { AR	9 ^h 49 ^m	9.42	9.34	9.26	9.18	9.11	9. 6	9. 1	8.58	8.56	8.55	8.56
{ D	+ 18 ^o	+ 19	+ 19	+ 20	+ 20	+ 21	+ 21	+ 21	+ 21	+ 21	+ 21	+ 21
♃ { AR	23 ^h 54 ^m		0. 1		0. 9		0.18		0.26		0.35	
{ D	- 2 ^o	- 1			0		+ 1		+ 2		+ 3	
♄ { AR	6 ^h 47 ^m						6.22					
{ D	+ 23 ^o						+ 23					
☉ Aufg.	7 ^h 46 ^m	7.38	7.29	7.19	7. 9	6.58	6.47	6.36	6.24	6.13	6. 1	5.49
Unterg.	16 ^h 42 ^m	16.51	17. 1	17.10	17.20	17.29	17.38	17.48	17.57	18. 5	18.14	18.23
☾ Aufg.	6 ^h 34 ^m	8.25	9.50	14.20	20.39	2.11	6. 0	7.12	9.53	15.47	22.32	3. 8
Unterg.	13 ^h 34 ^m	20.59	2. 8	6.12	7.28	9.12	15.38	22.31	2.59	5.10	6.19	10.23
Sternzeit im mittl. Mittag	20 ^h 41 ^m 22 ^s	21. 1. 5	21.20.48	21.40.31	22. 0.13	22.19.56	22.39.39	22.59.22	23.19. 4	23.38.47	23.58.30	0.18.13
Zeitgl.	+ 13 ^m 35 ^s	+ 14.10	+ 14.24	+ 14.18	+ 13.54	+ 13.14	+ 12.19	+ 11.13	+ 9.56	+ 8.32	+ 7. 2	+ 5.31

Mittlere Zeit = wahre Zeit + Zeitgleichung.

Frühlingsäquinocium am 20. März, 23^h 47^m M.E.Z.

Mondphasen in M.E.Z.	Neumond	Erstes Viertel	Vollmond	Letztes Viertel
	Febr. 3, 17 ^h 5 ^m	Febr. 10, 23 ^h 20 ^m	Febr. 19, 3 ^h 28 ^m	Febr. 26, 10 ^h 24 ^m
	März 4, 4 ^h 57 ^m	März 11, 19 ^h 33 ^m	März 19, 18 ^h 26 ^m	März 26, 17 ^h 22 ^m

Planetensichtbarkeit	Merkur	Venus	Mars	Jupiter	Saturn
im Februar	unsichtbar	2 ¹ / ₂ bis 3 Stunden lang als Abendstern sichtbar	Opposition am 10.; daher die ganze Nacht hindurch sichtbar	abends 3 bis 1 Stunde lang im W sichtbar	abends zuletzt noch 9 ¹ / ₂ Stunden lang sichtbar
im März	unsichtbar	die Sichtbarkeitsdauer steigt bis auf 4 Stunden	die ganze Nacht hindurch sichtbar	wird Mitte des Monats unsichtbar	die Sichtbarkeitsdauer nimmt ab bis auf 6 ³ / ₄ Stunden

Verfinsterungen der Jupitertrabanten:

Am 4. Februar, 19^h 4^m 7^s M.E.Z. Austritt des I. Trabanten
 „ 18. „ 18^h 52^m 4^s „ „ „ III. „
 „ 27. „ 19^h 2^m 0^s „ „ „ II. „

Am 3. Februar findet eine totale, in Deutschland jedoch unsichtbare Sonnenfinsternis statt. Die Totalitätszone erstreckt sich vom Stillen Ozean über Venezuela und den Atlantischen Ozean bis nahe an die Südküste Irlands.

Nachdruck nur mit Quellenangabe und mit Genehmigung der Verlagshandlung gestattet.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.