

Zur physikalischen Didaktik und zur physikalischen Philosophie<sup>1)</sup>.

Von Alois Höfler in Wien.

## B. Zur physikalischen Philosophie.

P.: Die mathematische Physik arbeitet überhaupt mit Begriffen, die bis zu einem gewissen Grad von ihrem Ursprunge im Realen losgelöst sind; was von ihnen festgehalten wird, ist das Quantitative an ihnen, nur die Dimension, auf die man ab und zu zurückgreift, erinnert noch an ihren Ursprung. Das System der mathematischen Physik ist daher ein Gewebe von Begriffen, das gleichsam über den Tatsachen schwebt und mit der Wirklichkeit nur noch lose zusammenhängt. Die mathematische Physik ist ein Bild der Wirklichkeit, in dem aber gewisse der Anschauung angehörige Züge eben wegen der Beschränkung auf den Größencharakter der Begriffe ganz fehlen. Hier genügt es denn auch, die Masse als  $k/b$  oder den Widerstand als  $e/i$  zu „definieren“. Es entsteht so ein Begriffssystem von bewundernswerter Folgerichtigkeit, dem man jedoch, in Anbetracht seiner Losgelöstheit von der Anschauung, den Charakter des Intellektualismus nicht wird absprechen können. In diesem Sinne ist auch KIRCHHOFFS mathematische Physik intellektualistisch, und in diesem Sinne ist das Wort an der erwähnten Stelle (*d. Zeitschr.* 29, 108) von mir gemeint.

H.: Statt „Intellektualismus“ könnte man noch bestimmter Relativismus sagen, indem nicht nur etwa die neueste Relativitätstheorie innerhalb der Physik, sondern vorher schon das, was ich in meiner Didaktik des mathematischen Unterrichtes „raumlose Geometrie“ genannt habe, sich geradezu zum letzten Ziel das Freimachen alles Denkens von aller Anschauung setzt. Das klingt paradox und kann auch nur durch den Kenner z. B. von HILBERTS „Grundlagen der Geometrie“ auf seine Richtigkeit geprüft werden. Ich habe diese Relativitätsbestrebungen von der Wurzel bis zum Gipfel zu zeichnen und das Berechtigte der physikalischen (gegenwärtigen und vielleicht künftiger außerphysikalischer) Relativitätstheorien gegen den allgemeinen (übertreibenden und daher unberechtigten) Relativismus abzugrenzen versucht in meiner Logik „§ 26, Relative Begriffe. Das indirekte Vorstellen“<sup>2)</sup>. — Ehe wir aber auf so allgemeine Dinge eingehen (im „Nachwort“ u. S. 42), vorher noch etwas Spezielleres, wenn auch selbst schon Prinzipielles:

P.: Schließlich noch ein Wort über den prinzipiellen Gegensatz zwischen uns. V. sucht ihn in dem Gegensatz der konditionalen und der kausalen Handlungs-

<sup>1)</sup> Fortsetzung und Schluß zu Heft 1 dieses 31. Jahrgangs (1918), S. 1–9.

P. = POSKE, V. = VOLKMANN, H. = HÖFLER.

<sup>2)</sup> „Indirektes Vorstellen“ nannte MEINONG das Vorstellen (einschließlich Begriffebilden) durch „Relationsübertragung“, wofür der Typus die Proportion  $a : b = c : x$  ist; denn auch hier liefert das „Verhältnis“  $a : b$  die Relation, mittels deren wir von dem gegebenen Glied (Fundament)  $c$  zu dem noch unbekanntem  $x$  gelangen. Jener § 26 (S. 295–346 meiner noch nicht erschienenen Logik, vgl. Heft 1, Anm.) geht u. a. auch ein auf die angeblich nur relativen Begriffe Größe, Raum, Zeit, Bewegung und zeigt überall einen nicht wegzudeutelnden absoluten Kern auf.

weise. Die konditionale Auffassung ist nach ihm eine solche, die die Bedingungen kennen lehrt, unter denen gewisse Erscheinungen eintreten. Ich kann hierin einen Gegensatz zur kausalen Betrachtungsweise nicht erkennen, denn auch diese sucht die Umstände zu ermitteln, die auf das Zustandekommen einer Erscheinung von Einfluß\* sind. Daß sie die Gesamtheit dieser Umstände als Ursache, die einzelnen Umstände als Teilursachen<sup>1)</sup> bezeichnet, ist nur eine Verschiedenheit der Ausdrucksweise, die an der Sache selber nicht ändert. Für die konditionale wie für die kausale Betrachtungsweise ist es allerdings wesentlich, daß nicht nur für das Eintreten oder für das Nichteintreten einer Erscheinung, sondern auch für die quantitativen Änderungen an der Erscheinung die bestimmenden Umstände ermittelt werden. So geht denn auch meine Darstellung des Ohmschen Gesetzes darauf aus, festzustellen, von welchen Umständen die Stromstärke abhängig ist. — Sieht man sich dagegen das von V. empfohlene Verfahren näher an, so wird man erkennen, daß dieses mit der von ihm selber für sich in Anspruch genommenen konditionalen Methode wenig oder nichts zu tun hat. Es werden beliebige Stromstärken und elektromotorische Kräfte einander zugeordnet und ihr Verhältnis ermittelt. Es wird nicht einmal gesagt, welche der beiden Größen durch die andere „bedingt“ ist, was doch bei einem konditionalen Verfahren erforderlich wäre. Wollte man dieses Verfahren mit einem Namen belegen, so müßte man es als phänomenalistisch bezeichnen. In der Tat kommt der Gegensatz zwischen V. und mir nicht auf den Unterschied von konditional und kausal, sondern auf den von phänomenalistisch und kausalistisch zurück. Hierüber im Rahmen dieser Entwicklung zu verhandeln, würde zu weit führen. Auch halte ich mich weder für befähigt, noch für berufen, in diesem Streit das letzte Wort zu sprechen. Die wissenschaftliche Entscheidung, die nur vom Boden der Fachphilosophie aus gegeben werden kann, steht noch aus. Die Physiker haben sich im allgemeinen gegen die Lehre vom Phänomenalismus noch zurückhaltend gezeigt, was nicht wundernimmt, da die physikalische Forschung auch heute noch den Begriff

<sup>1)</sup> L. § 27 „Die Begriffe Ursache und Wirkung“. Wir gelangen hier in mehreren Schritten der logischen Analyse zur Feststellung der drei konstitutiven Merkmale des wissenschaftlichen Kausalbegriffes, der dann (in allerdings nicht geradezu unmißverständlich) kürzester Fassung „Notwendiges (reales) Antezedens“ lautet. Hier auch das Auseinanderhalten von Gesamtursache, Teilursache, letzte Ursache, Bedingung usw. — Es ist zu bedauern, daß sich MACHS Angriffe nicht so sehr auf einen so oder ähnlich analysierten, wissenschaftlichen Kausalbegriff, sondern nur gegen die allzu populäre Vorstellung von Ursache gerichtet haben; nur einer solchen kann ein „Fetisch“-Charakter vorgeworfen werden. Dagegen trifft dieser Vorwurf füglich keines der drei angeführten Einzelmerkmale; oder träfe er den strengen Begriff der „Notwendigkeit“, so nicht minder den der „Bedingung“. Denn innerhalb der ganz allgemeinen Korrelation „Bedingendes und Bedingtes“ bildet den Kern eben doch auch die „Notwendigkeit“ [— ich nenne in meinen L. § 25 ff. die „Notwendigkeitsrelation“, genauer „Abhängigkeitsrelation“, kurz  $\alpha$ -Rel. Vgl. auch meine Abhandlung „Abhängigkeitsbeziehungen zwischen Abhängigkeitsbeziehungen“, Sitzungsberichte der kais. Akad. d. Wiss., philos.-hist. Klasse 1917]. Ohne solche Notwendigkeit gibt es kein „Auseinander“ (wie z. B. der Schlußsatz hervorgeht aus den Prämissen), sondern nur ein Nebeneinander (wie z. B.  $2 \times 2 = 4$  neben dem „Alle Menschen sind sterblich“ wahr ist, aber nicht eines aus dem andern folgt).

Wenn nun MACH, und mit ihm eine (vielleicht schon wieder abnehmende) Zahl von Physikern, Physiologen usw. den Begriff einer realen Abhängigkeit, der Ursache (des Realgrundes zum Unterschied von Erkenntnisgrund — allgemeiner wäre allerdings Seinsgrund zum Unterschied von Denkgrund — Näheres über all das in L. § 58) ersetzen zu können glaubt durch den der mathematischen Funktion  $y = f(x)$ , so liegt doch allzu nahe der Einwand, daß man jede solche Gleichung umkehren kann in  $x = \varphi(y)$ . Alles Nähere hierüber L. S. 270, 275 u. a. innerhalb des § 25, wo die Abhängigkeits- (Notwendigkeits-Zusammenhangs-) Relationen als die zweite Klasse neben den Vergleichungs-Relationen behandelt werden. Letztere (die Gleichheits-, Ähnlichkeits-, Verschiedenheits-Relationen) sind umkehrbar, die Abhängigkeits- oder Notwendigkeits-Relationen aber nicht umkehrbar. Jene reichen aus für das Beschreiben, letztere bilden das Wesen des Erklärens; vgl. L. § 87, „Beschreiben und Erklären als die beiden Hauptaufgaben der Forschung“.

der Ursache nicht entbehren kann und ihn bewußt oder unbewußt fortwährend anwendet. Wir Vertreter des Unterrichts aber müssen uns dagegen wehren und verwahren, daß eine Philosophie des Tages maßgebend für die Gestaltung des Unterrichts werden soll — wobei der wertvolle Einfluß, den diese philosophische Richtung auf die Klärung der Begriffe und die vorsichtige Formulierung der Gesetze gehabt hat, nicht verkannt zu werden braucht. Vielleicht tragen auch die Erfahrungen des Weltkrieges dazu bei, daß der eine Zeitlang herrschend gewesene *horror antimetaphysicus* verschwindet und der Glaube an das, was hinter den Erscheinungen steht, wieder zu Ehren kommt.“

H.: Dem Vertreter des Unterrichtes kann ein Vertreter der Philosophie (und hoffentlich einer nicht nur „des Tages“) nur dankbar sein, daß er vor Übergriffen aus einer Wissenschaft in das Gebiet einer andern, also diesmal eines Fachphysikers<sup>1)</sup> in das der wissenschaftlichen Philosophie, so kräftig und unerschrocken warnt. „Keine Annexionen“ heißt es in der Sprache unserer Tage. Vor solchen Übergriffen will auch die Wortzusammenstellung „physikalische Philosophie“ warnen, das wäre nämlich eine Philosophie, die nicht von Philosophen, sondern von Physikern gemacht werden will. Aber sogar MACH selbst verwahrte sich, als er nach 30jähriger Lehrtätigkeit auf physikalischen Lehrkanzeln eine philosophische in Wien übernahm, wiederholt nachdrücklich dagegen, daß er Philosoph sei und genannt werde.

Was aber den besonderen Streit zwischen P. und V., nämlich den um den Kausalbegriff betrifft, so liegt sein Anfang weiter zurück in POSKES Abhandlung: „Galilei und der Kausalbegriff“<sup>2)</sup>. Hier sagte

P.: Es ist bei den Theoretikern des naturwissenschaftlichen Forschungsverfahrens neuerdings Mode geworden, den Kausalbegriff zum alten Eisen zu werfen. Man befreit sich dabei gern auf GUSTAV KIRCHHOFFS Scheu vor der metaphysischen Unklarheit, die ihm mit dem Kausalbegriff untrennbar verknüpft schien. P. VOLKMANN hat sogar versucht, diese moderne Kausalitätsauffassung „auf unsere ältesten Klassiker“, auf GALILEI und NEWTON zurückzuführen. In Betreff NEWTONS mag die Behauptung einstweilen dahingestellt bleiben, in bezug auf GALILEI läßt sie sich mit leichter

<sup>1)</sup> Eines Wägens mit ungleichen Maßen fachwissenschaftlicher Kompetenz machen sich der Philosophie gegenüber keineswegs nur Physiker, sondern auch z. B. Physiologen schuldig. Wenn z. B. VERWORN „Die Frage nach den Grenzen der Erkenntnis“ (Jena 1917) aufwirft und, indem er sie beantwortet, über keine anderen Begriffe der Psychologie als die drei: Empfindung, Vorstellung, Assoziation verfügt, so daß also die offenkundige Beziehung zwischen „Erkennen“ und Urteilen völlig übersehen wird, so wird einem halbwegs geschulten Erkenntnistheoretiker ebenso zumute, wie wenn man einem gegenwärtigen Chemiker zumuten würde, statt mit den achtzig oder mehr Grundstoffen auszukommen mit den dreien des THEOPHRASTUS PARACELSUS: *mercurius, sal, sulfur*. Oder wie wenn irgend ein physiologisch-biologischer Philosoph „die Frage nach der Urzeugung“ heute noch dahin zuspitzen wollte, aus was für Arten von Schlamm was für Arten von Kröten entstehen. . . .

Der Mathematiker Study schildert diese Zustände so (Jahresberichte der deutschen Mathematiker-Vereinigung, 23. Bd., 1911, S. 322): „. . . . . Erstaunlich aber ist es, daß man doch manchmal ‚Philosophie‘ treibt und wie man sie treibt. Herr V., ein namhafter Physiologe, kennt nicht Ursache noch Wirkung. Doch redet er vom Bedingtsein von Erscheinungen durch andere, und er nennt das Konditionalismus. Herr W., Chemiker seines Zeichens, ist ein grimmer Hasser der Hypothesen. Er schreibt ein Buch, in dem, wie erwähnt, nicht eine einzige Hypothese aufgestellt oder benutzt worden ist. Herr X., ein Botaniker, läßt die Welt eine ‚Tat‘ sein. Für den Physiker Y. gibt es beinahe nichts als Empfindungen. Und nicht besser schneidet der Mathematiker Z. ab, der Geometrie im Laufe der Äonen durch den Kampf ums Dasein entstehen läßt. So werden also viele von uns dennoch Philosophen und dann wohl nicht immer ganz unbedenkliche Philosophen.“

Näheres über diese Zustände schildert u. a. L. § 4 „Was ist Philosophie?“ (S. 4—22; wird auch in Sonderausgabe erscheinen.)

<sup>2)</sup> Archiv für die Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik, Festschrift für K. SUDHOFF, Leipzig, F. C. W. Vogel, 1913, S. 288—293.

Mühe als unzutreffend erweisen. — In Galileis *Discorsi* findet sich allerdings eine Stelle, die beim ersten Hinsehen für die erwähnte Auffassung zu sprechen scheint und auf die sich VOLKMANN beruft; „... von den Ursachen der beschleunigten Bewegung lieber nicht zu sprechen, dagegen die Eigenschaften der beschleunigten Bewegung zu untersuchen und abzuleiten.“

An Stelle einer irreführenden Übersetzung in Ostwalds Klassikern beruft sich POSKE auf die vortreffliche Übersetzung Galileis von WOHLWILL:

„Es scheint mir nicht der passende Zeitpunkt, jetzt auf die Untersuchung über die Ursache der Fallbeschleunigung einzugehen, über die von verschiedenen Philosophen verschiedene Ansichten vorgebracht worden sind... Für jetzt genügt es unserm Autor, daß er uns einige Eigenschaften einer Bewegung erforschen und beweisen will, die (was immer die Ursache der Beschleunigung sei) in der Weise beschleunigt ist, daß in gleichen Zeiten die Geschwindigkeitszunahmen gleiche sind usw.“

Ich (H.) möchte das geradezu eine „goldene Regel“ auch für den Unterricht nennen: Man beschreibt (mit GALILEI) dem Schüler zuerst den freien Fall und erst dann erklärt man ihn (mit NEWTON). Ein solches Auseinanderhalten von Beschreiben und Erklären ist allerdings Bedürfnis für alle Klarheit jedes — wissenschaftlichen wie außerwissenschaftlichen — Denkens, das nicht mehr nach Kinderart unersättlich Warum fragt, ehe es sich die Mühe genommen hat, das Wie ordentlich anzusehen. Man braucht aber das „Zuerst beschreiben“ nicht (mit MACH) zu übertreiben zu einem „Nur beschreiben“. Darum habe ich z. B. das Auseinanderhalten von Phoronomie und Dynamik in meiner „Physik“ (und „Naturlehre“, Oberstufe — ja selbst schon in der Unterstufe für Vierzehnjährige) in aller Schärfe herausgekehrt. Dies aber eben nur in der systematischen Darstellung des gedruckten Buches. So ausschließlich dort aber z. B. zuerst nur von „zentripetaler Beschleunigung“ (§ 13) die Rede ist und ihre Größe  $b_{\perp} = c^2/r$  (rein „beschreibend“) ausgerechnet wird in Analogie zum unmittelbar vorausgegangenen horizontalen Wurf, so habe ich doch in meinem mündlichen Unterricht auch auf der Oberstufe nie unterlassen, das Bedürfnis nach einem rein beschreibenden Begriff dieser zentripetalen oder Normalbeschleunigung im Schüler zu wecken durch eine Vorwegnahme der Legende von NEWTONS Frage nach der Ursache der Beschleunigung des Mondes zur Erde und seiner Antwort: die irdische Schwerkraft wirkt eben nicht nur bis zu den höchsten Bergspitzen, sondern bis zum Mond und über ihn hinaus ins Unendliche. — Dies nur ein Beispiel für hunderte, wie die Didaktik immer wieder Wasser gießen muß in den physikalisch-philosophischen Wein, bis eben der „passende Zeitpunkt“ gekommen ist, die quantitativ exakt beschriebenen „Beschleunigungen“ ebenso exakt zu erklären aus Kräften, also (Teil-)Ursachen.

Vollends aber verlangt es schon der einfachste didaktische Takt von uns Lehrern, daß wir höchstens uns selber, nie aber unsere Schüler hineinreißen lassen in den Wirbel wissenschaftlicher Moden — natürlich noch weniger in allzu kritische und jedenfalls verfrühte Abwägungen, wie viele von ihnen dem Tage oder vielleicht doch der Ewigkeit angehören mögen. Erleben wir nicht soeben eine Abkehr vieler von MACHschen Philosophemen, die noch vor kurzem für das Fortgeschrittenste, nicht mehr zu Überschreitende gegolten hatten? — Auf diese Streitfragen mögen uns zuerst V. und P. antworten und dann als vierter unpersönlicher Mitunterredner die neueste „allgemeine Relativitätstheorie“ (wir werden sie kurz nennen R., s. u. S. 43). Aber zuerst noch

P.: Herr V. greift bei dieser Gelegenheit auf unsere Kontroverse über den Kausalbegriff zurück. Ich folge ihm jetzt nicht auf dieses Gebiet, weise aber den merkwürdigen Vorwurf zurück, den er gegen mich erhebt:

V.: „Für den Herausgeber einer Zeitschrift, die E. MACH zu ihren Begründern,

A. HÖFLER zu ihren Förderern zählt, war mir die Notwendigkeit einer solchen Auseinandersetzung über den Kausalitätsbegriff überhaupt überraschend.“

P.: Als ich bei Begründung der Zeitschrift Herrn MACH ersuchte, dem jungen Unternehmen seinen Namen zu leihen, galt dies Ersuchen dem Manne, der als Physiker und physikalischer Didaktiker eines hervorragenden Ansehens genoß. Daß damit auch die Verpflichtung gegeben sei, der Philosophie MACHS Gefolgschaft zu leisten, daran hat weder der sehr objektiv denkende MACH, noch ich selbst gedacht. Ich habe auch aus meinem abweichenden Standpunkt kein Hehl gemacht. Auch schlug später MACH selber, als er von der Zeitschrift zurücktrat, als seinen Nachfolger A. HÖFLER vor, obwohl ihm dessen gerade in der Kausalitätsfrage abweichender Standpunkt bekannt war. Den freundschaftlichen Beziehungen zwischen MACH und der Zeitschrift hat dies keinen Abbruch getan, wie auch das noch kurz vor seinem Tod von MACH an mich gerichtete Schreiben (Z. U. 29, 63) beweist.

H.: Da ich hier sowohl von V. wie von P. sozusagen als Kronzeuge aufgerufen werde, so habe ich das Recht, ja die Pflicht, neuerdings Stellung zu nehmen. Ich darf also vor allem daran erinnern, daß ich schon in meinen „Studien zur Philosophie der Mechanik“<sup>1)</sup> innerhalb einer eingehenden Erörterung über KIRCHHOFFS vorübergehenden Einfall<sup>2)</sup> und MACHS fortgesetzte Bemühungen, den Ursachebegriff auszuschalten, auch VOLKMANN'S Gedanken über Notwendigkeit<sup>3)</sup> berühre.

Aber die damaligen Meinungsverschiedenheiten über Erklären und Beschreiben, über Kausalismus und Konditionalismus u. dgl. sind jetzt fast verschwindend klein geworden im Vergleich zu dem, was gegenwärtig die physikalische Philosophie bewegt: nämlich die Relativitätstheorie und was mit ihr zusammenhängt.

In physikalischer Sprache: Das spezielle Relativitätsprinzip soll neuestens von gleichförmigen Bewegungen auf beschleunigte durch einen unerhört erweiterten Begriff der „Gravitation“ übertragen werden. Dies übersetzt in unsere abstraktere philosophische Sprache würde besagen, daß, während noch in den Anfängen von MACHS Relativismus der Fixsternhimmel<sup>4)</sup> nur ein unerläßliches Kennzeichen (Erkenntnis-

<sup>1)</sup> Im Nachwort zu meiner Ausgabe von Kants „Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft“ (Pfeffer 1900, jetzt bei Johann Ambrosius Barth, 168 S.).

<sup>2)</sup> MACH schrieb mir, als ich ihn 1895 bei Übernahme der Philosophieprofessur in Wien begrüßte, nach einem Dank für die „launige Apostrophierung“ u. a.: „Wenn auch schon NEWTON gesagt hat: ‚*hypotheses non fingo*‘, und wenn auch R. MAYER sagt: ‚Ist einmal eine Tatsache nach allen ihren Seiten hin bekannt, so ist sie eben damit auch erklärt und die Aufgabe der Wissenschaft ist beendigt‘, so war KIRCHHOFFS Ausspruch noch immer neu genug. Das Vorurteil gegen KIRCHHOFFS Auffassung ist sehr stark, nicht nur bei den Philosophen, sondern auch bei den Physikern. Bei KIRCHHOFF selbst ist die Sache wahrscheinlich nur ein *Aperçu*, denn er hat nicht den Mut [?] gehabt, oder war nicht gerüstet genug, seine Auffassung F. NEUMANN gegenüber aufrecht zu halten. — Unter diesen Umständen darf man einen gewissen Widerstand nicht übel nehmen. Auch die Philosophen und Physiker sind in ihren Privatstunden Menschen und teilen als Mitglieder dieser Spezies die Eigenschaft, lieber zu erstaunen, als sich ernüchtern zu lassen.“ — Eine ähnliche Wahrung der Ansprüche auf das bloße „Beschreiben“ gegenüber KIRCHHOFF auch in MACHS Wärmelehre<sup>1</sup>, S. 405.

<sup>3)</sup> Ich fragte dort S. 47: „Gibt es wenigstens zweierlei Notwendigkeit, ‚Denknotwendigkeit‘ und ‚Naturnotwendigkeit‘? MACH gibt die erstere zu und leugnet die letztere; VOLKMANN leugnet zwar nicht die erstere, die Denknotwendigkeit, läßt aber diese logische Notwendigkeit unser Denken erst von der äußeren Notwendigkeit sozusagen abgelernt haben.“ Dazu in der Anm. die Hauptstelle seiner Abhandlung; „Über die Frage nach dem Verhältnis von Denken und Sein und ihre Beantwortung durch die von der Naturwissenschaft nahegelegte Erkenntnistheorie“, Berichte der kais. Akad. d. Wiss. in Wien 1897.

<sup>4)</sup> In den angeführten „Studien“ hatte ich gefragt (S. 157): „Hätten wir heute eine Mechanik, und zwar wesentlich unsere, die Galilei-Newtonsche Mechanik, wenn sich bei Galileis Geburt der Himmel bewölkt und seither nicht wieder geklärt hätte? Die Frage müßte offenbar verneint werden, wenn wirklich schon zu allen denjenigen Begriffen, welche wie der der ‚Bewegung‘ in dem Gegenstand der Mechanik und wie die phoronomischen Unterschiede einer gleichförmigen und ungleichförmigen, einer geradlinigen und krummlinigen in den allerersten Prinzipien der Mechanik, die Beziehung zum sichtbaren Fixsternhimmel als ein konstitutives Merkmal gehört.“

grund) für alle Bewegung hätte sein sollen und dann in MACHS Polemik gegen NEWTONS Eimerversuch unversehens „Einfluß“ auf irdische Rotationen bekam (also aus dem Erkenntnis- ein Realgrund<sup>1</sup> wurde), nun EINSTEIN, um seine allgemeine Relativitätstheorie durchzuführen, alle [?] Beschleunigungen des Universums „Gravitationswirkungen“ sein läßt. (Der Physiker alten Stiles fragt da verwundert: auch z. B. die Beschleunigung zweier Quecksilbertröpfchen, die sich infolge von Kapillarkräften zu einem ballen? — auch die Schwingungen eines elastischen Stabes? u. dgl. mehr!). — Nicht diese mehr als kopernikanischen ‚Revolutionen‘ aller himmlischen und irdischen Gedankenkreise, die diese neuesten physikalischen Theorien „bedingen“ würden, haben uns aber hier zu beschäftigen, sondern einzig die Frage, wie sich unser Unterricht zu verhalten hätte, wenn diese Theorien ein unbezweifeltes Stück physikalischer Wissenschaft geworden wären. Und da darf es diesem Unterricht geradezu eine Beruhigung sein, daß diese Theorien sich einstweilen noch nicht unabhängig gemacht haben von allerneuester physikalischer Philosophie. Daher über diese noch ein kurzes

### Nachwort,

in dem wir als viertem Mitunterredner im Namen der Relativitätstheorie und unter dem Zeichen R. das Wort erteilen dem Verfasser des Schriftchens „Raum und Zeit in der gegenwärtigen Physik. Zur Einführung in das Verständnis der allgemeinen Relativitätstheorie. Von MORITZ SCHLICK“ (Julius Springer, Berlin 1917, 63 S.). Aus der in sich überaus klaren Darstellung des (in sich noch nicht ebenso geklärten) Gegenstandes nur einige wenige Sätze:

R.: „I. Von Newton zu Einstein. — In unseren Tagen ist die physikalische Erkenntnis zu einer solchen Allgemeinheit ihrer letzten Prinzipien und zu einer solchen wahrhaft philosophischen Höhe ihres Standpunktes hinaufgestiegen, daß sie an Kühnheit alle bisherigen Leistungen wissenschaftlichen Denkens weit hinter sich läßt. Die Physik hat Gipfel erreicht, zu denen sonst nur der Erkenntnistheoretiker empor schaute, ohne sie jedoch immer ganz frei von metaphysischer Bewölkung zu erblicken. Der Führer, der einen gangbaren Weg zu diesen Gipfeln zeigte, ist ALBERT EINSTEIN“. . . . (S. 3): „Er reinigte die Voraussetzungen, die unseren Raum- und Zeitmessungen bisher stillschweigend zugrunde gelegt wurden. Es finden sich darunter unnötige, ungerechtfertigte (z. B. die, daß dem Begriff der ‚Gleichzeitigkeit‘ eine absolute Bedeutung zukomme, während es ganz wohl sein kann, daß zwei Ereignisse, die für einen Beobachter zu gleicher Zeit stattfinden, von einem andern zum ersten bewegten Beobachter mit demselben Recht als nacheinander folgend beurteilt werden); läßt man sie fallen und hält den auch sonst in der Erfahrung wohlbestätigten Satz aufrecht, daß die Lichtausbreitung stets nach allen Seiten mit gleicher Geschwindigkeit erfolgt, so erhält man das Ergebnis des Michelsonschen Versuchs als etwas Selbstverständliches.“

H.: Könnte man nicht noch verständlicher sagen, daß nur das Zeitsignal den entfernteren Beobachter später erreiche? Ist denn zwischen „stattfinden“ und „beurteilt werden“ gar kein Unterschied mehr? Gar keiner zwischen Sein und Denken?

<sup>1</sup> In L. § 58 (L<sup>1</sup> S. 137, L<sup>2</sup> S. 595) hatte ich gesagt, man merke „leicht den großen Unterschied zwischen Begründungen wie z. B. den folgenden: Es ist im Zimmer wärmer geworden. Erk.Gr.: Weil man jetzt schwitzt, während man früher gefroren hatte; weil das Thermometer von 2° auf 25° gestiegen ist. . . . Real.Gr.: weil geheizt worden ist. . . . In welchem Sinne sagt man: Es ist um 1/2° wärmer geworden: Denn das Thermometer ist von 10° auf 10,5° gestiegen; in welchem Sinne: „. . . darum ist das Thermometer. . . ? — Die Abnahme der Schwere gegen den Äquator, folgt a) aus der Zunahme der Schwingungsdauer eines Pendels, b) aus der Rotation der Erde.“ — In L<sup>2</sup> S. 315 führe ich eine Reihe von Stellen an, in denen das Wort „Einfluß“ (das ich deshalb o. S. 38 mit \* bezeichnet habe) unversehens an Stelle bloßer „Anzeichen“ tritt. Hiernach aber brauchte ich, um ein Zimmer wärmer zu machen, nur die Quecksilbersäule des Thermometers in ihm irgendwie zu verlängern (— über naheliegende Einwendungen wäre weiter zu streiten).

R. (S. 4): Seit dem Jahre 1905, in dem EINSTEIN das spezielle Prinzip für die gesamte Physik aufstellte, ist er unablässig bemüht gewesen, es zu verallgemeinern, so daß es nicht nur für geradlinig gleichförmige, sondern für ganz beliebige Bewegungen gültig bleibt. Diese Bemühungen sind im Jahre 1915 zu einem glücklichen Abschlusse gebracht und von vollständigem Erfolg gekrönt worden. Sie führten zu einer neuen Theorie der Gravitationserscheinungen und zu einer denkbar weitestgehenden, nicht mehr überbietbaren Relativierung aller Raum- und Zeitbestimmungen; beide Begriffe spielen in der modernen Einsteinschen Physik eine von Grund aus andere Rolle als in der Newtonschen. — Das sind Ergebnisse von so ungeheurer prinzipieller Bedeutung, daß kein irgendwie naturwissenschaftlich oder erkenntnistheoretisch Interessierter an ihnen vorbeigehen kann. Man muß sich weit in der Geschichte der Wissenschaften umsehen, um theoretische Errungenschaften von vergleichbarer Wichtigkeit zu finden. Man könnte etwa an die Leistung des KOPERNIKUS denken...; die letzten Grundlagen unserer Naturerkenntnis erfahren durch EINSTEIN eine viel tiefer gehende Umgestaltung als durch KOPERNIKUS.“

H.: Warum soll aber, wenn schon alles relativ ist, gerade die Bewegung „von NEWTON zu EINSTEIN“ eine absolute sein?

R. (S. 7): „Raum und Zeit sind in irgendeinem Sinne weniger selbständig als die in ihnen existierenden Dinge. Philosophen haben diese Unselbständigkeit oft hervorgehoben, indem sie sagten, beides existiere nicht für sich, man könnte vom Raum nicht reden, wenn keine Körper da wären und der Begriff der Zeit würde gleichermaßen sinnlos, wenn keine Vorgänge, keine Veränderungen in der Welt existierten. Aber doch sind Raum und Zeit auch für das populäre Bewußtsein keineswegs einfach nichts; gibt es doch große Zweige der Technik, die allein ihrer Überwindung dienen sollen. — Natürlich hängt die Entscheidung der Frage davon ab, was man unter „Wirklichkeit“ verstehen will. Mag nun auch dieser Begriff so im allgemeinen sehr schwer oder gar nicht zu definieren sein, so ist doch der Physiker in der glücklichen Lage, daß er sich darüber mit einer Bestimmung begnügen kann, die ihm die Abgrenzung seines Reiches mit voller Sicherheit gestattet. „Was man messen kann, das existiert auch.“ Diesen Satz PLANCKS darf der Physiker als allgemeines Kriterium benutzen und sagen: nur was meßbar ist, besitzt sicher Realität oder, um es vorsichtiger zu formulieren: physikalische Gegenständlichkeit.“

H.: Dieses „nur“ ist eine sehr gewagte Erweiterung, ja Umkehrung von PLANCKS Satz; denn da man z. B. bis heute das Psychische nicht messen kann (wie es FECHNER von seiner Formel  $e = \log r$  erhofft hatte), da es eine „psychische Elle“ nicht gab und gibt, so wäre alles Seelische nicht wirklich. Dagegen halten wir Psychologen gegenüber den Materialisten (und sonstigen Physizisten) fest, daß das Psychische mindestens ebenso „wirklich“ (real) ist, wie das Physische.

R. (S. 22): Die Gegner der absoluten Bewegung (z. B. MACH) argumentierten vor EINSTEIN immer folgendermaßen: Jede Ortsbestimmung ist, da nur für ein bestimmtes Bezugssystem definiert, ihrem Begriff nach relativ, also auch jede Ortsveränderung; es gibt mithin nur relative Bewegung, d. h. es kann kein ausgezeichnetes Bezugssystem geben; da nämlich der Begriff der Ruhe ein relativer ist, muß ich jedes beliebige Bezugssystem als ruhend betrachten können. — Diese Beweisführung übersieht aber, daß die Definition der Bewegung als *Ortsveränderung schlechthin* nur die Bewegung im Sinne der Kinematik trifft. Für reale Bewegungen, d. h. für die Mechanik oder Dynamik, braucht der Schluß nicht bindend zu sein; erst die Erfahrung muß zeigen, ob er berechtigt war... Es läßt sich nicht aus dem bloßen Begriff der Bewegung beweisen (wie MACH das wollte), daß es kein ausgezeichnetes Bezugssystem, d. h. keine absolute Bewegung geben könne, sondern die Entscheidung muß der Beobachtung vorbehalten bleiben.“

H.: Das ist ein starkes Beispiel, wie schnell ein Hauptsatz von MACHS Philo-

sophie selbst von seinen Gesinnungsgenossen im Relativismus für veraltet erklärt worden ist. Nebenbei auch ein Beispiel, daß hier MACH in der Tat nicht etwa neue Erfahrungen verarbeitete, sondern über die ältesten nur „spekulierte“ — „aus dem bloßen Begriff der Bewegung“ — also ganz wie ein Nur-Philosoph (etwa CHR. WOLFF vor KANT); wie denn auch STUMPF (Tonpsychologie 1883, Bd. I, S. 136) sehr richtig gesagt hat, „daß einige Naturforscher heutzutage mehr spekulieren, als alle Philosophen zusammen...“ Nicht anders ist es auch mit folgender Behauptung von

R. (S. 27): „Die Zentrifugalkräfte, durch die ihre [der Erde] tatsächliche Abflachung zustande gekommen ist, müssen also einer *Wirkung* der Himmelskörper auf die Erde ihr Dasein verdanken.“ Dafür, daß die „Gravitation auch für die Trägheitswirkungen verantwortlich gemacht werden könnte“ [auch muß?], „ist ein Anhalt... und zwar ein höchst bemerkenswerter... der Umstand, daß es für irgendeinen bestimmten Körper eine und dieselbe Konstante ist, welche für die Trägheits- wie für die Gravitationswirkungen maßgebend ist; sie heißt bekanntlich die *Masse*.“

H.: Was uns hier für einen künftigen Unterricht angeht, sind gewiß nicht die neuen Spekulationen über die Realgründe dieser Doppelrolle der Masse, sondern die aus dem „allgemeinen Relativitätspostulat“ (S. 31) sich ergebende Forderung, daß man das Raumzeitliche, also Phoronomische<sup>1)</sup>, auch nicht einmal mehr wenigstens gedanklich soll abgrenzen dürfen gegen dynamische Begriffe, wie die von Trägheit, Gravitation u. dgl. Bisher hatte ich es immer für einen logischen und noch größeren didaktischen Fehler gehalten, wenn man z. B. den Begriff der konstanten Geschwindigkeit aus dem der Trägheit „definierte“. Und als sich auf die Autorität von OSTWALDS Energetik hin bei einigen Lehrern gar die Neigung zeigte, durch Umkehrung der Gleichung  $L = mc^2/2$  zu „definieren“:  $c = \sqrt{2L/m}$ , schien mir das so verrückt<sup>2)</sup>, daß ich für die „Abhandlungen zur Didaktik und Philosophie der Naturwissenschaften“ [Sonderhefte 1—11 dieser Zeitschrift] mein Sonderheft 2 „Zur gegenwärtigen Naturphilosophie“ (1904) schrieb.

Und so versuche ich jetzt wieder einmal davor zu warnen, daß nicht etwa gar auch unseren Schülern zugemutet wird, was eine in meiner L. § 26 näher angeführte, altangesehene philosophische Zeitschrift so schildert: „Mit einem Gemisch von Erstaunen und Verzweiflung steht das Gehirn vor den Trümmern seiner ältesten, besten Besitztümer... und aus dem gestaltlosen Chaos steigt eine neue Denkform empor, unfaßbar und dennoch zwingend: das Prinzip der Relativität... Kein Loskommen möglich und keine Vereinigung. Nur eine grenzenlose Qual, eine Hoffnungslosigkeit, die das einzig Absolute bleibt in dieser neuen Welt der Relativitäten“<sup>3)</sup>. — Ganz

<sup>1)</sup> Diese Kantsche Bezeichnung ist deutlicher als „kinematisch“, das sich nur durch die bedeutungslose Silbe „ma“ unterscheidet von „kinetisch“ — wie in früheren Jahrgängen ausgeführt wurde.

<sup>2)</sup> Man denke sich z. B. eine Schnecke, deren auffallend geringe Geschwindigkeit ich dem Schüler zu Gemüte führen wollte, indem ich ihn aufforderte, sich zuerst die kinetische Energie  $L$  der Schneckenmasse vorzustellen und nur hieraus (durch Dividieren und Wurzelziehen!) sich einen Begriff von diesem kleinen  $c$  zu bilden — aber ja nicht aus der Anschauung, daß dieses Tier in langer Zeit nur kurze Wege durchmißt.

<sup>3)</sup> Nicht minder hart und sehr aufrichtig sagt Dr. phil. FRIEDRICH WÄCHTER [k. u. k. österr. Oberst und Lehrer der Physik an hohen Militärschulen] in „Moderne Probleme der Naturwissenschaft“ [„Mitteilungen über Gegenstände des Artillerie- und Geniewesens“, Jhrg. 1915, 12. Heft, S. 16 der SA]: „Nur sehr wenige haben bisher den Mut gehabt, sich offenerzig zu äußern. Zu diesen wenigen gehört der rühmlichst bekannte Wiener Physiker Hofrat Ernst LECHER, welcher sich, wie folgt, äußerte: ‚Wenn der bisher geduldige Leser sich bei den letzten Abschnitten verzweifelt an den Kopf gegriffen und gestöhnt hat ‚Mir wird von alledem so dumm‘ usw., so mag es ihm vielleicht einigen Trost gewähren, daß es den Fachleuten da auch oft nicht viel besser geht. Das alles ist ja Zukunftsmusik. Eine einheitliche Auffassung dieser neuen Lehren ist selbst bei den Pfadfindern dieses Gebietes noch keineswegs vorhanden. Es handelt sich hier um so schwierige Ideen, daß eben abzuwarten ist, was aus diesem Hexenkessel, geheizt mit physikalischen Schlüssen



allgemein sage ich zum Schluß jenes L. § 26 (S. 346): „Wenn nun gegenwärtig ganze Wissenschaften sich dem Ideal eines solchen Relativismus anzunähern trachten und auf die Entleerung der ihren Urteilen zugrunde liegenden Vorstellungen von aller Anschauung recht eigentlich stolz sind, so bleibt für die Frage, ob dies ein Hochmut ist, der vor dem Fall kommt, die Geschichte der Entwicklung ganzer Wissenschaften abzuwarten. Nicht einmal die Methodenlehre der Logik, geschweige ihre Elementarlehre täte gut, sich hier auf Prophezeiungen einzulassen. Nur soviel ist schon jetzt gewiß, daß die in vielen Anzeichen sich kundgebende Entfremdung zwischen strengster „Wissenschaft“ und dem an den Wirklichkeiten aller Art haftenden „Leben“ sich durch jene wissenschaftliche Tendenz zum Bilden von lauter Begriffen ohne alle Anschauung nur zu vergrößern vermöchte.“ — FELIX KLEIN hat öfters davor gewarnt, daß wenn man bestimmte Begriffe schon der Mathematik, z. B. den der Zahl, ablöst von aller Anschauung und Konkretheit, dann nicht so leicht wieder ein Anschluß zu finden ist an die Wirklichkeit. — Wird „die Mannigfaltigkeit aller Zahlenquadrupel  $x_1 x_2 x_3 x_4$ “ (R 55) den Weg zurück finden auch nur zu Raum und Zeit als „Formen unserer Anschauung“ (nicht des bloßen Denkens, wie die Neukantianer COHEN u. a. wollen — was „bei Kant freilich . . . nur sehr undeutlich zum Ausdruck“ komme, R 54)?

Was also auch an wissenschaftlicher Physik und Philosophie (und wo immer es sonst noch spezielle und allgemeine Relativitätstheorien oder gar den allgemeinsten und summarischen Relativismus gebe) zu einem relativ Absoluten künftig werden möge — für die physikalische Didaktik und allen übrigen Wirklichkeitsunterricht kann nur die alte Wahrheit erneut eingeschärft werden und muß auf immer absolut feststehen: Vor dem Denken die Anschauung! Für den physikalischen Didaktiker gilt also u. a. auch nicht der erste, aber um so mehr der zweite der folgenden Sätze von

R. (S. 51): „Der Physiker braucht sich um die Untersuchungen des Psychologen über die Raumanschauung nicht im geringsten zu kümmern. Sobald es sich aber um die letzte erkenntnistheoretische Klärung der Naturwissenschaft handelt, wird es nötig, sich von dem Verhältnis beider volle Rechenschaft zu geben. Das ist Sache der philosophischen Besinnung, denn der Philosophie fällt anerkanntermaßen die Aufgabe zu, die letzten Voraussetzungen der Einzelwissenschaften bloßzulegen und untereinander in Einklang zu bringen.“

H.: So dankenswert die hier von SCHLICK in seinem letzten Abschnitt „VIII. Beziehungen zur Philosophie“ angedeuteten Unterscheidungen sind, so kann es den Kenner doch nicht überzeugen, wenn z. B. behauptet wird

R. (S. 52): Nun sind aber die Daten verschiedener Sinnesgebiete untereinander ganz unvergleichbar, die Räumlichkeit der taktilen Empfindungen z. B. ist etwas *totò genere* Verschiedenes von der Räumlichkeit der optischen; wer, wie der Blinde, nur die erstere kennt, kann sich auf Grund ihrer keinerlei Vorstellung von der letzteren machen. *Der Tastraum hat also nicht die geringste Ähnlichkeit mit dem Gesichtsraum*, und der Psychologe muß sagen: „es gibt so viele anschauliche Räume als wir verschiedene Sinne besitzen.“

H.: Ist das gar so sicher, wie hier SCHLICK (mit BERKELEY 1710) meint? Gerade umgekehrt hatte ARISTOTELES gesagt, der Raum sei ein *αἰσθητὸν κοινόν* und STUMPF (Über den psychologischen Ursprung der Raumvorstellung, 1873, Hirzel, S. 287, 301 u. a.) und ich<sup>1)</sup> sind ähnlicher Ansicht. Warum sprächen wir sonst überhaupt von Sehraum und Tastraum mit dem nämlichen Worte „Raum“? — Doch dies nur als *argu-*

und mathematischen Formeln, schließlich herausbrodeln wird.“ (Physikalische Weltbilder von Prof. Dr. E. Lecher. Verlag Th. Thomas, Leipzig 1912, S. 86.)

<sup>1)</sup> Vgl. meine Psychologie (1897, vergriffen — eine zweite Aufl. in Vorbereitung), § 46: Der psychologische Ursprung der Raumvorstellungen (S. 304—346).

*mentum ad hominem* — zu einem wirklich fachmännischen Urteil über „Raum“ (den „Empfindungsraum“, wie ihn EWALD HERING, † 28. Jänner 1918, und mit ihm u. a. sein Freund ERNST MACH zu nennen wagten, m. E. mit Recht, trotz KANT, HERBART, LOTZE, HELMHOLTZ und so vielen anderen) gelangt man nur durch überaus umfassende und schwierige psychologische, also philosophische Studien, wie sie von einem nur physikalischen Philosophen oder physikalischen Psychologen füglich nicht verlangt und erwartet werden können. — Dagegen unabhängig von Philosophie sagt

R. (S. 49): „... Jeder wird gerne zugeben, daß EINSTEIN vollständig recht hat, wenn er (am Schluß des § 14 seiner Schrift „*Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie*“) sagt: „Daß diese aus der Forderung der allgemeinen Relativität auf rein mathematischem Wege fließenden Gleichungen . . . in erster Näherung das Newtonsche Attraktionsgesetz, in zweiter Näherung die Erklärung der von Leverrier entdeckten . . . Perihelbewegung des Merkur liefern, muß [!] nach meiner Ansicht von der physikalischen Richtigkeit der Theorie überzeugen.“

H.: Muß? OPPENHEIM, mein astronomischer Kollege an der Universität Wien, führt („Zur Frage nach der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Gravitation“, *Annalen der Physik*, IV. Folge, Bd. 53, Heft 10, 1917) eine ganze Reihe von Möglichkeiten vor, diese Störung des Merkurperihels zu erklären (anknüpfend an eine durch OPPENHEIM schon 1903 geübte Kritik). Sollte nun nicht auch die „Relativitätstheorie“ einstweilen nur eine Hypothese unter mehreren zur Erklärung jener Perihelbewegung sein? Auch dies muß ja die Logik unseres physikalischen und philosophisch-propädeutischen Unterrichtes dem Schüler zur Denkgewohnheit machen, sich nicht vorschnell an eine Hypothese zu verkaufen. —

Da wir nun an unseren Schulen weder physikalische, noch allumfassende „Philosophie“, sondern nur allerbescheidenste „philosophische Propädeutik“<sup>2)</sup> mittelst Einführung in Logik und Psychologie behalten, bzw. wiedergewinnen wollen (— neben, ja zum Teil vor diesem „Unterricht in Philosophie“ auch soviel als möglich „Philosophie in allem Unterricht“), so wird das erste Dutzend unserer „Abhandlungen zur Didaktik und Philosophie der Naturwissenschaft“ abgeschlossen werden durch ein Sonderheft „Philosophische Propädeutik und Physikunterricht“. Möge ihr seit drei Jahren am Baikalsee gefangener Verfasser, Prof. Dr. OTTO POMMER aus Wien, uns recht bald seine Arbeit zum Druck mitbringen!

## Zwei Streitfragen über den Betrieb der Schülerversuche.

Von  
Hermann Hahn.

1. Über die Art, wie ich seinerzeit die Schülerversuche betrieben habe, sind leider Mißverständnisse entstanden, weil sich in den letzten Jahren hervorragende Schulmänner darüber geäußert haben, ohne in meinem *Handbuch für physikalische Schülerversuche* die Vorrede, die Bemerkungen zu den Aufgaben und den Anhang gründlich zu lesen. Sie haben dabei unbewußt Schöpfungen ihrer eigenen Einbildungskraft als mein Machwerk bekämpft.

Mit meinen Gegnern stimme ich vollkommen überein im Ablehnen jener verkehrten Verfahren, die nicht ich, sondern sie eronnen haben. Ich freue mich stets über jeden Fortschritt in den Verfahren der verwebten Schülerübungen und in dem Bau von Geräten für Schülerversuche, besonders wenn man dabei meine Ansichten

<sup>2)</sup> Vgl. einstweilen „Philosophische Propädeutik in neuester Literatur“. Von Dr. Hans SCHMIDKUNZ. Mit einer Einführung von HÖFLER (Buchhandlung des Waisenhauses, Halle 1917).

und Einrichtungen wirklich verbessert. Sicherlich kann man die Schülerversuche viel geschickter handhaben, als ich es seinerzeit vermochte; und ich bin noch heute eifrig bemüht, junge Lehrer so auszubilden, daß sie dereinst mich weit übertreffen. Doch diese Selbsterkenntnis macht mich nicht blind gegen die Gefahr, die darin liegt, daß man Verfahren, die ich selber für falsch halte und heftig bekämpfe, irrig als meine Verfahren ausgibt und daß in dem Durcheinander wirklich Gutes verkannt wird und als schlecht erscheint. Durch diese Verwirrung können junge und noch unerfahrene Amtsgenossen beim Ausbilden ihrer Lehrverfahren auf falsche Bahnen gelockt werden. Um sich dagegen zu schützen, rate ich Anfängern dringend: wenn sie etwas über den Betrieb verwebter Schülerversuche lesen, jedesmal sorgfältig zu prüfen, ob der Verfasser selber längere Zeit hindurch solche Übungen erfolgreich geleitet hat. Redet er ohne eigene Unterrichtserfahrungen über Schülerversuche, hat er ohne volles Verständnis bei solchen Übungen nur zugeschaut, oder hat er sein Lebenlang nach ganz andern Verfahren gearbeitet: dann empfehle ich den jungen Amtsgenossen, mit aller Vorsicht, welche die Rücksicht auf die ihnen anvertraute Jugend erheischt, einmal zu versuchen, das Gelesene im Unterricht zu verwirklichen, dabei das Arbeiten ihrer Schüler sorgfältig zu beobachten, hierauf in meinem Handbuch die entsprechenden Anleitungen mit Einschluß der Vorrede, der Bemerkungen und des Anhanges gründlich zu lesen, nun, falls sie über die nötigen Einrichtungen (unbrauchbare Nachahmungen sind selbstverständlich ausgeschlossen) verfügen, einige meiner Versuche zu wiederholen und alsdann die Leistungen beider Verfahren vorurteilsfrei zu vergleichen.

In einer größeren Abhandlung, die ich an einer andern Stelle veröffentliche, werde ich einige Lehrgänge mit eingewebten Schülerversuchen ausführlich schildern. Hier behandle ich kurz nur zwei allgemeine Fragen über den Betrieb der Schülerversuche, nämlich das Einstellen der Aufmerksamkeit der Schüler und das Aufschreiben der Versuchsergebnisse.

2. Das Erziehen der Schüler zum selbständigen Denken und Handeln kostet viel Zeit; deshalb müssen wir den Lehrstoff strenger auswählen als bei Darbietungen, wo das Zuschauen und Reden überwiegt. Ein Schulmann, der in seinen Unterricht Übungen einwebt, muß mit der Zeit sparsamer umgehen als ein Lehrer, der nur Schauversuche vorführt. Daher darf der Lehrer Schülerversuche fast nur bei grundlegenden Aufgaben anwenden, und er muß das Erreichen ihrer Ziele unbedingt sichern. Das geschieht am besten beim Stellen der Aufgabe<sup>1)</sup>, d. h. beim gemeinsamen Erarbeiten der Frage, auf welche die Versuchsergebnisse antworten sollen. Hierbei leite der Lehrer so unmerklich wie möglich die Schüler zur richtigen Fragestellung. Sie müssen ihre Einbildungskraft frei spielen lassen, die ja in der Jugend noch so fruchtbar ist. Bei den Übungen gibt der Lehrer keine „Nummern“. Die Schüler, hier vor „Vieren“ und „Fünfen“ bombensicher, äußern sich lebhaft und frei. Bei dem offenen Meinungsaustausch und regen Pläneschmieden, gezügelt und gelenkt durch eingeschaltete Vorversuche, reinigen sie durch Aussprechen ihre Köpfe von vielen Riesendummheiten, die bisher ihr Denken trübten. Durch diese Erkundungen ist schließlich die Fragestellung herausgearbeitet, sind die Geräte ersonnen, das Verfahren festgelegt und die Versuche in Gedanken ausgeführt. Ungewiß bleibt aber noch das künftige Ergebnis der Versuche; denn nach Abschluß dieser vorangehenden Erörterungen muß die Frage unbedingt noch als Frage ohne Antwort dastehen. Erst das wirkliche Ausführen des Schülerversuchs darf die Entscheidung bringen. Aus der Fülle der Erscheinungen, die jeder Versuch zeigt, hebe man beim Aufstellen der Aufgabe die wesentlichen Erscheinungen hervor, damit jeder Schüler genau weiß, was er beob-

<sup>1)</sup> Hahn, Handbuch d. phys. Schülerübungen<sup>2</sup>, S. 472.

<sup>2)</sup> Der Schall<sup>2</sup>, S. 141.

achten soll. Dieses Einstellen der Aufmerksamkeit ist selbst für den größten Forscher unbedingt erforderlich.

Tyndall<sup>2)</sup> erzählt: „Dabei erinnere ich mich eines Vorfalles, der sich in diesem Raum<sup>1)</sup> bei dem Beginn meiner Bekanntschaft mit Faraday zutrug. Ich wünschte ihm eine eigentümliche Wirkung eines Elektromagnets auf einen Krystall zu zeigen. Ich hatte alles dazu vorbereitet, als er gerade in dem Augenblick, ehe ich den Magnet erregte, seine Hand auf meinen Arm legte und mich fragte: ‚Worauf soll ich achten?‘ Inmitten der Fülle von Eindrücken, die mit einem Versuch verbunden sind, erkannte selbst dieser erste unter allen Experimentatoren, wie nötig es sei, zu wissen, auf welchen besondern Punkt er seine Aufmerksamkeit lenken sollte.“ Welcher Lehrer wäre so vermessen zu glauben, daß seine ungeübten Schüler besser beobachteten als ein Faraday?

3. Man hat mir auch vorgeworfen, daß mein Verfahren handwerksmäßiges Ausfüllen vorgedruckter Tafeln verlangte. Ich habe zwar einen *Leitfaden für physikalische Schülerübungen* geschrieben, doch ihn meinen Schülern nicht in die Hand gegeben. Wenn wir, die Schüler und ich, beim Aufstellen einer Aufgabe den Gang der Versuche festlegten, richteten wir nach gemeinsamen Überlegungen die Tafeln ein, wozu die Schüler die Bezeichnungen der Geräte, die bekannten Festwerte der Versuche, die Messungen, gewisse Rechnungen und die Versuchsergebnisse eintragen sollten. Dabei füllten die Schüler zunächst nur die Köpfe der Spalten für die Messungen aus; die Köpfe der Spalten für die Rechnungen und die Versuchsergebnisse blieben einstweilen noch frei, damit die Schüler beim Beobachten und Schließen ganz unbefangen waren. Vor den Versuchen trugen die Schüler die Bezeichnungen der Geräte und die Festwerte der Versuche ein und während der Versuche die Ergebnisse ihrer Messungen. Erst nach den Versuchen, beim Auswerten der Beobachtungen, füllten die Schüler schrittweise die Köpfe der Spalten für die Berechnungen und die Versuchsergebnisse aus. Am Ende der Übung sollte der Schüler in dem Heft seine Versuche so vollständig und zuverlässig aufgeschrieben haben, daß jeder sie mit Sicherheit wiederholen und nachprüfen kann<sup>2)</sup>. Das sorgfältige Ausfüllen der Tafeln liefert unentbehrliche Unterlagen für das Ausbilden im sachlichen Denken und hat mithin hohen Wert für die Erziehung.

Man hat gefordert, das Entwerfen der Tafeln ganz den Schülern zu überlassen. Eine langjährige Erfahrung hat mir gezeigt, daß selbst junge Oberlehrer mit der Befähigung, Physik in allen Klassen zu lehren, manchmal nicht imstande sind, die Ergebnisse ihrer Versuche sofort einwandfrei aufzuschreiben. Wohl jedem erfahrenen Forscher begegnet es zuweilen, daß er beim Ausführen neuer Versuche seine Tafeln schlecht anlegt. Darf man bei solchen Erfahrungen wagen, den Schülern das Einrichten der Tafeln zu überlassen? Darf sich der Lehrer der Gefahr aussetzen, daß sich beim Auswerten der Versuche herausstellt, daß die Schüler unentbehrliche Angaben nicht aufgezeichnet haben und deshalb die Ergebnisse ihrer Versuche nicht feststellbar sind? Das wäre unverantwortliche Vergeudung der so knappen und kostbaren Zeit; das wäre sträflicher Leichtsinns und mangelnde Fürsorge. Ein tüchtiger Lehrer schätzt die Schüler so ein, wie sie wirklich sind, und nicht so, wie sie sein sollten; er stellt an seine Schüler nur erfüllbare Forderungen.

<sup>1)</sup> Vortragssaal der Royal Institution zu London.

<sup>2)</sup> Handbuch<sup>2</sup> S. 477 Ratschläge und S. 482 Übungsberichte.

## Versuche über die Zusammensetzung von Schwingungen.

Von

Rudolf Ulrich, Pilsen.

Fällt ein Lichtstrahl auf den Spiegel einer schwingenden Stimmgabel oder Feder, so vollführt auch der Strahl harmonische Schwingungen. Er zeichnet auf einem Schirm eine Gerade auf. Läßt man ihn noch von einem sich drehenden Spiegel reflektieren, so erscheint am Schirm eine Sinuslinie als Weg-Zeit-Kurve der Schwingung. Fällt der Strahl nacheinander auf zwei schwingende Spiegel, so wird er zu zwei harmonischen Bewegungen veranlaßt und im Bilde erscheint die der Zusammensetzung entsprechende Kurve.

Es soll nun gezeigt werden, wie mit Hilfe eines doppelseitigen Spiegels nicht nur die resultierende Schwingung, sondern auch die Komponenten sichtbar gemacht werden können.

Vor den Lichtbogen *B* einer Bogenlampe (Fig. 1) stellt man eine Blende mit zwei in einer Wagrechten liegenden Öffnungen  $O_1$  und  $O_2$ . Das Licht geht horizontal in der Höhe der schwingenden Spiegel  $S_1$  und  $S_2$  durch die Linsen  $L_1$  und  $L_2$ . Die Schwingungsachse der Spiegel sei horizontal. Das Strahlenbündel 1 wird von  $S_1$  nach  $S_2$  über den Drehspiegel  $D$  nach dem Schirm  $E$  reflektiert, wo es in  $A$  das Bild von  $O_1$  erzeugt. Das Strahlenbündel 2 geht über  $D$  zum Schirm und liefert an einer anderen Stelle des Schirmes ein Bild von  $O_2$ . Dreht man  $S_2$  um eine vertikale Achse, so müssen die Bilder zur Deckung kommen.

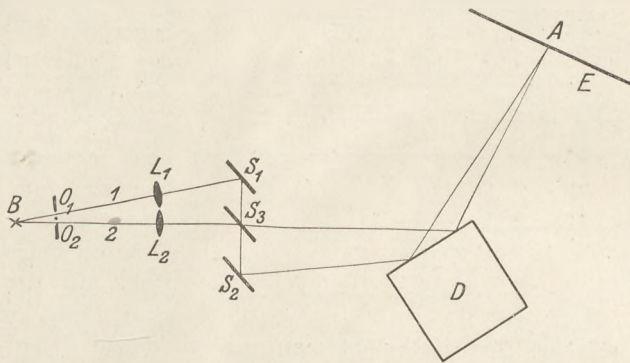


Fig. 1.

Stellt man im Schnittpunkte der von  $S_1$  reflektierten Strahlen 1 und der Strahlen 2 eine beiderseits spiegelnde Fläche  $S_3$ , deren Mitte von der Belegung befreit ist, so auf, daß sie den Winkel der Strahlen halbiert, so wird ein Teil der Strahlen von  $S_3$  reflektiert, ein Teil hindurchgelassen. Die Strahlen 1 werden dann in einen Teil geteilt, der von  $S_1$  nach  $S_2$ ,  $D$  und  $A$  reflektiert, nur die Schwingung des ersten Spiegels zeichnet, zweitens in einen Teil, der durch  $S_3$  nach  $S_2$ ,  $D$  und  $A$  geht und die zusammengesetzte Schwingung zeichnet. Die Strahlen 2 werden ebenfalls in zwei Teile zerlegt, wovon der eine durch  $S_3$  nach  $D$  und  $A$  kommt und die Zeitachse der Kurve zeichnet, der andere Teil, von  $S_3$  nach  $S_2$ ,  $D$  und  $A$  reflektiert, nur die Schwingungen des Spiegels  $S_2$  darstellt.

Die Öffnungen der Blende,  $O_1$  und  $O_2$ , haben eine Entfernung von 6 mm und einen Durchmesser von 0,5 mm. Man erzeugt sie leicht in einem 1 mm starken Zinkblech, indem man mit einem 1 mm starken Bohrer vorbohrt, den sich auf der entgegengesetzten Seite bildenden Buckel mit einer Feile entfernt und durch die geschwächte Stelle eine Nähnadel hindurch treibt.

Die Linsen  $L_1$  und  $L_2$  sind billige Sammellinsen ( $f \sim 250$  mm). Sie sind auf einem Pappendeckel mit Ausschnitten durch Siegellack so weit voneinander befestigt ( $\sim 32$  mm), daß durch jede Linse nur ein Strahlenbündel hindurchgeht, wenn sie in der zur Bilderzeugung nötigen Entfernung von der Blende aufgestellt sind.

Über die zur Erzeugung der Schwingungen benützten elektromagnetischen Stimmgabeln ist nichts Besonderes zu erwähnen. An Stelle des teuren Stimmgabelapparates kann man mit gleichem Erfolge einen Apparat verwenden, der zur Selbstanfertigung

geeignet ist. Er besteht aus drei elektromagnetisch erregten Federn, dem Doppelspiegel und zwei Holzkästen als Ständer für die Federn. Zwei der Apparate sind

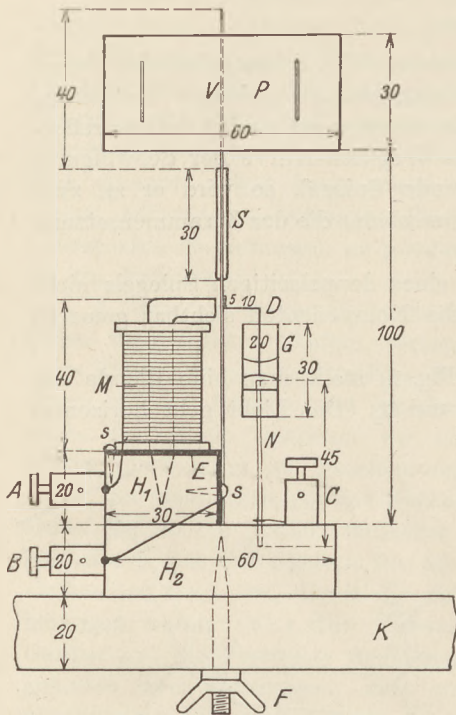


Fig. 2.

stärkere Feder versieht man nur mit einem Spiegel. Die fertige Feder wird mittelst vier Schrauben  $s$  an der einspringenden

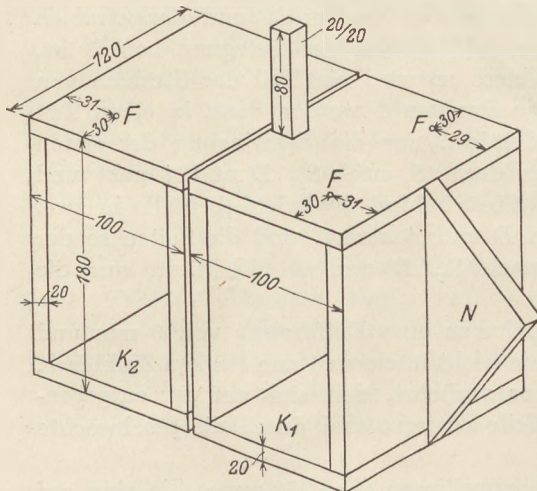


Fig. 3.

geschlagen. Zur Aufnahme des Quecksilbers dient das Glasrohr  $G$  ( $l = 30$  mm,  $d = 10$  mm), das mittelst eines durchbohrten Korkes verschiebbar am Nagel befestigt ist. Für jede Feder schneidet man aus Zeichenpapier zwei Streifen von  $30/60$  mm Fläche, bestreicht sie bis gegen die kürzere Mittellinie mit Gummi und klebt sie aneinander. Parallel zur Schmalseite,  $15$  mm von ihr entfernt, schneidet man einen dünnen,  $10$  mm

bis auf die Zahl der Klemmschrauben gleich gebaut, der dritte besitzt eine stärkere Feder, die als höhere Oktave der ersten schwingt.

Die elektromagnetische Feder (Fig. 2): Ein Holzklotz  $H_1$  von der Größe  $30/30/20$  mm ist auf einen solchen  $H_2$  von  $60/30/20$  mm auf drei Seiten bündig aufgeleimt. Die Stahlfeder ist  $100$  mm lang,  $10$  mm breit und  $0,5$  bzw.  $0,7$  mm stark. Ein Eisenblechstreifen  $E$  ( $50/30/1$  mm) wird zu einem rechten Winkel gebogen. Die Schenkellängen sind  $20$  und  $30$  mm. In die Mitte des längeren Schenkels bohrt man für den Magnetkern ein  $4$ -mm-Loch, weiter  $4$  Löcher für die Schrauben  $s$  in die Ecken des Winkels. Die Stahlfeder lötet man in der Mitte des kürzeren Schenkels  $20$  mm lang an. An das freie Ende der Feder wird ein Messingdraht ( $l = 40$  mm.  $d = 1,5$  mm) angelötet, ferner  $35$  mm von demselben Ende entfernt ein zweimal in einer Ebene nach entgegengesetzten Seiten senkrecht umgebogener  $1$  mm starker Eisendraht  $D$ . Die Schenkellängen sind  $5$ ,  $10$  und  $20$  mm. Zwischen beiden Drähten befestigt man an der Feder mit Siegelack, mit den Rückseiten einander zugekehrt, zwei dünne Spiegel von  $30/30$  mm Fläche. Die

stärkere Feder versieht man nur mit einem Spiegel. Die fertige Feder wird mittelst vier Schrauben  $s$  an der einspringenden Seite des Holzklotzes  $H_1$  befestigt. Der Elektromagnet  $M$  besteht aus einem sogenannten Drahtkern von  $\sim 60$  mm Länge und  $4$  mm Durchmesser. Auf den glatten Teil desselben schiebt man zwei Scheiben aus Holz oder Pappendeckel von  $20$  mm Durchmesser und bewickelt den Zwischenraum ( $\sim 40$  mm) für die Unisonofedern mit vier Lagen, für die Oktavfeder mit sechs Lagen von  $1/2$  mm starkem, umsponnenem Kupferdraht. Den Magnet schraubt man in die obere Fläche von  $H_1$  ein, die Polfläche soll dann  $2$  mm von der Feder entfernt sein. Der Quecksilberunterbrecher ist auf einem  $2$  mm starken Nagel  $N$  aufgesetzt, der durch Abwickeln des Kopfendes auf die Länge von  $45$  mm gebracht wird. Er wird  $10$  mm vor der Feder im unteren Holzklotz  $5$  mm tief eingeschlagen.

langen Spalt ein. Diese Blenden  $P$  schiebt man über den mit Siegellack bestrichenen Messingdraht  $V$ , so daß ihre Ebene senkrecht zur Fläche der Feder steht. Zur Stromzuführung dienen bei einem der Unisonoapparate und dem Oktavapparat die drei Klemmen  $A$ ,  $B$ ,  $C$ . Der zweite Unisonoapparat trägt nur die Klemmen  $A$  und  $C$ .  $A$  ist mit dem einen Ende der Magnetwicklung verbunden, das zweite Ende wird unter die Schraube  $s$  geklemmt. Von  $s$  führt ein Draht nach  $B$ . Die Klemme  $C$  steht mit dem Nagel  $N$  in Verbindung.

Zur Aufstellung der Federn benützt man zwei beiderseits offene Holzkästen  $K_1$  und  $K_2$  (Fig. 3). Sie sind aus 20 mm starkem Holze gefügt und sind 120 mm lang und 100 mm breit. Ihre Höhe ist so zu bemessen, daß die Spiegel der aufgesetzten Apparate in die mittlere Höhe des Drehspiegels zu liegen kommen. In der Mitte der 120 mm langen Kante des Kastens  $K_1$  erhebt sich senkrecht zur Fläche 100/120 eine 80 mm lange Holzsäule von 20/20 mm Querschnitt. Weiter sind in der Mitte der Seitenflächen beider Kästen parallel zur Höhe zwei rechtwinklige, gleichschenklige Dreiecke  $N$  aus 20 mm starkem Holze mit den Hypotenusenflächen angeleimt. Für die Flügelmutterschrauben  $F$  bohrt man drei Löcher, größer als der Schraubendurchmesser, in den in der Figur 3 kenntlich gemachten Entfernungen von 29, 30 und 31 mm.

Als Halter für den Spiegel  $S_3$  biegt man einen 20 mm breiten und 55 mm langen Messingblechstreifen von 1 mm Stärke nach Fig. 4 einmal rechtwinklig und einmal um  $180^\circ$ . Die Schenkellängen sind 5,20 und 30 mm. In den nicht überdeckten Teil bohrt man ein Loch für eine Holzschraube. Der doppelseitige Spiegel  $S_3$  wird aus zwei dünnen Spiegelglasstreifen ( $l = 30$  mm,  $b = 20$  mm), hergestellt, deren Belegungen man parallel zur längeren Mittellinie in einer Breite von 10 mm entfernt. Man klebt sie, mit den Belegungen einander zugekehrt, mittelst Kanadabalsam aufeinander, siegelt die Schmalseite des Spiegels an den 5 mm breiten Rand des Halters und schraubt das Ganze auf die Stirnseite der Säule.

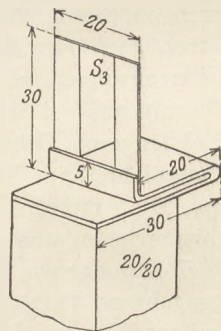


Fig. 4.

Die gleichgebauten Apparate haben nahezu dieselbe Schwingungsdauer. Die Abgleichung erfolgt nach der Methode von LISSAJOUS (siehe z. B. MÜLLER-POUILLET, 10. Aufl., 1. Bd., S. 671.) Man befestigt die Federn an den Kästen, legt sie um, so daß sie von den Nasen  $N$  unterstützt werden und stellt sie so gegenüber, daß die nun senkrecht zueinander stehenden Spalte wenige Millimeter voneinander entfernt sind. Die Spalte beleuchtet man mit der Bogenlampe und projiziert mittelst Linse das Bild auf einen 3—4 m entfernten Schirm. Die Magnete werden mit vorgeschaltetem Widerstande parallel zu einem Akkumulator geschaltet. Die Veränderung der Schwingungsdauer erzielt man durch Abzwicken, später durch Feilen des über die Blenden ragenden Messingdrahtes. Mit Rücksicht auf die unten angegebene Schaltungsweise kann man sich mit langsamen Schwebungen begnügen und verzichte man auf eine genaue Abstimmung, die bei Federn nicht leicht zu erreichen ist und leicht wieder gestört ist. Ebenso trachte man bei der Abstimmung der Oktavfeder diesen Grad der Übereinstimmung zu erreichen.

Versuchsordnung. Der Kondensator der Bogenlampe wird entfernt, die Blende mit den Öffnungen  $O_1$  und  $O_2$  4 cm vor dem Lichtbogen aufgestellt. Die wagrecht in Spiegelhöhe aus den Blendenöffnungen tretenden Strahlenbündel vereinigt man mittelst der Linsen zu zwei Bildern auf einem 1,5 m entfernten Schirm. Nun stellt man den Kasten  $K_1$  ungefähr 20 cm von den Linsen entfernt so auf, daß 1 an  $S_1$  gespiegelt wird und nach der Reflektion ebenso wie 2 durch die Mitte von  $S_3$  geht. Dann rückt man  $K_2$  nahe an  $K_1$  heran, derart, daß die von  $S_1$  kommenden Strahlen von  $S_2$  aufgenommen und nach dem Drehspiegel und dem Schirm gespiegelt

werden. (Linsen-Drehspiegel  $\frac{1}{2}$  m, Drehspiegel-Schirm 1 m.) Durch Drehen von  $K_2$  bringt man die zwei Bilder zur Deckung. Sollten sie verschiedene Höhenlage haben, so legt man unter das Holzklötzchen der einen Feder einen dünnen Keil. Am Schirm erscheinen weiter, symmetrisch zu den schon vereinigten Bildern die durch  $S_2$  gespiegelten, die man durch Drehen des Spiegels um die Befestigungsschraube und durch Einführen eines dünnen Keiles zwischen oder unter die Messingstreifen mit den ersten Bildern zur Deckung bringt. Nachher beschwert man die Kästen durch Gewichte, die man in den Hohlraum legt.

Die Spiegel befinden sich bei dieser Aufstellung nahe den Linsen, wo die Strahlenbündel noch so breit sind, daß die Lichtverteilung durch  $S_3$  keine Schwierigkeit macht. Sollte die resultierende Kurve zu lichtschwach sein, so braucht man nur den Spalt von  $S_3$  etwas zu vergrößern.

Die Vereinigung aller Strahlen in einem Punkte gilt streng nur für die zur Einstellung gewählte Stellung des Drehspiegels, weshalb man nur in der Nähe dieses Punktes beobachten lassen darf, wo die Verschiebung noch nicht merklich ist. Dies trifft aber bis zu 1 m Schirmlänge zu. Ferner ist die Weglänge der Strahlen nicht die gleiche, die Bilder können daher nicht gleich scharf sein, ein Umstand, der schon bei 1,5 m Schirmentfernung sehr wenig merkbar ist.

Die Magnete erregt man durch den Strom eines Akkumulators nur so stark, daß  $S_3$  das ganze von  $S_1$  reflektierte Strahlenbündel faßt. Schlagen die Federn an die Magnetkerne, so entstehen störende Obertöne. Die Regulierung der Stromstärke kann durch ein Stück Widerstandsdraht besorgt werden, ich benütze dazu die kleinen preiswerten „Schülerwiderstände“ von Ruhstrat. Wenn die einmal erregten Federn nicht weiterschwingen, so kann der Fehler in folgendem liegen. Die Einstellung des Quecksilberniveaus ist falsch, oder die Flügelmutterschrauben sind zu wenig angezogen. Nach längerem Gebrauch des Unterbrechers ist das Quecksilber, das man mit Petroleum überschichtet, im Petroleum verteilt, weshalb der Kontakt schlecht wird.

Die Amplituden der hintereinander geschalteten Apparate sollen nicht zu sehr verschieden sein, was sich leicht dadurch erreichen läßt, daß man den Magnetkern gegen die Feder oder von ihr wegdrückt. Die Amplituden der Komponenten sind unter den angegebenen Verhältnissen ungefähr 20 cm, und da sie trotz der Teilung der Strahlen genügend lichtstark sind, so ist das Bild noch aus 8 m Entfernung gut zu beobachten.

Versuche. Mit dem Apparat kann nach dem Vorhergehenden sowohl die Zusammensetzung paralleler als auch zueinander senkrechter Schwingungen demonstriert werden. 1. Man schaltet die Unisonoapparate hintereinander, wobei der Strom, von dem Apparate 1 unterbrochen, nur durch den Magnet des zweiten fließt. Verdeckt man durch einen Blechstreifen den Spalt von  $S_3$  und hält die Feder des Apparates 2 fest, läßt sie dann los und zieht endlich den Blechstreifen von dem Spiegel weg, so beobachtet man zuerst die Komponenten, dann die resultierende Kurve. Die Komponenten addieren sich,  $A = a_1 + a_2$ , Phasendifferenz = 0. 2. Schaltung wie bei 1. Apparat 2 wird um  $180^\circ$  gedreht. Die Komponenten haben eine Phasendifferenz von  $180^\circ$ , daher  $A = a_1 - a_2$ . 3. Die Apparate werden parallel zu der Stromquelle geschaltet. Die Federn schwingen unabhängig voneinander. Bei langsamen Schwebungen ist die abwechselnde Addition und Subtraktion der Amplituden deutlich zu verfolgen. Zur Erzielung rascherer Schwebungen beschwert man die eine Feder mit einem Korkstückchen, das man auf den Draht  $V$  steckt. Vorher kann man auch bei stillstehendem Drehspiegel durch Drehen von  $S_3$  die drei Bilder seitlich auseinanderrücken. Man sieht dann in der Mitte die sich verändernde Schwebungsamplitude, links und rechts davon die konstante Amplitude der Komponenten. 4. An Stelle der Unisonofeder 2 tritt die Oktavfeder. Schaltungen wie bei Versuch 1, 2 und 3. 5. Zur Demonstration zweier aufeinander senkrechter Schwingungen gilt für die Aufstellung das unter Abstimmung der Federn Besprochene, bezüglich der Schaltung das unter 1—4 Erwähnte.



## Über Vereinheitlichung von Gerätschaften und Mensurierung von Gefäßen im chemischen Experimentalunterricht.

Von

O. Ohmann in Berlin.

Beim Vorbereiten von Vorlesungs- und sonstigen Unterrichts-Versuchen hat es wohl jeder schon oft als lästig empfunden, wenn dieser oder jener Kautschukstopfen nicht zur Kolbenhalsweite, dieser oder jener Schlauch nicht zur Glasröhrenweite usw. passen will, und manche Zeit geht mit Suchen oder mit Ändern des Planes oder mit Neubestellungen oder, was das sicherste aber unbequemste ist, mit Selbstaussuchen bei den Firmen verloren. Andererseits werden auf Bestellungen hin von den Firmen zuweilen Gerätschaften geliefert, die wegen irgendwelcher Mängel — z. B. zu enger oder zu weiter Hals bei Retorten, Vorlagen usw. — oft über Jahr und Tag nicht verwendet werden und eine Art Ladenhüter darstellen (was sie wohl schon bei den Firmen waren). Wer nun an seiner Anstalt über reichliche Geldmittel zur ersten Ausrüstung des gesamten chemischen Unterrichts verfügen konnte und wem ebensolche laufenden Mittel zur Verfügung stehen, so daß zu den meisten Versuchen abgepaßte Zurichtungen vorhanden sind und nur den Schränken entnommen zu werden brauchen — innerhalb gewisser Grenzen eine wichtige Sache des Unterrichts —, der wird durch all solche Mängel weniger belästigt werden. Wer aber nicht unter solchen Voraussetzungen arbeitet und wer, den Fortschritten der chemischen experimentellen Technik folgend, gelegentlich neue, in Zeitschriften veröffentlichte Versuchsanordnungen erproben möchte oder selbst an solchen neuen Versuchen weiterarbeitet, oder aber wer mitten im Unterricht zur Entscheidung plötzlich auftauchender Fragen — oft sogar auf Anregung seitens der Schüler hin — eine dementsprechende Versuchsanordnung schnell zusammenstellen möchte, der wird die angedeuteten Mängel oft sehr drückend empfinden.

Das beste Mittel zur Beseitigung solcher Unzuträglichkeiten liegt m. E. in einer gewissen Vereinheitlichung der Gerätschaften. Mannigfache Gerätschaften, Apparateile und Gefäße können mit Vorteil einer solchen Vereinheitlichung unterworfen werden. Es sei zunächst ein wichtiger Bestandteil fast aller Versuchsanordnungen, die einfache Glasröhre, ins Auge gefaßt. Bei der üblichen kilogrammweisen Bestellung von Glasröhren werden sie seitens der Firmen gewöhnlich von den verschiedensten Weiten und Wandstärken geliefert. Etliche dieser Glasröhren sind gewöhnlich ganz unpraktisch und kaum verwendbar, die mittleren Weiten werden schnell verbraucht und so tritt an guten brauchbaren Röhren bereits ein Mangel ein, während der ganze übrige Rest noch einen ausreichenden Vorrat vortäuscht, mit dem man sich oft gehörig herumzuplagen hat.

1. Vereinheitlichung von Glasröhren. Seit Jahren trete ich daher verschiedenorts dafür ein, zu den vielgebrauchten rechtwinklig-gebogenen Glasröhren, zu den Gaszuführungsröhren der Gaswanne und zu sonstigen bei der Zusammenstellung der gewöhnlichen Versuchsanordnungen nötigen Röhrenstücken immer nur einerlei Glasrohr zu verwenden und zwar von solchen Abmessungen, daß einerseits genügend freier Abzug der Gase, andererseits genügende Festigkeit beim Einpassen in die Stopfen usw. gewährleistet ist. In dieser Beziehung bewährte sich und empfahl ich daher ein Glasrohr von 8 mm äußerem und 6 mm innerem (lichtem) Durchmesser, also von einer Wandstärke von 1 mm (Fig. 1). — Die Vorteile sind mannigfacher Art. Man bedarf z. B. zum Durchbohren der Korke nur eines Korkbohrers, der, gesondert vom übrigen „Satz“ immer

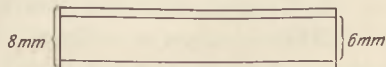


Fig. 1.

zur Hand liegt. Die Glasröhren passen ferner alle in die irgendwo mit diesem Bohrer hergestellten Durchbohrungen; man kann also Glasteile immer nach Belieben austauschen.

Allgemeine Bemerkung. Wohlverstanden, wir treten weder bei den Glasröhren noch bei den übrigen Gerätschaften für eine ausschließliche Uniformierung ein; wir möchten nur die Vorteile bestimmter Vereinheitlichungen in das rechte Licht setzen. Sonst wird sich vieles nach den zu Gebote stehenden Geldmitteln richten. Bei nicht ganz primitivem chemischen Unterricht wird man z. B. von den Glasröhren immer einen kleinen Vorrat einzelner engerer Röhren, bis herab zu 4 oder 3 mm äußerem Durchmesser und ebenso einzelner weiterer, bis herauf zu 3 oder 4 cm Weite einmalig anschaffen müssen.

**2. Vereinheitlichung von Bechergläsern.** Die Kochbecher werden gewöhnlich in sogenannten „Sätzen“ angeschafft, vom kleinsten bis zum größten immer eins über dem andern stehend — eine ideale Raumausnutzung. Aber werden nicht auch hier die meisten Größen höchst selten benutzt, meist nur, weil die am besten passenden nicht ausreichen? Was man an Bechergläsern bedarf, ist nicht eine Fülle möglichst verschiedenartiger Größen, sondern — für etliche Schauversuche — eine größere Anzahl gleicher Bechergläser von mittlerer Größe. Welche Größe soll bevorzugt werden?

Hier möchte ich für eine Sache eintreten, die m. E. viel zu wenig im Unterricht berücksichtigt wird: für bestimmt mensurierte Gefäße. Gewöhnlich wird in den Katalogen der Firmen alles nach Höhe bzw. Durchmesser zusammengestellt und mit Preisstufen versehen. Viel wichtiger ist in den meisten Fällen die Angabe des Inhaltes. Zunächst bei den Bechergläsern verwende man also Gefäße, die bei der Füllung bis zu etwa 1 Finger breit vom Rande gerade 200 oder 300 oder auch noch 250 ccm Flüssigkeit enthalten. Ein mit schwarzem Farblack angebrachter

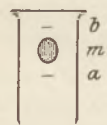


Fig. 2.

Eichungsstrich, dem man am besten noch einen zweiten, die halbe Füllung bezeichnenden Teilstrich hinzufügt, macht das Becherglas zu einem solchen bestimmt mensurierten Gefäß (Fig. 2). Derartige Gefäße haben in verschiedener Hinsicht große Vorteile: Beim Einfüllen von Flüssigkeit kann man mit Leichtigkeit ihre Menge abschätzen; beim Umgehen mit solchen Gefäßen im Klassenunterricht wie zumal in den chemischen Schülerübungen gewöhnt der Schüler sein Auge an sicheres Schätzen; er wird immer erneut dazu angehalten, stets nach Zahl und Maß zu handeln — kurz, die wichtige quantitative Seite der Versuche kommt mehr zu ihrem Recht.

Die Vereinheitlichung von Bechergläsern soll also darin bestehen, daß eine größere Reihe derartig mensurierter gleichgroßer Becher angeschafft werden; am meisten empfehlenswert ist ein Inhalt von 300 ccm; je nach den Verhältnissen wird man noch eine zweite Reihe von Gläsern mit 200 ccm oder auch 250 ccm Inhalt dazu nehmen. Am besten wäre es, wenn gleich seitens der Firmen die (doppelten) Eichungsstriche angebracht würden (und zwar als Ätzung, ohne irgendwelche Zahlen). — Entsprechend der obigen „Allgemeinen Bemerkung“ ist natürlich bei genügenden Mitteln noch ein mehr oder weniger weit reichender „Satz“ von Bechergläsern anzuschaffen. — Jedes Becherglas soll noch das schon vielfach übliche kreisförmige Mattschildchen für Notizen besitzen, wie das z. B. bei den Jenaer Erzeugnissen der Fall ist. — Das Gesagte gilt auch für die konischen Kochbecher (Griffithbecher) bei denen die Heizfläche nach Art der Erlenmeyerkolben etwas erweitert ist.

**3. Vereinheitlichung von Fußzylindern.** Für die Fußzylinder gelten ganz ähnliche Betrachtungen wie für die Bechergläser. Auch hier bedarf man viel häufiger paarweise gleicher Zylinder als lauter verschiedenartiger Größen. Man sollte Fußzylinder, abgesehen von 1 oder 2 ganz großen, überhaupt nie einzeln anschaffen, sondern immer nur paarweise. Aber auch die Paare brauchen nicht von sehr ver-

schiedener Größe zu sein; die Vereinheitlichung soll vielmehr auch hier darin bestehen, daß eine größere Anzahl gleicher Fußzylinder angeschafft wird. Sofort ist dieser Gesichtspunkt mit der eben erwähnten Mensurierung zu kombinieren. Es ist z. B. bei Gasentwicklungen ungemein nützlich, sofort zu wissen bzw. zu schätzen, wieviel Gas bei einer bestimmten Operation im ganzen entwickelt wurde. Ich empfehle daher Fußzylinder, die gerade 400, 500 oder 600 ccm enthalten. Es ist nicht erforderlich, daß sie bei voller Füllung genau die angegebenen Inhalte zeigen — das wäre eine Erschwerung der Fabrikation, während wir mit dem allen auf Erleichterungen hinarbeiten —, es genügt, wenn sie ungefähr so viel enthalten; jedoch ist es zu bevorzugen, daß der Inhalt ein wenig größer ausfalle, als das jeweilige Maß, damit der Eichungsstrich noch unterhalb des oberen (mattgeschliffenen) Randes seinen Platz finden kann. Mindestens noch ein, die Hälfte angegebender Teilungsstrich ist hinzuzufügen (Fig. 3), besser noch das Ganze nach Viertel- oder Fünftellitern zu mensurieren. — Daß die neuen geeichten Fußzylinder ebenso kräftig gebaut werden müssen, wie das bisher bei Fußzylindern die Regel ist, sei ausdrücklich erwähnt; denn alle Fußzylinder müssen gelegentlich Explosionsversuchen mit verschiedenartigen explosiven Gasgemischen gewachsen sein.

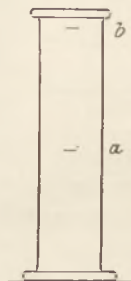


Fig. 3.

**4. Vereinheitlichung bzw. Eichung der Probierröhrchen.** Bei dem vielgebrauchten Artikel der Probierröhrchen (Probierröhrchen, Reagensgläser, Eprouvetten — welches Wort nur erwähnt wird, um die Bitte an die österreichischen Herren Fachgenossen anzuschließen, diesen hartnäckig eingewurzelten Fremdling endgültig mit dem Weltkriege ausrodern zu wollen) hat sich eine gewisse Vereinheitlichung im Laufe der Zeit wie von selbst eingestellt. Die Größen 18 cm Länge bei 16 mm Weite und 9 cm Länge bei 16 mm Weite beherrschen den Markt und werden allenthalben fast ausschließlich angeschafft. Hier ist eher dafür zu sorgen, daß man — zumal für gewisse Schauversuche — auch etwas größere Nummern nicht vergesse (wofür ich schon 1889 in meinem Leitfaden der Chemie, unter „Angaben zu den Versuchen“ eintrat). — Für sehr viele Versuche, besonders für alle trockenen Erhitzungen eignen sich am besten die Jenenser Fabrikate; für die meisten dieser Versuche genügt schon das Probierröhrchen aus dem Jenenser „Gerätéglass“, für weitergehende Erhitzungen bewährt sich dann vorzüglich das aus „Verbrennungsröhrchenglas“ hergestellte.

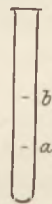


Fig. 4.

Wichtig ist die Mensurierung. Sie kann sich auf einen kleinen eingezätzten Strich, der eine Einfüllung von 5 ccm bezeichnet, beschränken; wünschenswert ist immerhin noch ein zweiter (Fig. 4) bei 10 ccm (wegen der beeinträchtigten Schätzung zufolge des kugeligen Endes).

**5. Vereinheitlichung der (Hofmannschen) Kelchgläser.** Die von A. W. v. Hofmann eingeführten Kelchgläser (Spitzgläser) werden in sehr verschiedenen Formen angefertigt. Noch recht beliebt sind die seinerzeit von Hofmann selbst verwendeten schlanken Gläser mit hohem, noch mit einem vorspringenden Ring verzierten Fuß. Mögen aber diese zierlichen Gläser mit ihrem schmalen Fuß noch so angenehm an die beliebten Champagnergläser erinnern, — für den Experimentalunterricht haben sie einen großen Fehler: sie sind infolge des hochgelegenen Schwerpunktes zu wenig stabil. Will man sie aus ästhetischen Gründen dennoch verwenden, so ist für manche Versuche eine besondere Stabilisierung wünschenswert, am besten mit Bleiblech nach H. Rebenstorff (diese Ztschr. 23, 342; 25, 171 und im „Experimentierbuch“); eine sehr sichere Stabilisierung solcher Kelchgläser habe ich an der Hand einer Figur in einem Aufsatz in „Natur und Schule“ 1915, S. 580, angegeben (auch enthalten in dem vom Zentralinstitut f. Erz. u. Unt. herausgegebenen Werke „Biologische Schularbeit“, Quelle & Meyer 1916, S. 126). Es sei aber empfohlen, von dieser Art von Kelchgläsern ganz abzusehen, und sie allgemein durch eine etwas gedrungene, tiefer

ausgehöhlte und mit breiterem Fuß versehene Form (Fig. 5) zu ersetzen, wie sie ähnlich schon hin und wieder im Handel anzutreffen ist. Auch hier ist mindestens ein Eichungsstrich (*a*), bei 10 ccm Füllung, anzubringen.

**6. Vereinheitlichungen bei Erlenmeyer- und anderen Kolben und bei Retorten.** Bei den Kolben handelt es sich um größere Übereinstimmungen in den Halsweiten so daß ein und dieselbe Kork- bzw. Kautschukstopfengröße für Kolben verschiedenen

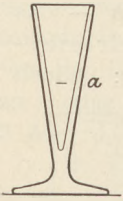


Fig. 5.

Inhalts paßt. Bisher war oft die Halsweite bei den kleineren Kolben zu klein, bei den größeren (z. B. Literkolben) zu groß. Wir bestreiten, daß hier einfache Proportionalität das richtige ist. Auch bei kleineren Kolben ist für viele Versuche ein Stopfen erforderlich, der zwei bis drei Durchbohrungen besitzt; natürlich sind auch hier wieder die 8 mm-Glasröhren zu verwenden. Diesen Anforderungen hat die Halsweite zu entsprechen. Andererseits genügen solche Stopfen auch für Kolben größeren Inhalts — denn mehr Durchbohrungen werden nur bei ganz vereinzelt Versuchen benötigt. Wir schlagen also für die gangbarsten Kolben — und zwar gleichmäßig für Erlenmeyer-, Steh- und Rundkolben — von 250, 500 und 750 ccm Inhalt übereinstimmende Halsweite von 30 mm vor. — Bei den Retorten handelt es sich ähnlich um größere Übereinstimmungen in der Weite des Röhrenendes. Hier herrschte bislang große Willkür. Neuerdings wieder auftauchende Formen mit zu engen Röhren sind zu verwerfen, denn häufig ist bei Retorten mit auftretenden zähen oder festen Kondensprodukten zu rechnen; die 8 mm-Röhre wäre hier nicht am Platze. Wir empfehlen für die üblichen Inhaltsgrößen 100 und 250 ccm eine übereinstimmende Weite des Röhrenendes von  $\sim 12$  mm äußerem Durchmesser. Hiermit hängen wieder übereinstimmende Durchbohrungen zusammen, falls die Retorte in eine Vorlage mittelst Kork mündet. Ist dagegen Schlauchanschluß erwünscht, so gelingt dieser bei der eben erwähnten Röhrenweite gerade noch mit dem gewöhnlichen kräftigen Gasschlauch. Bei größeren Inhalten lassen sich ebenfalls noch gewisse Übereinstimmungen der Röhrenweite durchführen.

**7. Vereinheitlichung bei Sicherheits-Trichterrohren und anderen Gerätschaften.** Sicherheits-Trichterrohre sowie alle längeren Trichterrohre (z. B. von Glocken- und kleineren Hahntrichtern) sollten alle die Weiten der unter Nummer 1 angeführten Glasröhren besitzen, also 8 mm äußeren, 6 mm inneren Durchmesser. Auch bei verschiedenen anderen Gerätschaften können Vereinheitlichungen platzgreifen, z. B. können die schwerschmelzbaren Glasröhren (am besten aus Jenaer Verbrennungsröhrglas) für die meisten Versuche von übereinstimmender Weite sein. Für die teuren Kautschukstopfen sowie Schläuche ergeben sich weitgehende Vereinfachungen unmittelbar aus dem Vorhergehenden. Man wird mit 2 bis 3 Größen bei den Stopfen und ebenso bei den Schläuchen auskommen. Für die Korke gilt ähnliches, doch kann man sich hier eine etwas größere Auswahl gönnen, wird aber den Hauptgrößen (für die Probierröhren, Kolben, Verbrennungsröhren) größere Fächer in der Schublade einräumen.

**Schlussbemerkungen.** Die meisten Gedanken zu den vorstehenden Ausführungen wurden schon vor Beginn des Krieges gefaßt; das Hauptziel war Vereinfachung und bessere Ausnutzung der Gerätschaften. Durch den Weltkrieg erhält die Sache in doppelter Hinsicht Gegenwartsbedeutung. Erstens werden wir noch lange Zeit unter verschiedenlichem Materialmangel zu leiden haben; da sind also Vereinfachungen ganz am Platze. Zweitens werden wir auf allen Gebieten große Sparsamkeit walten lassen müssen. Was in dieser Beziehung die Durchführung vorstehender Vereinheitlichungen zu leisten vermag, liegt wohl klar auf der Hand, zumal für alle Anstalten mit einfacheren Mitteln; nicht zuletzt denken wir dabei auch an die einfachsten Landschulen, denen ein gewisser experimenteller chemischer Unterricht dringend notwendig und leicht, mit ganz geringen Kosten, seitens der ärmsten Landgemeinde einge-

richtet werden könnte. Als in der Königlichen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht, gelegentlich einer Sitzung der Kursusleiter, die Angelegenheit der Vereinheitlichung von Gerätschaften der maschinellen Technik erörtert wurde, hob der Leiter der Hauptstelle, Prof. Hahn, gerade diesen Gesichtspunkt der Sparsamkeit als besonders wichtig hervor. In der Technik liegen ja umfangreiche „Normalisierungen“ bereits vor, und es handelt sich dort, bei der Durchführung solcher Vereinheitlichungen um die Ersparung von Millionen. Es ist aber auch eine weitere Ausgestaltung der Sache für den physikalischen und chemischen Unterricht dringend erwünscht. Die vorstehend behandelte Sache richtet sich daher nicht nur an alle, die mit dem chemischen Experimentieren zu tun haben, sondern ebenso sehr an die Firmen. Es liegt sicher im Interesse der Firmen, nicht von allen möglichen Größen gewisser Gerätschaften ein gleich großes Lager vorweisen zu müssen, sondern von bestimmten Normalgrößen gleich recht viel herstellen zu lassen und so viel auf Lager zu haben, daß stets der Nachfrage sogleich genügt werden kann. Ein unmittelbarer Vorteil liegt auch in der dadurch ermöglichten Verbilligung; es ist ohne weiteres klar, daß jedes Fabrikzeugnis um so billiger wird, je mehr es sich dem „Massenfabrikat“ nähert — man denke beispielsweise an die auffallend billigen Batteriegläser. Endgültige Normen können natürlich erst durch das Zusammenwirken vieler sich ergeben, etwa auf Grund von Beratungen in Fachkonferenzen — eine dankbare Aufgabe der Kgl. Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht. In den vorstehenden Ausführungen konnte es sich daher nur im wesentlichen darum handeln, für solche Vereinheitlichungen einzelne bestimmte Größenangaben zu machen, die sich in der Praxis bereits bewährt haben, sowie um verschiedenartige Vorschläge, nach welchen Richtungen hin Vereinheitlichungen erfolgen können. Sie sollen aber schon jetzt den Firmen als Anregung dienen, der Sache der Vereinheitlichung und Vereinfachung chemischer Gerätschaften näherzutreten und bereits einzelnes versuchsweise zur Durchführung zu bringen. Der jetzige Zeitpunkt ist dafür insofern besonders geeignet, als die Vorräte mehr und mehr auf die Neige gehen; beim Wiedereinsetzen stärkerer Produktion wird dafür zu sorgen sein, daß frühere Fehler vermieden werden. Für den chemischen Experimentalunterricht versprechen wir uns von der ganzen Sache erhebliche günstige Wirkungen, insbesondere auch für die chemischen Schülerübungen.

### Kleine Mitteilungen.

#### Ein Beitrag zur Bestimmung des Lichtbrechungsverhältnisses in den Schülerübungen.

Von Dr. F. Schüt, Berlin, Arndt-Realschule.

Das hier dargestellte einfache, für Schülerübungen geeignete Verfahren zur Bestimmung des Lichtbrechungsverhältnisses  $n$  ist anwendbar auf planparallele Glasplatten, deren schmale Seiten geschliffen und poliert sind, und auf Flüssigkeiten, die sich in Glaskästen aus Spiegelglas befinden.

Das Bild  $A_1$  (Fig. 1) des innerhalb einer Glasplatte befindlichen Punktes  $A$  liege für jemanden, der dasselbe senkrecht von oben betrachtet (die Trennungsfäche  $DF$  zwischen Luft und Glas horizontal angenommen), im Schnittpunkt des Strahles  $AE$  ( $\perp DF$ ) und der gedachten Verlängerung des gebrochenen Strahls  $BC$ . Nun ist:

$\sin \alpha = \frac{BE}{BA_1}$ ,  $\sin \beta = \frac{BE}{BA}$ , also  $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{BA}{BA_1}$ . Wegen der geringen Größe des

Pupillendurchmessers fällt in Wirklichkeit  $B$  nahezu mit  $E$  zusammen. Infolgedessen ist für die durchgeführte praktische Messung das Verhältnis  $\frac{BA}{BA_1}$  gleich dem

Verhältnis der senkrechten Abstände der Punkte  $A$  und  $A_1$  von  $DF$ , also  $\frac{AE}{A_1E}$ , das experimentell leicht ermittelt werden kann.

Man schneide mit scharfem Messer einen rechteckigen Streifen Millimeterpapier von geeigneter Größe, kniffe ihn rechtwinklig und befestige ihn so, wie Fig. 2 zeigt, an der Glasplatte. Beobachtet wird das Bild  $a_1$  des Papierrandes  $a$ , und zwar erfolgt die Beobachtung mit dem rechten Auge senkrecht, von oben. Zur Bestimmung des Ortes von  $a_1$  dient der mit der rechten Hand gefaßte Nadelhalter. Durch Entlangfahren der Nähadelspitze  $G$  an dem Rande  $LS$  des Papierrandes wird  $G$  in die Verlängerung des Bildes  $a_1$  gebracht. Eine geringe Bewegung des Kopfes zeigt, ob  $G$  auch wirklich die geforderte Lage hat. Dann ist  $\frac{LS}{LG} = n$ . Das Verfahren bei Flüssigkeiten im Glaskasten ist dasselbe.

Ich verwende Glasplatten von  $7 \text{ cm} \times 7 \text{ cm} \times 0,6 \text{ cm}$  und Glaskästen verschiedener Abmessungen (gut geeignet ist z. B.  $12 \text{ cm} \times 12 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$ ).

Im folgenden soll noch an einem Zahlenbeispiel gezeigt werden, daß der durch das Verfahren selbst be-

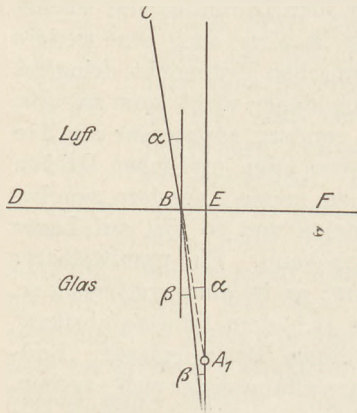


Fig. 1.

dingte Fehler, indem

$$n = \frac{AE}{A_1E} \text{ statt } \frac{AB}{A_1B}$$

gesetzt wird, tatsächlich gegenüber dem möglichen Beobachtungsfehler des Resultates vernachlässigt werden darf.  $AE$  und  $A_1E$  wurden als Mittel aus je 5 Messungen zu 70,75 mm resp. 46,36 mm ermittelt.  $n$  ist also  $\frac{70,75}{46,36} = 1,526$ . Da die Summe der Fehler von  $AE$  und  $A_1E$  etwa  $1\%$  betragen wird, muß  $n$  ebenfalls mit einem Fehler von  $1\%$  behaftet sein. Es ist demnach zu erwarten, daß in dem Resultat die zweite Dezimalstelle eine kleine Abweichung von dem wahren Wert aufweist, wogegen bei der dritten von Genauigkeit nicht mehr die Rede sein kann. Gibt man nun  $BE$  den (sicher zu großen) Wert von 2 mm, so wird

$$\frac{AB}{A_1B} = \frac{\sqrt{70,75^2 + 2^2}}{\sqrt{46,36^2 + 2^2}} = 1,525.$$

Die geringfügige Abweichung der beiden Werte für  $n$  in der dritten Dezimalstelle darf aber gegenüber dem zu erwartenden Beobachtungsfehler in der zweiten Dezimalstelle mit Recht vernachlässigt werden.

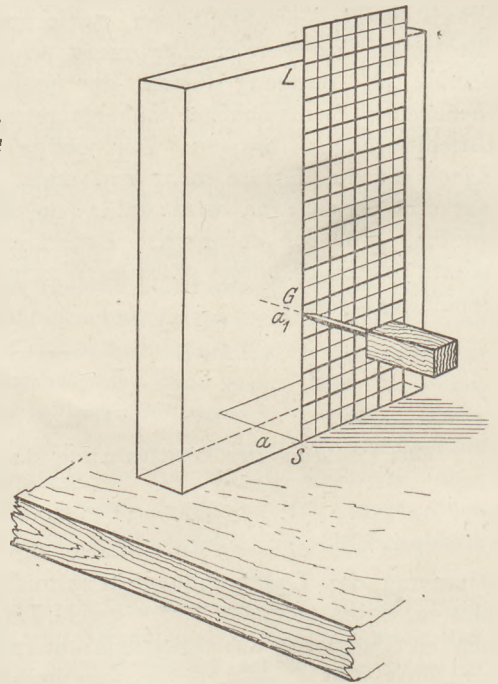


Fig. 2.

## Demonstrationsversuche zur Anwendung der totalen Reflexion in optischen Instrumenten.

Von Prof. Otto Uhlmann in Lübeck.

Zu den Gebieten der Physik, die durch ihre Anwendung in der Kriegstechnik besonders in den Vordergrund getreten sind, gehört zweifellos die totale Reflexion. In unseren Lehrbüchern spielt sie nur eine ganz untergeordnete Rolle. Abgesehen vom Grenzwinkel der totalen Reflexion und von der Erklärung der Luftspiegelungen findet höchstens die Anwendung beim gewöhnlichen Prismenfernrohr Erwähnung. Das entspricht aber wohl nicht mehr ganz der Bedeutung, die heute die totale Reflexion für so viel genannte Instrumente wie Scherenfernrohr, Entfernungsmesser und Periskop hat. Sind die Lehrbücher ein Abbild des Unterrichts, so kommen auch in ihm diese Erscheinungen recht schlecht weg, und das ist bedauerlich, weil gerade hier im Gegensatz zu vielen anderen Fragen, auf die der Krieg im Physikunterricht führt, eine Behandlung mit Experimenten möglich ist, die überaus einfach sind und nur ganz geringe Mittel erfordern. Als Versuchsmaterial genügen einige rechtwinklige Prismen, wie man sie von optischen Anstalten billig oder umsonst als Ausschußware erhält. Ich benutze insbesondere zwei Paar solcher Prismen, die größeren mit der Kathetenfläche  $4\frac{1}{2} \times 4\frac{1}{2}$  cm, die kleineren mit  $3 \times 2$  cm, wobei es übrigens auf die Größe gar nicht weiter ankommt. Nur ist eine gewisse Größe wegen des bequemen Abfangens der Lichtstrahlen wünschenswert.

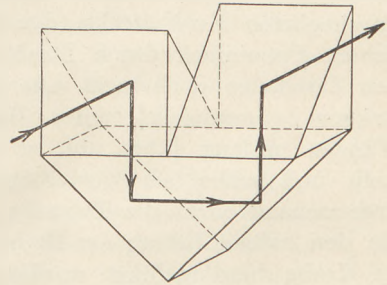


Fig. 1.

Außer diesen Prismen gebrauche ich noch einen kleineren prismatischen Glaskörper von trapezförmigem Querschnitt, wie er als Dovesches Prisma im Periskop verwendet wird. Man kann an seiner Stelle ebensogut das in den Sammlungen meist für Projektionszwecke vorhandene Bildumkehrprisma verwenden. Als Gegenstand für die Versuche dürfte sich ein in Stanniol ausgeschnittenes hellbeleuchtetes F am besten eignen, von dem man durch eine Linse ein richtig stehendes Bild an der gegenüberliegenden Wand entwirft. Bringt man dann in den Strahlengang hinter die Linse, am besten an die Stelle der stärksten Einschnürung der Strahlen, die Glasprismen, so kann man an der Decke oder an den Wänden oder nach Bedarf auch auf einem Schirm die Wirkung der Spiegelung sichtbar machen. Es wird sich dabei um folgende einfachen Versuche handeln: Zunächst zeigt man die einmalige Spiegelung an der Hypotenusenfläche und dann die zweimalige an den Kathetenflächen mit der Umkehrung von rechts und links. Dann ordnet man auf einem Tischchen zwei Prismen gekreuzt an wie im Porroschen System und zeigt die dadurch erzielte vollständige Bildumkehr. Aus dieser letzten Prismenanordnung lassen sich nun leicht die Umkehrsysteme entwickeln, wie sie in Instrumenten verwendet werden. Fig. 1 zeigt einen aus einem großen und zwei kleinen aufgebauten Glaskörper, der ebenfalls eine vollständige Umkehrung liefert. Verschiebt man schließlich das eine der kleinen Prismen parallel zu sich selbst (Fig. 2), so ergibt sich der zweiteilige Umkehrsatz, wie er im Scherenfernrohr Verwendung findet, wobei das

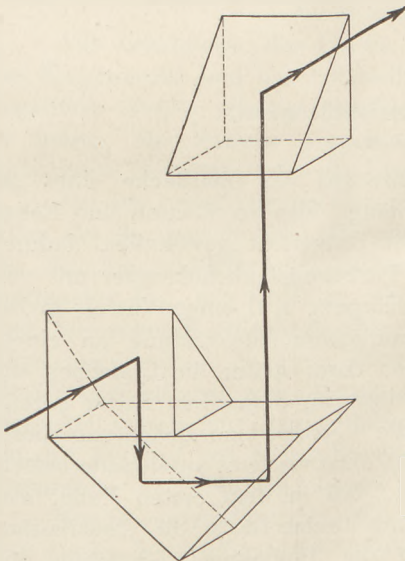


Fig. 2.

leicht die Umkehrsysteme entwickeln, wie sie in Instrumenten verwendet werden. Fig. 1 zeigt einen aus einem großen und zwei kleinen aufgebauten Glaskörper, der ebenfalls eine vollständige Umkehrung liefert. Verschiebt man schließlich das eine der kleinen Prismen parallel zu sich selbst (Fig. 2), so ergibt sich der zweiteilige Umkehrsatz, wie er im Scherenfernrohr Verwendung findet, wobei das

einzelne Prisma bekanntlich als Objektivprisma, das zusammengesetzt als Okularprisma dient. Daß bei subjektiver Beobachtung die Wirkung der Prismen ganz entsprechend ist, bedarf auch den Schülern gegenüber kaum der Erwähnung. Auf ganz besonderes Interesse wird man natürlich stoßen, wenn man zum Schluß die Vorgänge am Periskop veranschaulicht. Es handelt sich hierbei um zweierlei. Einmal darum, daß bei dem zum Absuchen des Horizonts notwendigen Drehen des Objektivprismas ein allmähliches Umlegen des Bildes vor sich geht und zweitens darum, daß die erforderliche Wiederaufrichtung durch das Dovesche Prisma geleistet wird, wenn dieses, wie es im Periskop durch Zahnradübertragung geschieht, halb so rasch gedreht wird, wie das Objektivprisma. Beide Erscheinungen lassen sich überaus einfach zeigen. Zur Anstellung der Versuche dient ein Bunsenstativ, das oben und unten je einen Ring, dazwischen eine Klemme trägt. Das obere Prisma steht auf einem Pappdeckel mit runder Öffnung, das untere befindet sich der bequemen Aufstellung wegen in einer Holzfassung, während das Dovesche Prisma in einem durchbohrten Kork steckt, der in der Klemme des Stativs bequem gedreht werden kann. So einfach durch Strahlenzeichnung die Erklärung auch ist, es wirkt auf den Zuschauer doch recht überraschend, wenn eine einfache Drehung des oberen Prismas — zunächst unter Weglassung des mittleren — das F an allen vier Wänden entlang führt und es dabei allmählich auf die Seite legt, auf den Kopf stellt und schließlich wieder in die ursprüngliche Lage zurückführt. Und ebenso überraschend wirkt die Tatsache, daß beim Mitdrehen des Doveschen Prismas jeweils um den halben Betrag der Drehung des oberen Prismas das F in aufrechter Stellung im Kreise herumgeführt werden kann. Zeigt man dann etwa im Lichtbilde Abbildungen, wie sie z. B. in Auerbachs „Physik im Kriege“ oder in dem Heft Nr. 14 der Zeitschrift „Natur“, Jahrgang 1915, sich finden, so dürfte für das Verständnis der anderen Fragen der Optik des Periskops der Weg hinreichend gebahnt sein.

Ist eine größere Anzahl rechtwinkliger Prismen vorhanden, so ist es vielleicht angebracht, den angegebenen Versuchen auch subjektive Beobachtungen oder einfache Stecknadelübungen vorzuschicken.

### Elektrische Dichte und Elektrizitätsgrad.

Von **Paul Hanck** in Pasewalk.

Der Nachweis dafür, daß die elektrische Dichte auf der Oberfläche eines geladenen Leiters von der Größe der Krümmung abhängt, also an Kanten und Ecken am stärksten ist, wird im Unterricht gewöhnlich dadurch erbracht, daß man eine Probekugel nacheinander mit verschiedenen Punkten eines Körpers, z. B. eines Würfels in Berührung bringt und die aufgenommene Ladung an einem Elektrometer prüft. Wenn dann später die Gleichheit des Elektrizitätsgrades (Potentials) an demselben Leiter gezeigt wird, wird der Schüler die verschiedene Bedeutung dieser beiden Versuche nicht leicht ohne weiteres auseinanderhalten. Es ist nötig hinzuzufügen, daß in dem ersten Falle, also bei unmittelbarer Berührung zweier Leiter die Elektrizitätsteilchen des Würfels auf die Probekugel einwirken und daher die Verteilung der Elektrizität auf Würfel und Probekugel von der Wahl der Berührungsstelle abhängt, daß in dem zweiten Falle dagegen eine Beeinflussung des durch einen langen Draht mit dem Würfel verbundenen Elektrometers nicht stattfinden kann.

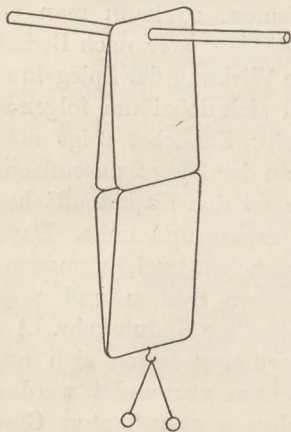


Fig. 1.

Zum experimentellen Beweise dieser Tatsache ist der unter anderem in Wein-



holds Demonstrationen und Müller-Pouillet's Lehrbuch der Physik beschriebene Prismenmantel vorzüglich geeignet. Das Doppelpendel des elektrisch geladenen Mantels zeigt in den Stellungen in Fig. 1 und 2 entsprechend der ungleichen Dichte verschiedene Ausschläge. Es ist aber nirgends darauf hingewiesen, daß sich, wenn man den Mantel von der einen Stellung in die andere bringt, nicht nur die Größe des Ausschlages ändert, sondern auch die durch den Ausschlag des Doppelpendels bestimmte Ebene eine andere Richtung annimmt. In beiden Fällen stehen die Ebenen senkrecht zueinander, eine Folge der Einwirkung der Elektrizitätsteilchen des Mantels auf das Pendel. Die Figuren, die ich daraufhin durchgesehen habe, zeigten den Ausschlag immer in derselben Ebene. Verbindet man nun das Pendel nicht direkt mit dem Prismenmantel, sondern schaltet zwischen beiden einen längeren Draht ein, so bleibt der Ausschlag bei den verschiedenen Stellungen des Mantels, was sowohl Größe als auch Richtung anbetrifft, ungeändert, weil jetzt die Elektrizitätsteilchen des Mantels nicht mehr auf das Pendel einwirken können. Es wird in diesem Falle durch das Pendel nicht die Dichte, sondern der Elektrizitätsgrad oder das Potential gemessen.

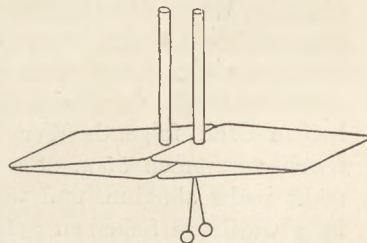


Fig. 2.

Wenn der Versuch gelingen soll, muß man natürlich dafür Sorge tragen, daß die Pendel sich nach allen Richtungen leicht genug bewegen können. Am besten erreicht man dies dadurch, daß man sie an dünnen Metalldrähten, wie aus Fig. 3 zu ersehen, an dem Prismenmantel aufhängt. Bei Verwendung von Zwirnfäden bleibt die durch den Ausschlag bestimmte Ebene in der Regel ungeändert. Dieses abweichende Verhalten ist jedenfalls dadurch zu erklären, daß ein größerer Reibungswiderstand zu überwinden ist.

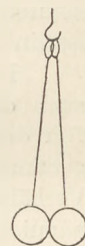


Fig. 3.

### Das Mikroskop mit negativem Okular und aufrechten Bildern.

Von Professor Dr. G. Junge in Berlin-Steglitz.

Alle Lehrbücher der Physik behandeln die beiden Hauptarten des Fernrohrs, das Keplersche und das holländische, aber wohl nirgends wird das Mikroskop mit negativem Okular erwähnt. In Katalogen ist es gelegentlich als „Brückesche Lupe“ zu finden. Man könnte es nach Galilei benennen, mit mehr Recht als das entsprechende Fernrohr; siehe ds. Ztschr. Bd. 2 (1889) S. 92.

Auf den grundlegenden Gedanken dieses Mikroskops müßte eigentlich ein jeder verfallen, der das gewöhnliche Mikroskop und die beiden genannten Fernrohre verstanden hat. Fernrohr und Mikroskop haben das Gemeinsame, daß ihr wesentlicher, übrigens auch kostbarster Teil, das Objektiv, für sich allein ein reelles Bild  $b$  entwirft. Dies ist aber, wie schon Kepler erkannte, wegen zu großer Divergenz seiner Strahlen für das Auge ungünstig (s. Kepler, Dioptrik, Probl. 86). Das Bild wird deutlicher, wenn die Strahlen parallel oder nahezu parallel gemacht werden, und dies kann gleich gut geschehen durch eine Sammellinse von der Brennweite  $f$ , die vom Beschauer aus um das Stück  $f$  vor  $b$  angebracht ist, oder durch eine Zerstreuungslinse von der Brennweite  $-f$ , die sich ebenso weit hinter  $b$  befindet.

Zur Demonstration der beiden Mikroskope nebeneinander mag man als Objektiv eine starke Sammellinse etwa von 3 cm Brennweite benutzen, als Okular für den Fall des gewöhnlichen Mikroskops eine Sammellinse von etwa 5 cm Brennweite, für das Galileische Mikroskop eine Zerstreuungslinse, die möglichst die gleiche und entgegengesetzte Brennweite hat.

Weitere Angaben über das Mikroskop mit negativem Okular finden sich in dem Artikel von Czapski in dem Handbuch der Physik, hrsg. von A. Winkelmann, Band Optik, Jena 1906, S. 341.

## Für die Praxis.

**Der Wassergehalt von Nahrungsmitteln.** Von Dr. G. Junge in Berlin-Steglitz. Wenn im Physikunterricht die Rede auf die physiologische Verbrennungswärme und damit auf die Zusammensetzung der Nahrungsmittel kommt, so mag auf eine höchst einfache Weise der Wassergehalt von Brot, Kartoffeln, Rüben u. a. bestimmt werden. Man schneide einige dünne Scheiben von dem Stoff ab, wiege sie und lege sie im Sommer einige Stunden in die Sonne, im Winter in eine Ofenröhre oder an eine passende Stelle des Heizkörpers. So fand der Verfasser beim Trocknen an einem heißen Ofen folgende Werte. 2 dünne Schnitten von dunklem Roggenbrot wogen frisch zusammen 55 g. Sie wurden mehrere Stunden getrocknet, bis das Gewicht nicht mehr abnahm, und wogen dann nur noch 35 g. — Eine rohe Kartoffel von 55 g wurde in Scheiben geschnitten; nach dem Trocknen wogen diese zusammen 17 g. — Einige Kohlrübenstücke nahmen von 71 g auf 14 g ab; die Kohlrübe hatte übrigens schon mehrere Monate gelegen, also schon etwas Wasser verloren. — Hieraus ergibt sich für die 3 Stoffe der folgende Gehalt an Wasser: Brot  $36\frac{0}{10}$  ( $40\frac{0}{10}$ ), Kartoffel  $69\frac{0}{10}$  ( $75\frac{0}{10}$ ), Kohlrübe  $80\frac{0}{10}$  ( $90\frac{0}{10}$ ). Die eingeklammerten Zahlen sind die Durchschnittswerte von J. König, Chemie der menschlichen Nahrungs- und Genußmittel Berlin 1904.

Der physikalische Brennwert einer Nahrung, d. i. die Verbrennungswärme, die nach der Aufnahme der Nahrung im Körper als Energie frei wird, hängt nicht nur von der Menge, sondern auch von der Beschaffenheit der Trockenmasse ab. In den genannten 3 Fällen besteht die Trockenmasse wesentlich aus Kohlehydraten, und das Verhältnis der Gesamtmengen der Trockenmasse bei Brot, Kartoffel und Kohlrübe, nämlich 60:25:10 oder 12:5;2, ist zugleich das angenäherte Verhältnis der Brennwerte. Wenn bei der Rationierung der Lebensmittel Brot anstatt Kartoffeln gegeben wurde, so geschah es in Berlin in dem Gewichtsverhältnis 2:5, also nahezu in dem umgekehrten Verhältnis des Gehaltes an Trockenmasse, 12:5. Da bei Brot, Kartoffel und Kohlrübe der Geschmack meist nicht besonders bezahlt wird, so haben auch die Preise im freien Handel etwa das Verhältnis 12:5:2.

Die Trocknung dient übrigens nicht nur zur Untersuchung der Nahrungsmittel, sie hat sich auch, vor allem jetzt im Kriege, zur Konservierung bewährt. Während es im Jahre 1903 in Deutschland nur 3 Fabriken zur Kartoffeltrocknung gab, waren es im Juli 1915 schon 721!

Näheres über Zusammensetzung und Wert der Nahrungsmittel siehe in des Verfassers Buche „Unsere Ernährung“, Berlin 1917.

**Spritzflasche, welche das Auswaschen von Niederschlägen ohne Hineinblasen gestattet.** Von Prof. Dr. P. Schanz in Berlin-Wilmersdorf. Das Auswaschen filtrierter Niederschläge auf dem Filter wird gewöhnlich derart bewerkstelligt, daß man in die Spritzflasche hineinbläst und den dünnen Wasserstrahl auf das Filter richtet. Sind in einem Laboratorium mehrere Abteilungen bei Schülerübungen beschäftigt, so daß mehrere Schüler dieselbe Spritzflasche benutzen, so ist das Hineinblasen in die Flasche unappetitlich, während das Abwaschen des Einblasrohres mit destilliertem Wasser den Verbrauch desselben erhöht. Ich lasse, um einen dünnen Wasserstrahl der Spritzflasche zu entnehmen, ohne daß es nötig wäre, in diese hineinzublasen, das Einblasrohr einfach in eine nicht allzu feine Spitze ausziehen und an der Spitze wieder durch vorsichtiges Abbrechen derselben und Nachschmelzen eine kleine Öffnung herstellen. Dreht man die gefüllte Flasche um, so entströmt ihr ein feiner Wasserstrahl, den man bequem nach allen Richtungen lenken kann.

## Berichte.

### 1. Apparate und Versuche.

#### Ein mehrfaches Braunschensches Elektrometer.

Von EMERICH BÉKEFY in Debracea. Ein Mangel des vielgebrauchten Braunschenschen Elektrometers besteht darin, daß wegen der mit dem Quadrat des Abstandes abnehmenden Abstoßungskraft die Skalenteile mit wachsendem Potential kleiner werden. Diesem Mangel sucht der Verfasser abzuhelfen, indem er zwischen den beweglichen und den unbeweglichen

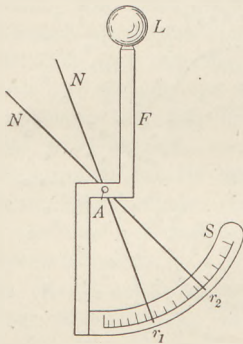


Fig. 1.

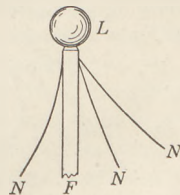


Fig. 2.

Teil des Elektrometers einen dritten, ebenfalls beweglichen und als schmale Platte geformten Hilfsleiter (Fig. 1) legt, der den Winkel der

beiden ersten ungefähr halbiert, so daß sich die von ihm ausgeübte Abstoßung in einem kleineren Abstände vollzieht. Es stößt also der feste Teil die ihm nähere Platte auf eine gewisse Entfernung  $r_1$ , diese wiederum die zweite Platte auf eine andere Entfernung  $r_2$  ab. Abgelesen wird die Gesamtabweichung der zweiten Platte  $r_1 + r_2$ . Nach der theoretischen nur sehr oberflächlichen Betrachtung des Verfassers würde die Empfindlichkeit mit der dritten Potenz der Anzahl der beweglichen Platten, also bei zwei solchen auf das Achtfache wachsen. Für Laboratorien empfiehlt der Verfasser ein Instrument mit mehreren feststellbaren Nadeln und entsprechenden empirischen Skalen.

Zu Demonstrationszwecken kann das in Fig. 2 abgebildete Elektroskop dienen, das an der einen Seite der festen Platte  $F$  ein Stanniolblättchen, auf der anderen Seite zwei solcher trägt. Der Ausschlag ist auf der zweiten Seite weit beträchtlicher als auf der ersten. (*Zeitschr. f. Instrumentenkunde* 1917, 151/2.) P.

### 2. Forschungen und Ergebnisse.

#### Krystalstruktur und Röntgenstrahlen<sup>1)</sup>.

7. Das von P. Debye und P. Scherrer<sup>2)</sup> angegebene Verfahren zur Ermittlung der Krystalstruktur, das man als Röntgenspektrogrammetrie bezeichnen kann, ist das neueste und wohl auch das einfachste. Es wird kein Krystal, sondern feines krystallines Pulver verwendet; aus diesem wird ein Stäbchen von etwa 2 mm Dicke und 10 mm Länge gepreßt. Dieses wird in die Mitte einer zylindrischen Kamera von 57 mm Durchmesser gebracht. In diese tritt in Richtung der Achse ein schmales Bündel monochromatischer Röntgenstrahlen; trifft dieses auf das regellose Gemisch kleiner Krystalle, dann werden nur diejenigen reflektieren können, welche so orientiert sind, daß der Winkel zwischen den Netzebenen und dem einfallenden Strahl den Wert  $\alpha$  hat, wo  $n \cdot \lambda = 2d \cdot \sin \alpha$  ist, siehe 2 Gleichung b. Nun kommt es natürlich nicht auf die absolute Orientierung im Raum an; es finden sich vielmehr ringsumher günstig liegende Krystalle; sie liegen alle auf Kegeln mit dem halben Öffnungswinkel  $\alpha$ . Es entstehen mithin Reflexionskegel, deren Spitze in dem Stäbchen

liegt und deren halbe Öffnungswinkel  $2\alpha$  sind, Fig. 8. Diese vom Stäbchen ausgehende Sekundärstrahlung wird auf zwei halbkreisförmig gebogenen, der Wand anliegenden Films auf-

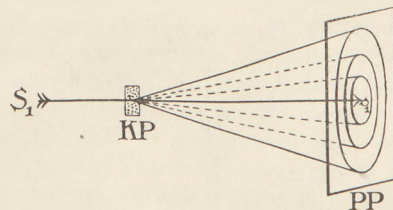


Fig. 8.

gefangen. Die Durchschnitte der Kegel mit diesen zeigt Fig. 9 a u. b. Daß mehrere Linien (Kegel) auftreten, erklärt sich daraus, daß in der auffallenden Strahlung — es werden Kupfer- und

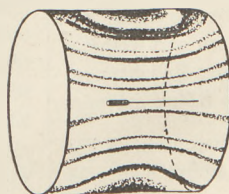


Fig. 9a.

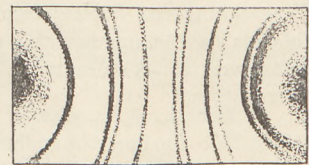


Fig. 9b.

<sup>1)</sup> Schluß des Berichtes in Heft 1, S. 27.

<sup>2)</sup> Physik. Zeitschr. XVII (1916) 277.

P. Debye und P. Scherrer: Interferenzen an regellos orientierten Teilchen im Röntgenlicht I.

Platinantikathoden benutzt — mindestens zwei charakteristische Wellenlängen (für Cu 1,549 und  $1,402 \cdot 10^{-8}$  cm) enthalten sind. Ferner kommen

für die Reflexion mehrere Arten von Netzebenen in Betracht und schließlich können auch Reflexionen 2., 3. usw. Ordnung vorkommen. Ein Wechsel des Antikathodenmetalls der die Strahlung liefernden Röhren hat eine ganz andere Gruppierung der Linien zur Folge.

Durch Ausmessung der Photographien wird der Winkel  $\alpha$  bestimmt. Wie im einzelnen die Indices der reflektierenden Netzebenen gefunden werden, möge in der Originalarbeit nachgelesen werden. Auf jeden Fall kann man aus einer Aufnahme vollkommen die Raunggitterstruktur des Krystalls erschließen. Man hat in der Methode ein absolut zuverlässiges Mittel zu entscheiden, ob ein Körper (mikro)krystallinisch oder amorph ist. Hat man einmal für eine Substanz die Atomanordnung bestimmt, dann kann man sie umgekehrt benutzen, um die Wellenlänge von Röntgenstrahlen zu messen; man besitzt also einen Spektrographen von denkbar einfachster Anordnung.

Für den Elementarkubus des Lithiumfluorids wurde  $a = 4,12 \cdot 10^{-8}$  und für den des Siliciums  $a = 5,39 \cdot 10^{-8}$  cm ermittelt. Der kürzeste Abstand zweier Siliciumatome beträgt  $2,33 \cdot 10^{-8}$  cm. Graphit krystallisiert trigonal; 12 Atome bilden den rhomboedrischen Elementarbereich, dessen Seitenlänge  $4,69 \cdot 10^{-8}$  cm ist.

8. Das von Lauesche Verfahren endlich, das röntgenogrammetrische, arbeitet mit weißem Licht. Rinne<sup>1)</sup> benutzt neuerdings als

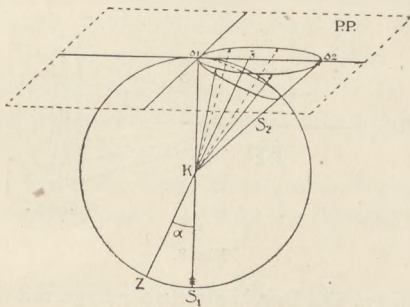


Fig. 10.

Röntgenstrahlenquelle die Lilienfeldröhre, bei der ja Härte und Intensität der Strahlung unabhängig von einander reguliert werden kann. Bei Verwendung von Schleußnerplatten mit Gehlerfolie als Verstärkungsschirm genügen Belichtungszeiten von 25–30 Minuten. Die Röhre ist ver-

<sup>1)</sup> Ber. d. sächs. Ges. d. Wissensch. XVII (1915) 303. In der Abhandlung findet sich eine große Anzahl vorzüglicher Röntgenogramme.

Naturwissenschaften IV (1916) 221 und 233. F. Rinne: Zur ältesten und zur neuesten Kristallographie. Die Arbeit enthält Schemen des Raunggitters zahlreicher Krystalle.

tikal gestellt, so daß die Strahlen schräg nach unten fallen. An 3 je  $120^\circ$  voneinander abliegenden, um die Röhre herumliegenden Stellen ist eine Aufnahmevorrichtung eingebaut: Mittels Bleibenden wird ein schmales Strahlenbündel ausgesondert, dieses fällt durch den Krystall

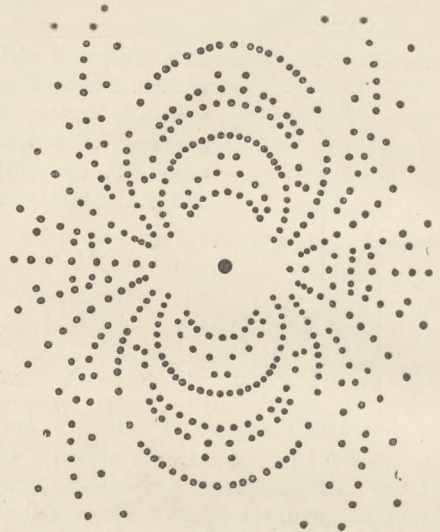


Fig. 11.

hindurch auf die senkrecht zum Bündel orientierte photographische Platte.

An der Hand von Fig. 10 erklärt sich das Zustandekommen eines Luediagramms, wie es Fig. 11 für Anhydrit zeigt (die verschiedene Intensität der Einstiche ist hier nicht wiedergegeben), auf Grund der Reflexionstheorie auf folgende Weise:  $S_1 s_1$  bedeutet den Primärstrahl,  $K$  den Krystall,  $PP$  die photographische Platte. Die zur Zeichenebene senkrechte Netzebenen-schar  $Kz$  reflektiert gemäß Gleichung  $b$  Strahlen in Richtung  $S_2$ , so daß auf  $PP$  in  $s_2$  ein Einstich entsteht. Denkt man sich die Schaar um  $Kz$  als Zonenlinie gedreht, dann beschreibt  $S_2$  einen Kegelmantel vom halben Öffnungswinkel  $\alpha$ . Diesen schneidet die Platte  $PP$  in einer Ellipse. Nun sind im Krystall tatsächlich innere Netzebenen vorhanden, die mit den Lagen übereinstimmen, welche die betrachtete bei der Drehung um  $Kz$  nacheinander einnimmt; doch ist die Zahl derjenigen, die für die Reflexion in Betracht kommen (siehe das unter 2 gesagte), beschränkt, so daß wir auf der Zonenkurve, der Ellipse durch  $s_1 s_2$ , eine Anzahl durch Zwischenräume voneinander getrennter Einstiche erhalten, wie Fig. 11 sie zeigt.  $K$  sei ein Krystall des regulären Systems, dessen Hauptachsen nach oben ( $S_1 s_1$ ), nach rechts und senkrecht zur Zeichenebene liegen. Man kann sich nun leicht vorstellen, daß jeder Einstich unserer Zonenkurve von Ebenen mit wechselndem Index erzeugt

wird; für den Einstich  $s_2$  hat die erzeugende Ebene die Lage  $Kz$ , sie schneidet die nach rechts verlaufende Achse in der Entfernung 1, die  $S_1s_1$ -Achse etwa im Abstand 2 und die dritte überhaupt nicht; ihr kristallographisches Symbol ist demnach (120). Dreht man sie so weit, daß sie einen der beiden  $s_2$  benachbarten Einstiche erzeugt, dann schneidet sie auch die dritte Achse in großer Entfernung vom Nullpunkt. Die beiden genannten Einstiche erhalten demnach als dritten einen hohen Index. Es ergibt sich also, daß die Einstiche einer Zonenkurve von Ebenen von verschiedenen kristallographischen Symbol erzeugt werden. Ferner wird jeder Einstich von einer anderen Wellenlänge gemäß der Gitterkonstanten  $d$  der Netzebenen hervorgerufen (Gleichung  $b$ ).

Solange  $\alpha$  kleiner ist als  $45^\circ$ , sind die Zonenkurven Ellipsen; ist  $\alpha$  gleich  $45^\circ$ , dann liegt die den Kegel schneidende Ebene  $PP$  parallel in seiner Seitenlinie  $S_2$ ; die Zonenlinie wird zur Parabel, für größere Winkel  $\alpha$  zur Hyperbel und schließlich für  $\alpha$  gleich  $90^\circ$  zur Geraden (vgl. Fig. 11). Sämtliche Zonenkurven gehen durch  $s_1$ , den Einstich des Primärstrahles.

Aus dem Gesagten geht hervor, daß außerordentlich zahlreiche Flächen sich an dem Zusammenkommen des Diagramms beteiligen, in Fig. 11 sind es nicht weniger als 424. Zur Ermittlung des Raumgitters ist es erforderlich, ihre Indices zu ermitteln und zwar gelingt das verhältnismäßig einfach durch ein graphisches oder besser geometrisches Konstruktionsverfahren. Das Lauediagramm stellt eine neue Projektionsart dar, eine Reflexprojektion: jede Ebene wird durch einen ihr angehörigen Reflexstrahl in ihrer Lage abgebildet. Siehe Fig. 12, hier wird die Ebene  $Zz$  durch den Einstich  $s_2$  des Primärstrahls  $S_1s_1$  auf  $PP$  gekennzeichnet. Bei der gewöhnlichen gnomonischen Normalprojektion stellt man  $Zz$  durch den Schnittpunkt  $g$  ihrer Normalen  $u$  mit  $PP$  dar; die Projektionspunkte eines Zonenverbandes liegen auf einer Geraden. Es entspricht demnach jeder Zonenkurve der gnomonischen Reflexprojektion (Ellipse, Parabel, Hyperbel) eine Gerade der gnomonischen Normalprojektion. Diese konjugierten Geraden lassen sich konstruieren, ebenso die zugeordneten Projektionspunkte. Nun kann man nach Annahme einer (111) oder abgeleiteten Fläche ohne wei-

teres die Indices aller durch den Laue-Effekt symbolisierten Flächen ablesen. Man benutzt also den gesetzmäßigen Zusammenhang der beiden Projektionsarten, um zum Ziele zu kommen.

9. Von Interesse ist der Einfluß der Temperatur auf die Röntgenogramme; er ist von Debye<sup>1)</sup> theoretisch untersucht worden mit folgendem Ergebnis: die Wärmebewegung

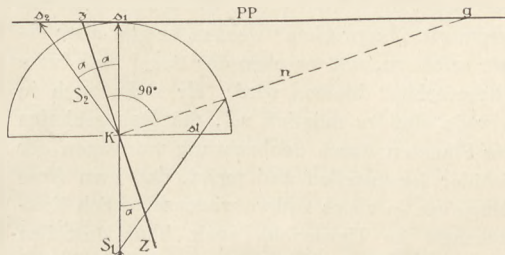


Fig. 12.

beeinflusst nicht Lage und Schärfe, sondern nur die Intensität der Interferenzpunkte, sie unterdrückt das Reflexionsvermögen der weniger dicht belegten Ebenen; beides ist ohne weiteres plausibel, da ein stärkeres Herauspringen der Atome aus ihrer Gleichgewichtslage in der Netzebene gleichsam die Belegungsichte und damit das Reflexionsvermögen vermindert. Die Erfahrung bestätigt das Resultat der Rechnung. Eine Ausnahme bildet der Diamant. Doch stimmt das mit seinem thermischen Verhalten durchaus überein, da ja die Amplitude der Wärmebewegung schon bei gewöhnlicher Temperatur außerordentlich klein ist, was in seiner niedrigen Atomwärme zum Ausdruck kommt.

Nachdem durch alle diese Untersuchungen, der raumgitterartige Aufbau der Krystalle sichergestellt ist, darf es nicht wundernehmen, daß die theoretische Physik diese gesicherte Basis für die weitere Forschung über Krystalle zugrunde legt. Das geschieht z. B. in dem Buch von M. Born: Dynamik der Krystallgitter (Leipzig 1915). Hier werden eine Reihe einfacher Eigenschaften wie Elastizität, Piezoelektrizität, spezifische Wärme, Doppelbrechung und Dispersion, optische Aktivität ohne Zusatzhypothesen allein aus der Gitterstruktur vollständig abgeleitet.

<sup>1)</sup> Verh. d. Deutsch. physikal. Ges. XV (1913) 768 und 738.

#### 4. Unterricht und Methode.

**Die Astronomie auf den höheren Schulen und Universitäten.** Die Zeitschrift *Sirius, Rundschau der gesamten Sternforschung für Freunde der Himmelskunde und Fachastronomie*, bringt in ihrem 50. Jahrgang (1917) eine Reihe

von Aufsätzen über den astronomischen Unterricht. Der erste von diesen (Heft 2) von Prof. D. H. KEMPE verfaßt, knüpft an Zeitungsartikel von F. Meisel und A. Marcuse an, die dem astronomischen Schulunterricht den Vorwurf

machen, daß er die unmittelbare Anschauung der Himmelserscheinungen zu wenig pflege und im wesentlichen zum Autoritätsglauben erziehe. Dieser Vorwurf trifft einen schon oft beklagten Mißstand, über dessen Ursachen die folgenden Aufsätze beachtenswerte Ausführungen bringen. KEMPE glaubt zwar, daß die erhobene Anklage in solcher Allgemeinheit nicht zutreffe, und daß in der Regel doch wohl zuerst die scheinbaren Bewegungen „besprochen“ werden, er gibt aber damit selbst zu, daß es eben der Regel nach beim „Besprechen“ bleiben wird. Er stellt auch in Abrede, daß es möglich sei, die Bahnschleifen der Planeten durch Beobachtung von seiten der Schüler festzustellen und meint, daß man diese Dinge wie so vieles andere wissenschaftlich Feststehende im Unterricht auch bloß mitteilen könne, ohne daß deswegen von „Scheinwissen“ gesprochen werden dürfe.

In einem zweiten Aufsatz (Heft 3) nimmt einer der Herausgeber, C. METGER, das Wort. Er weist auf die Darlegungen von P. Kiesling im „Weltall“ (1915, Heft 17/18) hin, in denen eingehend gezeigt ist, welche Methode der Lehrer anzuwenden habe, um durch Zusammenarbeiten mit den Schülern diesen astronomischen Kenntnisse zu vermitteln; sowie auf Plaßmanns Ausführungen zur neuen preußischen Prüfungsordnung (*Mitteilungen der Vereinigung von Freunden der Astronomie und kosmischen Physik 1917, Heft 5*), worin dieser auf den Widerspruch aufmerksam macht, daß die Lehrpläne bei dem Lehrer Bekanntheit mit der elementaren Himmelskunde voraussetzen, während die Prüfungsordnung darüber schweigt.

An dritter Stelle (Heft 4/5) wendet sich F. MEISEL gegen die Ansichten von F. Kempe, der es für überflüssig erklärt hatte, die astronomischen Beobachtungstatsachen von den Schülern nachprüfen zu lassen. Eine gewisse Zahl von eigenen Beobachtungen sei notwendig; selbst die Feststellung der Schleifen der Planetenbahnen sei ohne Schwierigkeit ausführbar, sie erfordere nur die Messung der Abstände des Planeten von einigen Fixsternen. Bezüglich der Streitfrage über absolute oder relative Bewegung beruft sich der Verfasser auf Descartes und Ernst Mach und will dadurch seine frühere Äußerung rechtfertigen, daß das kopernikanische System lediglich den Vorzug größerer Einfachheit vor dem ptolemäischen voraus habe. [Uns scheint, daß diese Streitfrage von dem Unterricht noch ferngehalten werden sollte, schon damit die Leistungen eines Kopernikus und Galilei, die die Möglichkeit einer absoluten Bewegung voraussetzten, nichts von ihrer Wucht verlieren].

Ein vierter Aufsatz von L. KLEIN in Heil-

bronn (Heft 7) handelt über das kopernikanische System im Schulunterricht. Er führt aus, daß der astronomische Unterricht in der Tat heute noch recht mangelhaft sei, obwohl hier und da eine Besserung anerkannt werden müsse; so sei in Württemberg vorgeschrieben, daß schon in den unteren und mittleren Klassen Beobachtungen am Himmel selbst vorgenommen werden müßten. Es sei zu fordern, daß zuerst ein unverfälschtes geozentrisches Weltbild gewonnen werde [so auch A. Höfler in seiner Didaktik der Himmelskunde]; es gehe auch nicht an, etwa gleichzeitig die Einführung in die kopernikanische Lehre vorzunehmen. Besonders verhängnisvoll sei auch das in populären Schriften weitverbreitete Verfahren, daß man das geozentrische Weltbild sofort wieder zersetzt, indem man von scheinbaren Bewegungen spricht und immer wieder hervorhebt, daß sich in Wahrheit die Erde um die Sonne bewege. „Man wird auch keinen Erfolg von der Besprechung des kopernikanischen Systems erwarten dürfen, solange die Schüler kaum erst mit Mathematik begonnen haben, geschweige denn über die Geometrie der Kugel etwas gehört haben“. Ein vollständiger Ausbau des geozentrischen Weltbilds sei auch notwendig, um zu einer Würdigung des ptolemäischen Systems und Tychos, sowie einem rechten Verständnis der Leistungen eines Galilei, Kepler, Newton zu gelangen. Was die Planetenschleifen angehe, so sei deren Feststellung wenigstens bei Jupiter und Mars ohne besondere Schwierigkeit möglich, wenn man die Schüler an derartige Beobachtungen gewöhnt habe; sie müßten auch imstande sein, die Mittagszeit, die Himmelsrichtungen, die geographische Breite, den Beginn der Jahreszeiten selbständig festzustellen. Erst aus der Anschauung solle die Begriffsbildung als zweite Stufe hervorgehen. —

Den hauptsächlichsten Grund der vorhandenen Mißstände legt MAUDERLI (Bern) im 51. Jahrgang (1918) Heft 1 der Zeitschrift *Sirius* bloß. Not tue vor allem die bessere Ausbildung der Lehrer, diese aber bedinge eine Reform des astronomischen Unterrichts an der großen Mehrzahl der diese Ausbildung überwachenden Universitäten. Es komme darauf an, daß die astronomischen Universitätslehrer auch die Nichtastronomen für die Astronomie zu gewinnen wissen und ihnen Kenntnisse mitgeben, die sie unter Umständen zur Erteilung eines gediegenen astronomischen Elementarunterrichts befähigen. Die jetzt an den meisten Universitäten üblichen Vorlesungen seien für diesen Zweck ganz ungeeignet und zum Beispiel für Geographen ganz unverständlich. Es komme vor, daß in einem zweijährigen Kursus der Reihe nach sphärische

Astronomie, Bahnbestimmung und Himmelsmechanik vorgetragen werde, ohne daß es auch nur ein einziges Mal zu einer Demonstration unter freiem Himmel oder an einem Instrument komme. Es seien Fachastronomen nötig, die neben ihrer wissenschaftlichen Befähigung auch noch über das erforderliche pädagogische Geschick verfügen, um in besonderen seminaristischen Übungen die Lehramtskandidaten mit den Methoden und Aufgaben des astronomischen Unterrichts bekannt zu machen. Das Arbeitsprogramm müsse etwa folgendes enthalten: 1. Eine allgemeine orientierende Vorlesung über das gesamte Gebiet der Astronomie. 2. Eine solche über Himmelsbeobachtung mit einfachen Hilfsmitteln. 3. Eine Vorlesung über astronomische Phänomenologie. 4. Seminaristische Übungen über Unterrichtsfragen. 5. Eine besondere Vorlesung über geographische Ortsbestimmungen mit einfachen Hilfsmitteln, sofern solche nicht schon in 2. enthalten sind. Endlich 6. Demonstrationen auf der Sternwarte und Kenntnis der wichtigsten astronomischen Instrumente.

Der Verfasser hält dafür, daß dieses Programm sich mühelos in zwei Jahren durchführen

ließe; unseres Erachtens allerdings müßte es bei der ohnehin starken Belastung der Mathematiker und Physiker mit reiner und angewandter Wissenschaft auf nicht mehr als zwei Vorlesungen die das Nötigste darböten, zusammengezogen werden. Auch sollte ein Befähigungsnachweis in der Prüfung sich nur auf diese Vorlesungen erstrecken, nicht auf die höhere Theorie, die jetzt fast ausschließlich in solchem Falle verlangt wird. Es liegt im eignen wohlverstandenen Interesse der Vertreter der Astronomie, sich mit diesen Vorschlägen zu befreunden. Auch die Schweizer Gymnasiallehrer haben in einer Eingabe an die Universitätsbehörden ähnliche Forderungen aufgestellt, und mustergültig waren die Vorlesungen, die K. Schwarzschild 1904 beim Ferienkursus in Göttingen über astronomische Beobachtungen mit elementaren Hilfsmitteln gehalten hat. Auch wir schließen uns den Vorschlägen des Verfassers aus ganzem Herzen an und hoffen, daß der warm geschriebene Aufsatz dazu beitragen wird, die Vorbildung der Oberlehrer für den astronomischen Unterricht in neue Bahnen zu lenken. P.

## Neu erschienene Bücher und Schriften.

**Die Fortschritte der Physik im Jahre 1915**, dargestellt von der Deutschen physikalischen Gesellschaft. 71. Jahrgang. I. Abt.: Allgemeine Physik, Akustik, physikalische Chemie. 424 S. II. Abt.: Elektrizität und Magnetismus, Optik des gesamten Spektrums, Wärme. 544 S. I und II redig. von K. Scheel. III. Kosmische Physik, 562 S., red. von R. Abmann. Braunschweig, Vieweg & Sohn, 1916.

Der Umfang der vorliegenden Bände zeigt, daß der Weltkrieg die wissenschaftliche Produktion in den ersten zwei Jahren nicht so erheblich beeinflußt hat, wie man hätte befürchten können. In I nimmt wieder die Elektrochemie, in II die Strahlungslehre, in III die Meteorologie den größten Raum ein. Dem letzten Teil sei der Hinweis auf ein interessantes historisches Werk über den Kompaß von A. Schück entnommen, dessen zweiter Teil mit 32 prächtigen Tafeln die Sagen von der Erfindung des Kompasses und die Vorgänger des wichtigen Instruments behandelt. P.

**Zwei Vorträge über Goethe.** Von H. von Helmholtz. 64 S. Braunschweig, Vieweg & Sohn, 1917. M. 0,80.

Auf die Anregung von W. König hat der Verlag die beiden Vorträge über Goethes natur-

wissenschaftliche Arbeiten und über Goethes Vorahnungen kommender naturwissenschaftlicher Ideen zu einer Feldausgabe vereinigt. Der erste der beiden Vorträge ist 1853, der zweite 1892 gehalten, aber sie gleichen den Werken der Kunst auch darin, daß sie nicht veralten. Sicher werden sie manchem im Felde Stehenden eine genußreiche Stunde bereiten.

### **Deutsches Wörterbuch für die gesamte Optik.**

Herausgegeben von einem Fremdwörterauschuß für die Optik. Berlin W. 35, Alexander Ehrlich. 44 S.

Das von den Herren Max Iklé und Edmund Weiß redigierte Schriftchen bietet Verdeutschungen der in der Praxis von Optikern, Augenärzten, Feinmechanikern, Photographen usw. vorkommenden Fachausdrücke. Dabei ist keine unbedingte Verdeutschung vorgenommen, sondern in manchen Fällen das Fremdwort mit Absicht festgehalten oder zugelassen, z. B. Astigmatismus, Diopter, Objektiv. Andererseits sind Wörter wie Bildwurf, Rollvorhang, Lichtlenker gewiß gute Verdeutschungen. Zu der ersten Gruppe möchten wir auch das Wort Dioptrie rechnen; Brechkrafteinheit ist doch recht ungeschickt. P.

**Vorlesungen über technische Mechanik.** Von A. Föppl, Prof. an der technischen Hochschule in München. I. Band: Einführung in die Mechanik. 5. Auflage. 431 S. mit 104 Figuren. Leipzig, B. G. Teubner, 1917. Geb. M. 10,—.

Die neue Auflage ist gegen die vorige wenig verändert; sowohl die theoretische Grundlegung als auch die Durchführung einer Reihe von Anwendungen machen das Buch auch für den Lehrer der Physik lesenswert. Von Einzelheiten seien die Einführung der „fingierten“ Zentrifugalkraft und die (sonst selten korrekte) Ableitung der Formel für die Schwingungsdauer des Zentrifugalpendels, die Energieströme, die Darstellung der Elastizität und Festigkeit erwähnt. P.

**Physik und Chemie im Weltkrieg.** Von Adolf Kistner. Mit Buchschmuck von Hardy Weiß. (Heim und Herd, Deutsche Jugend- und Volksbücherei, Bd. 15). 116 S. Lehr, Moritz Schauenburg 1917. M. 1,25.

Das Schriftchen bringt in volkstümlicher, von patriotischer Wärme erfüllter Darstellung das Wissenswerteste über folgende Gegenstände: Schießmittel und Sprengstoffe, Feuerwaffen, Panzer und Kriegsschiffe, Minen und Torpedos, Unterseeboote, Luftschiffe und Flugzeuge, Signalmittel, Gefecht, Heilkunst und die wirtschaftlichen Leistungen in der Heimat. Das Buch ist auf jugendliche Leser und Nichtfachleute berechnet; es verdient im Hinblick hierauf durchaus die Empfehlung, die ihm von seiten des badi-schen Unterrichtsministeriums zuteil geworden ist. P.

**Bodenschätze als biologische und politische Faktoren.** Von Prof. Dr. Walther Roth. 39 S. Berlin, Julius Springer, 1917.

Der unsern Lesern wohlbekannte Verfasser veröffentlicht hier einen Vortrag, der hauptsächlich die Wichtigkeit der mineralischen Bodenschätze, insbesondere der Kalisalze, des Phosphat- und des Stickstoffdüngers für unsere Landwirtschaft behandelt und daran bedeutsame politische Ausblicke knüpft. P.

**Jahrbuch der Urania und astronomischer Kalender für 1918.** Herausgegeben von der Urania in Berlin. Mit 36 Abbildungen und 6 Tafeln. 162 S. Braunschweig, Friedrich Vieweg & Sohn, 1918. M. 2,40.

Die Reihe der literarischen Hilfsmittel für die Freunde der Naturwissenschaften, und insbesondere die Liebhaber der Astronomie, erfährt durch die vorliegende Schrift eine willkommene Bereicherung. Der astronomische Kalender bringt für jeden Tag des Jahres die Zeitgleichung, die

Sternzeit im m. M. Berlin, Auf- und Übergangszeit von Sonne und Mond für den Horizont von Berlin und in mitteleuropäischer Zeit, ferner ungefähre Angaben über Mondphasen und Planetensichtbarkeit. Für jeden Monat ist ein Himmels-kärtchen beigegeben, in dem auch die Planeten-örter verzeichnet sind. Eine leicht verständliche Darstellung über die Verwandlung der astronomischen Zeiten, ein Verzeichnis von helleren Fixsternen, Doppelsternen, Nebelflecken und Sternhaufen, Verzeichnisse von Lehrbüchern und Firmen schließen sich an. Den größeren Teil des Jahrbuchs füllt eine Reihe von gemeinverständlich geschriebenen Aufsätzen über Himmelsphotographien (P. Schwahn), Lichterzeugung und Lichtausbeute (B. Donath), Deutschlands Steinkohle und Kali in der chemischen Industrie (Lassar-Cohn), das Problem der Straße (J. Wattmann), Waffen der Natur (W. Berndt), Deutsche Siedlungskunst (R. Mielke). Dem mitten in der Kriegszeit ins Leben gerufenen Unternehmen wünschen wir Erfolg und weite Verbreitung. Für den Gebrauch des Lehrers wäre noch eine Erweiterung des astronomischen Teils zu empfehlen. P.

**Lehrbuch der Physik** für die drei oberen Klassen der Realgymnasien und Oberrealschulen, sowie zur Einführung in das Studium der neueren Physik. Von Dr. H. Börner †. 7. Auflage, bearbeitet unter Mitwirkung von Prof. Dr. G. Mohrmann, Direktor des R.-G. zu Gera. 504 S. mit 382 Abbildungen. Berlin, Weidmann, 1917. Geb. M. 6,40.

Der am 30. Dezember 1916 verstorbene Verfasser hat die Vorarbeit für diese neue Auflage noch zum Teil selbst ausgeführt, so besonders eine völlige Neubearbeitung des Abschnitts über die physikalische Himmels- und Erdkunde, der eine scharfe Abgrenzung der „scheinbaren“ und der „wirklichen“ Bewegungen der Himmelskörper aufweist. Eine andere wesentliche Änderung ist die auch schon von Börner in Aussicht genommene Einführung des Elektronenbegriffs, die indessen vorsichtigerweise in einer Form erfolgt ist, daß der Text auch ohne Hinzuziehung dieses Begriffs gebraucht werden kann. Auf andere Verbesserungen soll in dieser kurzen Anzeige nicht besonders hingewiesen werden. Der Neubearbeiter ist durchaus bemüht gewesen, den wissenschaftlichen Charakter des Buches festzuhalten, ja man darf, ohne ihm zu nahezutreten, sagen, daß er des Guten wohl schon zu viel getan hat. Der Umfang des Buches ist dementsprechend recht beträchtlich, um so mehr als vorwiegend kleine Lettern verwandt sind, die schon fast unter die Grenze des für ein



Schulbuch noch Zulässigen gehen. Das Buch gehört zu den Lehrbüchern, die auf den Aufbau eines physikalischen Begriffssystems das Hauptgewicht legen; dies ist gewiß verdienstlich, legt aber doch die Befürchtung nahe, daß bei einem entsprechenden Unterrichtsbetrieb die Wirklichkeit und die unmittelbare Anschauung zugunsten der Theorie zu sehr zurückgedrängt werden. In dem Buche ist allenthalben auf die Schülerübungen von Hahn und Noack hingewiesen; macht man damit Ernst, so entfällt die Möglichkeit, bei so abstrakten Darlegungen zu verweilen, wie solche z. B. in der Einleitung zum Galvanismus gegeben sind. Und dies wäre ein Segen für die Physik, die nach einem treffenden Wort Grimsehl als Naturwissenschaft betrieben werden soll. Für eine neue Auflage wäre eine erhebliche Kürzung des Stoffes in der hier angedeuteten Richtung unbedingt zu empfehlen.

Eine „Physikalische Aufgabensammlung“ hat derselbe Verfasser im gleichen Verlage besonders herausgegeben, um den Umfang des Lehrbuchs nicht noch mehr zu vergrößern (32 S. M. 0,80). Sie schließt sich den Paragraphen des Lehrbuchs an und bietet ein reiches Material für die Übung der geistigen Kräfte der Schüler. P.

**Vorschule der Experimental-Physik** für den Anfangsunterricht an Gymnasien und Realgymnasien sowie an den entsprechenden Nichtvollanstalten. Von Dr. H. Börner. 7. Auflage, bearbeitet unter Mitwirkung von Prof. Dr. G. Mohrmann, Direktor des R.-G. zu Gera. 163 S. mit 138 Abbildungen. Berlin, Weidmann, 1916. Geb. M. 2,40.

Unter Mitwirkung des neuen Mitherausgebers hat das Buch in mehrfacher Hinsicht Umgestaltungen erfahren. Der schon bei den ersten Auflagen beanstandete allzu deduktive Charakter ist an mehreren Stellen durch induktive Behandlung ersetzt worden, der Stoff ist in geringem Maße vermindert, dafür anderes wie Kalorie, spezifische Wärme, Gasmotor hinzugefügt. Die wesentlichste Neuerung ist die Einführung der Elektronen und Ionen in die Elektrizitätslehre. Wenn es schon für die Oberstufe gewissen Bedenken unterliegt, die Darstellung der Elektrizitätslehre hierauf aufzubauen, so dürfte dies doch für die Unterstufe keinesfalls angebracht sein. Ein solches Verfahren führt nur zu dogmatischer Einprägung von unverdaulichem Wissensstoff, was aller gesunden Didaktik widerspricht. Die Verfasser glauben selber an einer Stelle (S. 93) vor dem gedankenlosen Durcheinanderwerfen alter und neuer Bezeichnungsweise warnen zu müssen; aber wie ist dies

zu vermeiden, wenn beide gleichzeitig nebeneinander eingeführt werden? Schon die Nötigung, durcheinander von negativen Ionen und Elektronen einerseits, positiven Ionen aber nicht Elektronen andererseits zu sprechen, hätte von dem Vorgehen abhalten sollen. Es ist unseres Erachtens bildender und einer einfachen Beschreibung der Tatsachen dienlicher, wenn man nach hergebrachter Weise die Fiktion der positiven und negativen Elektrizität benutzt. Gelegentliche Bemerkungen des Lehrers mögen auf die heutige Auffassung vorbereiten, ohne daß man daraus einen im Lehrbuch festgelegten Lernstoff macht. Dies ist um so wünschenswerter, als die Elektronentheorie selber sich zur Zeit in noch nicht abgeschlossener Entwicklung befindet.

Die Verfasser haben auch versucht, physikalische Fachausdrücke zu verdeutschen, dabei aber eine anerkennenswerte Mäßigung bewiesen. Statt „spezifisches Gewicht“, „spezifische Wärme“ haben sie „Artgewicht“, „Artwärme“ gesetzt. Gegenstrom für Polarisationsstrom möchte angehen, Nebenstrom für Induktionsstrom dürfte abzulehnen sein. P.

**Lehrbuch der Physik** für Oberlyzeen und verwandte Anstalten. Von Dr. Ernst Fock, Oberlehrer a. d. Auguste-Viktoria-Schule in Liegnitz. 409 S. mit 459 Abbild. Berlin, Otto Salle, 1915. Geb. M. 4,40.

Das Buch ist den preußischen Lehrplänen für Oberlyzeen angepaßt, geht indessen in der Berücksichtigung der Mathematik doch mehrfach über das Maß dessen hinaus, was für die höhere Mädchenschule angemessen scheint. Hier sollte der induktive Charakter der Physik auch auf der Oberstufe noch entschiedener hervortreten. Je länger man unterrichtet, desto mehr erkennt man, daß nur auf diese Weise der Bildungsgehalt der Physik — und auf den kommt es doch an — zur Geltung kommt. Von manchen veralteten Gepflogenheiten der Lehrbücher sollte man sich gerade an den Mädchenschulen frei machen. Wozu ist es z. B. nötig, alle vier üblichen Methoden zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit zu behandeln, obwohl die von Fizeau völlig genügt, die andern meist nur halb verstanden werden. Andererseits ist anzuerkennen, daß der experimentelle Anschauungsstoff geschickt ausgewählt ist, manche neuere Versuche, besonders solche von Grimsehl, sind in den Lehrgang aufgenommen. Manches wäre am Ausdruck und der Darstellung zu bessern. Daß es positive Elektronen gibt, und daß als letztes Zerfallsprodukt des Radiums schließlich das Helium übrig bleibt, wird doch vielen Lesern des Buches

neu sein. Für die Umlaufzeit des Kugelpendels ist eine unzulässige, obwohl früher für richtig gehaltene Ableitung angegeben. In die Berechnung der Wellenlänge aus den Newtonschen Ringen hat sich ein Fehler eingeschlichen. P.

**Praktische Einführung in die allgemeine Chemie.** Anleitung zu physikalisch-chemischem Praktikum und selbständiger Arbeit. Von Dr. Max Trautz, Prof. f. phys. Chemie und Elektrochemie a. d. Univ. Heidelberg. Mit 187 Abb. Leipzig, Veit & Co. 1917. 375 S. M. 12, geb. M. 14.50.

Das Buch wendet sich an Chemiker und will nicht nur Aufgaben zum physikalisch-chemischen Praktikum, sondern auch Anleitung bei der selbständigen Arbeit der Doktoranden geben. Es geht deshalb tiefer als manches andere ähnlichen Zwecken dienende Buch in die Theorien hinein und dementsprechend auch in der mathematischen Behandlung weiter. Hiermit hängt auch die Anordnung des Ganzen zusammen, die weniger nach der üblichen Systematik als nach steigender Komplikation der mathematischen Gesetze gewählt ist. Sie zeigt als Hauptabschnitte 1. Die Erhaltungsgesetze, 2. Molekulartheorie, 3. Chemische Verwandtschaftslehre; letztere zerfällt wiederum in die Gesetze des thermodynamischen Gleichgewichts und die Gesetze der Umwandlung der Stoffe. Besonders im letzten Teil konnte der Verfasser vielfach auf seine eigenen Forschungen und Beiträge in der Heidelberger Akademie der Wissenschaften zurückgreifen. Nicht berücksichtigt sind dagegen Messungen der Dampfdichte nach V. Meyer und

A. W. Hofmann, ebenso Bestimmungen von Dielektrizitätskonstanten, da diese Aufgaben im physikalischen Praktikum erledigt zu werden pflegen. Die gründliche und eigenartige Behandlung des Stoffes wird vielleicht dem Studierenden anfangs Schwierigkeiten bereiten, dem Buch aber anderweitig viele Freunde zuführen. Rühmend hervorzuheben ist ferner, daß vielfach bei den Versuchen auch auf Unfallmöglichkeiten aufmerksam gemacht wird, wobei regelmäßig auch die Verhütung erwähnt wird. Auch für den chemischen Unterricht der höheren Lehranstalten ist manche der einfacheren Versuchsanordnungen mit Vorteil zu verwenden.

O. Ohmann.

**Ernährung und Nahrungsmittel.** Von Geh. R. Prof. Dr. N. Zuntz. 3. Aufl. Mit 6 Abb. u. 1 Taf. „Aus Natur u. Geisteswelt“, Bd. 19. 136 S. M. 1,50.

Das hier (24, 125) schon kurz angezeigte, aus Vorträgen von J. Frenzel hervorgegangene Buch ist in der vorliegenden Ausgabe durchgreifend umgearbeitet und zwar im besonderen Hinblick auf die durch den Weltkrieg geschaffenen Verhältnisse. Die chemische Natur der Nährstoffe, ihre Zubereitung und Verdauung sind in vorzüglich anschaulicher Weise behandelt, wobei auch auf die zur Zeit notwendigen Ersparungen — z. B. auf die Kochkiste unter Angabe ihrer Selbstanfertigung und den bei Gasfeuerung zweckmäßig über den Kessel zu stülpenden Asbesthut — eindringlich hingewiesen ist. Auch für den chemischen und biologischen Unterricht ist das Buch von Wert.

O. Ohmann.

## Korrespondenz.

Zu der Mitteilung von Chr. Schwantke „Funkenstrecke mit polarisierbarer Schwingung“ in Heft 6 (1917) sendet uns Herr Dr. G. GLAGE in Straßburg i. E. folgende Bemerkungen:

Die beschriebene Anordnung zur Erzeugung nicht polarisierter Wellen gibt genau wie jeder einfache Hertzsche Erreger nur linear polarisierte Wellen, so daß sich die Anfertigung derartiger Apparate nicht empfehlen dürfte. Der Verfasser übersieht, daß die von seinen einzelnen Drähten ausgehenden Schwingungen sich wieder zu einer linear polarisierten Welle superponieren. Von einer dem natürlichen Licht ähnlichen Schwingung kann daher nicht die Rede sein. Die angegebene Funkenstrecke gibt eine Schwingung, die (bezogen auf den elektrischen Vektor) senkrecht zur Symmetrieaxe linear polarisiert ist.

Ich habe mir den angegebenen Sender improvisiert und mit einer ähnlichen Anordnung,

wie sie von Leimbach<sup>1)</sup> angegeben ist, festgestellt, daß die von ihm und einem linearen Hertzschen Oszillator ausgesandten Wellen in bezug auf ihre Polarisation genau identisch sind. Der einzige Vorteil, den die beschriebene Anordnung hat, ist der, daß infolge der vergrößerten Kapazität die Wellen etwas kräftiger sind. Dieser Vorteil wird aber bei dem von Leimbach angegebenen kegelförmigen Sender viel besser erreicht. Auch der Empfänger ist in derselben Weise nur linear polarisiert.

Mit dem Kohärer läßt sich infolge seiner Unzuverlässigkeit und der Unmöglichkeit quantitativ zu arbeiten, nur ein sehr zweifelhafter Nachweis über den Polarisationszustand erbringen, woraus sich wohl der Irrtum des Verfassers er-

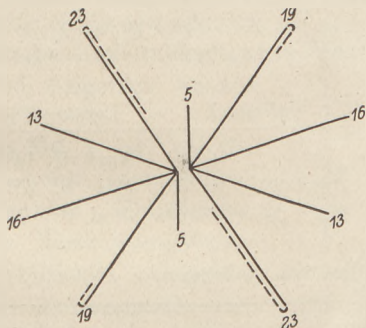
<sup>1)</sup> Zeitschr. f. phys. u. chem. U. 27, Heft 3 (1914) und 28, Heft 6 (1915).

klären läßt. Immerhin hätte nicht übersehen werden dürfen, daß ein Gitter, wenn es so eingestellt ist, daß die Drähte parallel der Polarisationssebene (vergl. oben) des angegebenen Senders stehen, nichts hindurchläßt.

Ein Mittel, eine dem gewöhnlichen Licht ähnliche Schwingung herzustellen, bleibt zwar der rotierende Hertzsche Oszillator. Da aber auch diese Darstellungsweise (rotierender Nicol) die Eigentümlichkeiten des natürlichen Lichtes nicht restlos wiedergibt, weil es sich gerade durch vollkommene Regellosigkeit auszeichnet, so kann man über die Notwendigkeit der Verwendung dieses Mittels zur Veranschaulichung der Tatsachen auch anderer Meinung sein als der Verfasser.

Erwiderung.

Die an meinem Vorschlag einer Funkenstrecke mit radialen Drähten geübte Kritik ist berechtigt; die Einzelschwingungen superponieren



sich in der Tat dann, aber auch nur dann, zu einer linearen, wenn sie von gleicher Form und Phase sind. Es müssen daher die Drähtepaare von verschiedener Länge gewählt werden, um die Einzelschwingungen gegeneinander zu verstimmen. Die Drähte haben jetzt die Längen

5, 13, 16, 19, 23 cm und sind, wie die Figur zeigt, zum Teil um den Rand der Scheiben herumgebogen. Die Versuche gelingen durchaus, ein Gitter läßt in jeder Lage Wellen hindurch. In der Empfangsstation, deren Drähte die entsprechenden Längen haben, ist der Fritter beibehalten.  
*Christoph Schwantke.*

Zur Benutzung einer kleinen Pfeife bei Herstellung Kundtscher Staubfiguren (*dies. Zeitschr.* 30, 296 und 31, 24) bemerke ich, daß ich dieses bequeme Hilfsmittel schon in meinem Experimentierbuch II, S. 84 (1912, B. G. Teubner) angegeben habe. Manche der neuen Versuche in dem zunächst für Schüler bestimmten Buche sind auch für den Klassenunterricht brauchbar.  
*H. Rebenstorff.*

Zum Bericht von M. OETTLI-Glarisegg über einen Unfall mit weißem Phosphor, *diese Zeitschr.* 30, S. 303, schreibt uns Herr M. ZUPPKE, Danzig, Victoriaschule II:

Nach Vorschrift des Deutschen Arzneibuches ist weißer Phosphor „unter Wasser und im Dunkeln aufzubewahren“, da er bekanntlich unter dem Einfluß des Tageslichtes in die rote Abart übergeht. Diesen Lichtschutz läßt die von Herrn OETTLI empfohlene Blechbüchse in halber Höhe der Flasche vermissen. Man erreicht jedoch Lichtschutz und Schutz des Gefäßes gegen irgendwelche Zertrümmerung, wenn man den Phosphor in einem Pulverglas unter Wasser aufhebt und dieses noch in eine geräumige Blechbüchse mit dicht schließendem Deckel setzt<sup>1)</sup>, z. B. in eine Kakaobüchse.

<sup>1)</sup> Anm. d. Red. Diese Aufbewahrungsweise ist auch angegeben in O. Ohmann, Die Verhütung von Unfällen usw. (Berlin, Winkelmann & Söhne), 2. Aufl., S. 52.

## Himmelserscheinungen im April und Mai 1918.

### Lauf des Mondes im Tierkreis.

Apr. 1. Sp 3°	Apr. 12. W 7°	Apr. 22. L 18°	Mai 2. Sz 21°	Mai 12. S 14°	Mai 22. J 20°
(0 <sup>h</sup> ) 2. 15°	(0 <sup>h</sup> ) 13. 22°	(0 <sup>h</sup> ) 23. J 0°	(0 <sup>h</sup> ) 3. Sb 4°	(0 <sup>h</sup> ) 13. 28°	(0 <sup>h</sup> ) 23. Wg 2°
3. 28°	14. S 6°	24. 12°	4. 18°	14. Z 12°	24. 14°
4. Sz 11°	15. 20°	25. 24°	5. Ws 2°	15. 25°	25. 27°
5. 24°	16. Z 4°	26. Wg 6°	6. 16°	16. K 8°	26. Sp 9°
6. Sb 8°	17. 17°	27. 18°	7. Fs 1°	17. 20°	27. 22°
7. 22°	18. K 0°	28. Sp 0°	8. 16°	18. L 2°	28. Sz 5°
8. Ws 7°	19. 12°	29. 13°	9. W 1°	19. 14°	29. 18°
9. 22°	20. 24°	30. 25°	10. 16°	20. 26°	30. Sb 1°
10. Fs 7°	21. L 6°	Mai 1. Sz 8°	11. S 0°	21. J 8°	31. 15°
11. 22°					

(Erklärung der Abkürzungen siehe S. 72.)

Breite von Berlin. 0<sup>h</sup> = Mitternacht. (Berliner Zeit = MEZ - 0,1<sup>h</sup>)

MEZ 12 <sup>h</sup>	April						Mai						
	1	6	11	16	21	26	1	6	11	16	21	26	31
♁ (AR)	1 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup>	2. 7	2.22	2.28	2.24	2.15	2. 4	1.57	1.57	2. 3	2.15	2.33	2.55
	13 <sup>o</sup>	16	17	18	17	15	12	10	9	9	10	11	14
♀ (D)	21 <sup>h</sup> 51 <sup>m</sup>	22. 8	22.25	22.43	23. 2	23.21	23.41	0. 0	0.20	0.41	1. 1	1.22	1.43
	-10 <sup>o</sup>	-10	- 9	- 7	- 6	- 5	- 3	- 1	1	3	4	6	8
♃ (AR)	0 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	0.58	1.17	1.35	1.54	2.12	2.31	2.51	3.10	3.30	3.50	4.10	4.30
	4 <sup>o</sup>	6	8	10	12	13	15	16	18	19	20	21	22
♂ (D)	11 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	11.14	11.10	11. 7	11. 5	11. 4	11. 4	11. 6	11. 8	11.12	11.16	11.21	11.27
	8 <sup>o</sup>	8	9	9	9	8	8	8	7	7	6	5	5
♃ (AR)		4.28		4.36		4.45		4.54		5. 3		5.13	
		21		22		22		22		22		23	
♃ (D)	8 <sup>h</sup> 41 <sup>m</sup>						8.43						
	19 <sup>o</sup>						19						

Stargarder Mittag

Sternzeit	0 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup> 59 <sup>s</sup>	0.55.41	1.15.24	1.35. 7	1.54.50	2.14.32	2.34.15	2.53.58	3.13.41	3.33.23	3.53. 6	4.12.49	4.32.32
Zeitgl.	4 <sup>m</sup> 7 <sup>s</sup>	2.38	1.14	- 0.3	- 1.11	- 2. 9	- 2.55	- 3.27	- 3.45	- 3.48	- 3.38	- 3.14	- 2.39

Ortszeit

♁ Aufg.	5 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup>	5.27	5.16	5. 4	4.53	4.43	4.33	4.23	4.14	4. 6	4. 0	3.52	3.47
	Unterg.	18 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup>	18.39	18.48	18.57	19. 5	19.14	19.23	19.31	19.39	19.47	19.53	20. 2
♃ Aufg.	—	3. 1	4.51	8.34	14.19	19.59	—	2.10	4.26	9.48	15.29	21. 2	23.55
	Unterg.	7 <sup>h</sup> 8 <sup>m</sup>	12.31	19.47	0.34	2.47	4.12	7.47	14.23	21.19	0.12	1.39	3.48

Mondphasen MEZ	Neumond	Erstes Viertel	Vollmond	Letztes Viertel
		April 11, 5 <sup>h</sup> 34 <sup>m</sup> Mai 10, 14 <sup>h</sup> 1 <sup>m</sup>	April 18, 5 <sup>h</sup> 7 <sup>m</sup> Mai 17, 21 <sup>h</sup> 14 <sup>m</sup>	April 26, 9 <sup>h</sup> 5 <sup>m</sup> Mai 23, 23 <sup>h</sup> 32 <sup>m</sup>

Erscheinen und Verschwinden der Planeten. (Ortszeit.)

♁	Abendstern nachm.	Tag	♀ Morgenstern vorm.	♂ (Löwe)		♃ (Stier)		♃ (Krebs)	
				nachm.	vorm.	nachm.	(vorm.) nachm.	nachm.	vorm. (nachm.)
III. 25	7,5 <sup>h</sup>	III. 22	A 4,3 <sup>h</sup> D 5,4 <sup>h</sup>	D 7,4	D 4,9	D 7,3	U (0,2)	D 7,4	U 4,6
IV. 1	D 7,6 U 8,3	IV. 11	A 3,8 D 4,5	D 8,0	D 4,0	D 7,9	U 11,4	D 8,0	U 3,3
IV. 11	D 7,9 U 8,8	V. 1	A 3,3 D 3,8	D 8,8	U 3,3	D 8,6	U 10,5	D 8,8	U 2,0
IV. 21	8,1 <sup>h</sup>	V. 21	A 2,7 D 3,1	D 9,6	U 2,0	D 9,4	U 9,5	D 9,6	U 0,7
		VI. 10	A 2,1 D 2,7	D 10,2	U 0,8	(V 23. 9 <sup>m</sup> , 5)		D 10,2	U (11,5)

Verfinsterungen der Jupitermonde (MEZ). — Nachmittags-Stunden. A = Austritt.

Apr. 2, 8 <sup>h</sup> 37,4 <sup>m</sup> A III.	Apr. 26, 8 <sup>h</sup> 14,4 <sup>m</sup> A II.	Mai 15, 8 <sup>h</sup> 46,4 <sup>m</sup> A III.
„ 21, 9 <sup>h</sup> 9,1 <sup>m</sup> A I.	Mai 14, 9 <sup>h</sup> 22,7 <sup>m</sup> A I.	

Abkürzungen für die von Ptolemäus abgerundeten Zwölftel des Tierkreises, benannt nach den eingeschlossenen Sternbildern. Man vergleiche die Sternkarte in Heft 1.

Heut. Länge 25 <sup>o</sup>	55 <sup>o</sup>	85 <sup>o</sup>	115 <sup>o</sup>	145 <sup>o</sup>	175 <sup>o</sup>	205 <sup>o</sup>	235 <sup>o</sup>	265 <sup>o</sup>	295 <sup>o</sup>	325 <sup>o</sup>	355 <sup>o</sup>	25 <sup>o</sup>
Zwölftel	Widd.	Stier	Zwill.	Krebs	Löwe	Jungfr.	Wage	Skorp.	Schütze	Steinb.	Wasserm.	Fische
Abkürzung	W	S	Z	K	L	J	Wg	Sp	Sz	Sb	Ws	Fs
Ehem. Länge 0 <sup>o</sup>	30 <sup>o</sup>	60 <sup>o</sup>	90 <sup>o</sup>	120 <sup>o</sup>	150 <sup>o</sup>	180 <sup>o</sup>	210 <sup>o</sup>	240 <sup>o</sup>	270 <sup>o</sup>	300 <sup>o</sup>	330 <sup>o</sup>	360 <sup>o</sup>

M. Koppe.

Nachdruck nur mit Quellenangabe und mit Genehmigung der Verlagshandlung gestattet.

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

## Über eine einfache Versuchsanordnung zur Beugung des Lichtes, Dunkelfeldbeleuchtung und Schlierenbeobachtung.

Von Dr. Karl Rosenberg, k. k. Hofrat und Landesschulinspektor in Graz.

In der „Experimentierenden Physik“ von K. SCHREBER und P. SPRINGMANN (II. Band S. 85) findet sich die Beschreibung eines mit einfachen Mitteln ausführbaren Versuches über die Beugung des Lichtes, der im übrigen in der Fachliteratur bisher recht wenig Beachtung gefunden hat<sup>1)</sup>. Dies erscheint um so auffälliger, als der Versuch ebenso lehrreich als originell ist, ferner — wie ich gefunden habe und im folgenden näher ausführen will — zu sehr mannigfaltiger Ausgestaltung und Verwertung geeignet erscheint.

Es sei zunächst der Versuch in seiner ursprünglichen Form beschrieben, wobei gleichzeitig einige aus eigener Praxis stammende Ratschläge ergänzend beigelegt werden sollen.

In Fig. 1 ist  $AB$  die optische Achse eines Projektionsapparates. Unmittelbar vor den Beleuchtungslinsen (dem Kondensator), aus denen ein ziemlich langgestreckter Lichtkegel austritt, wird ein vertikaler Spalt  $S$  von 2 bis 5 mm Breite aufgestellt. Am

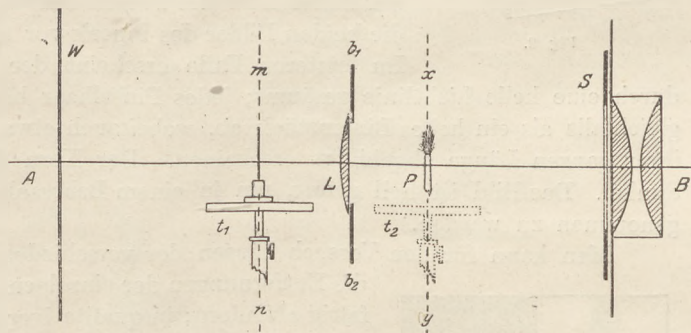


Fig. 1.

einfachsten ist es, aus einem Stück fester, doch nicht zu dicker Pappe von der Größe eines Projektionsbildes mit einem guten Federmesser einen Spalt von der angegebenen Breite herauszuschneiden; der Spalt wird so lang gemacht, als es die größere Mittelsymmetrale des rechteckigen Pappstückes erlaubt. Indem man letzteres in den unmittelbar vor den Beleuchtungslinsen stehenden Bildschieber steckt, wird dadurch die Ablendung störenden Seitenlichtes erreicht und lassen sich auch auf diese Art Spalte von verschiedener Breite oder Blenden von verschiedener Form und Größe sehr rasch auswechseln. Von diesem Spalte wird durch eine Sammellinse  $L$  von etwa 25 cm Brennweite — es genügt eine gewöhnliche, nicht achromatische Linse<sup>2)</sup>, die

<sup>1)</sup> Der Versuch wurde seinerzeit von mir in die 2. und 3. Auflage meines „Experimentierbuchs“ aufgenommen (II. Bd., S. 487 bzw. S. 494) und erscheint auch in H. Hahn, *Freihandversuche*, 3. Bd., S. 346 wiedergegeben; dortselbst wird der Versuch einer Mme. Villard zugeschrieben. In bemerkenswerter Weise würdigt den Versuch Dr. E. Maey in dieser *Zeitschr.* 26, S. 143, 1913.

<sup>2)</sup> Eine achromatische Linse würde allerdings Vorteile bieten; da man jedoch von der angegebenen Brennweite meist nur solche von verhältnismäßig kleinem Durchmesser zur Verfügung haben dürfte, die Öffnung der Linse bei dem Versuche aber — wie sich später ergeben wird — möglichst groß sein sollte, wird man, besonders zu Demonstrationsversuchen, sich meistens mit einer nicht achromatischen Linse begnügen müssen.

mit einer breiten Ringblende  $b, b_2$  aus Pappe oder Blech versehen wird — ein auf  $\frac{1}{3}$  bis  $\frac{1}{4}$  der natürlichen Größe verkleinertes reelles Bild entworfen, das in einer Ebene  $mn$  zustande kommen möge<sup>1)</sup>. Dieses Bild wird nach SCHREBER und SPRINGMANN auf einem schmalen vierkantigen Prisma (einem Kantel) aufgefangen. Anstatt eines solchen verwende ich mit Vorteil schmale Blendschirmchen von der in Fig. 2 ersichtlichen Gestalt. Ein Kork ist auf ein Brettchen aufgeleimt; in eine Spalte wird ein etwa 2 bis 5 mm breites Streifen aus geschwärztem Bleche, aus Pappe oder Fournierholz u. dgl. gesteckt. Diese Vorrichtung, die im folgenden immer kurz als „Abblendung“ bezeichnet werden soll, kommt auf ein kleines, in vertikaler Richtung verschiebbares Tischchen  $t_1$  (Fig. 1) zu stehen. Wir denken uns dieselbe übrigens vorläufig noch weg

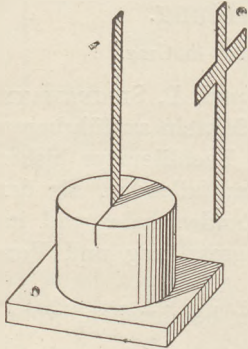


Fig. 2.

und bringen zwischen Linse und Spalt (bei  $P$ ) einen trockenen Kamelhaarpinsel von mittlerer Größe mit möglichst auseinanderstehenden Haaren, der hierzu in vertikaler Stellung in einem Ständer (in der Figur weggelassen) befestigt ist. Durch Verschieben des Pinsels in der Richtung der optischen Achse können wir leicht erreichen, daß auf einem in 4—5 m Entfernung aufgestellten Projektionsschirme ( $W$ ) ein etwa 15 bis 20fach vergrößertes scharfes Schattenbild des Pinsels entsteht. Damit ist die höchst einfache Vorbereitung des Versuches bereits beendet. Wir bringen nun die „Abblendung“ an ihre vorhin ermittelte Stelle, und nun zeigt sich auf dem Schirme ein helles Bild des Pinsels auf dunklem Grunde. Fig. 3 deutet die beiden Bilder des Pinsels vor und nach der Abblendung an. Im letzteren Falle erscheint der Pinselstiel rechts und links durch eine helle Lichtlinie gesäumt; jedes Pinselhaar bildet sich, soweit es frei steht, gleichfalls als ein helles Linienstück ab, wobei auch etwa seitlich abstehende Haare in ihrer ganzen Länge abgebildet erscheinen. Der Kern des Pinsels und Stieles bleibt dunkel. Das Bild ist hell genug, um in einem Lehrsaale von allen Plätzen aus wahrgenommen zu werden.

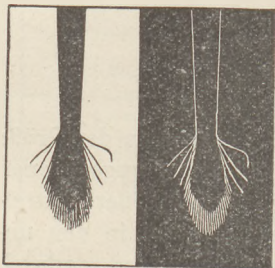


Fig. 3.

Man kann für den Versuch Linsen der verschiedensten Brennweite wählen, auch die Entfernungen der einzelnen Apparate voneinander mannigfaltig abändern; in qualitativer Hinsicht wird man immer das gleiche Ergebnis erhalten. Für Demonstrationszwecke könnte bei Anwendung einer Linse von 25 cm Brennweite die Entfernung Linse—Spalt 100 cm, jene Linse—Schirm 450 cm groß gewählt werden; der Spalt wird dann auf etwa  $\frac{1}{3}$  verkleinert, der Pinsel beiläufig auf das siebzehnfache vergrößert erscheinen.

Ich will nun zunächst begründen, warum ich diesen Versuch für den sinnfälligsten aller Beugungsversuche halten möchte. Schieben wir den Pinsel aus dem Lichtkegel heraus, so erscheint der Projektionsschirm völlig dunkel, da ja alles Licht, das aus dem Projektionsapparate austritt, auf der undurchsichtigen „Abblendung“ aufgefangen und somit auf seinem Wege zum Schirme aufgehalten wird. Bringen wir nun den Pinsel wieder an seine frühere Stelle, so entsteht wie vorhin sein helles Bild und gelangt also augenscheinlich Licht bis zum Schirme. Somit bildet der Pinsel eine Veranlassung dafür, daß das Licht von seinem geometrisch einfach definierten Wege sich seitlich abbiegt; dieses zur Seite „gebeugte“ Licht gelangt auf die Vorder-

<sup>1)</sup> Nach Schreber und Springmann soll die Entfernung der Linse vom Spalte etwa das  $1\frac{1}{2}$ fache, nach Hahn etwa  $\frac{2}{3}$  der Brennweite betragen. Beide Angaben dürften wohl auf Druckversehen beruhen, da man im ersten Falle nur ein vergrößertes, im zweiten überhaupt kein wirkliches Spaltbild erzielen könnte.

fläche der Linse und wird von ihr in der zugehörigen Bildweite — also auf dem Projektionsschirme — zu jenem hellen Bilde der Pinselumrandung vereinigt<sup>1)</sup>. Die „Abblendung“ vermag natürlich nur einen geringen Teil dieses gebeugten Lichtes aufzuhalten; es folgt jedoch daraus, daß die Abblendung möglichst schmal (nicht breiter als zur zuverlässigen Aufnahme des Spaltbildes erforderlich) gehalten sein soll und andererseits eine Linse von möglichst großer Öffnung die Helligkeit des Beugungsbildes steigern muß.

Es unterliegt nun natürlich keinem Zweifel, daß bei dem Versuche nicht der Pinsel als Ganzes beugend wirkt, sondern vielmehr die Beugung einerseits an den seitlichen Begrenzungskanten des Pinsels (am „einfachen Schirmrande“), andererseits an jedem feinen Haare (gleichsam an zwei sehr nahe aneinanderliegenden Schirmrändern) stattfindet. Es erschien daher sehr naheliegend, den Versuch zunächst mit diesen einfachen Beugungsobjekten — dem geradlinigen Schirmrande und dem feinen Haare (Drahte) — zu wiederholen. Diese Versuche führten mich noch auf weitere Abänderungen, die vielleicht mindestens ebenso nützlich und lehrreich erscheinen könnten als der ursprüngliche Versuch.

Die vorhin beschriebene Anordnung (Fig. 1) bleibt für alle diese Versuche völlig ungeändert; die Beugungsobjekte werden in die Ebene  $xy$ , in der früher der Pinsel aufgestellt war, gebracht, wozu gelegentlich ein zweites, gleichfalls in vertikaler Richtung verschiebbares Tischchen  $t_2$  gute Dienste leistet.

Der Bequemlichkeit halber sind die folgen-

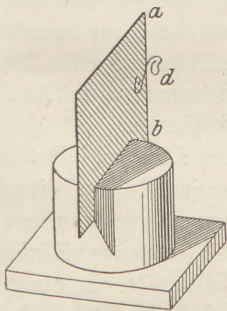


Fig. 4.

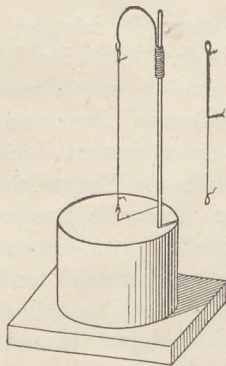


Fig. 5.

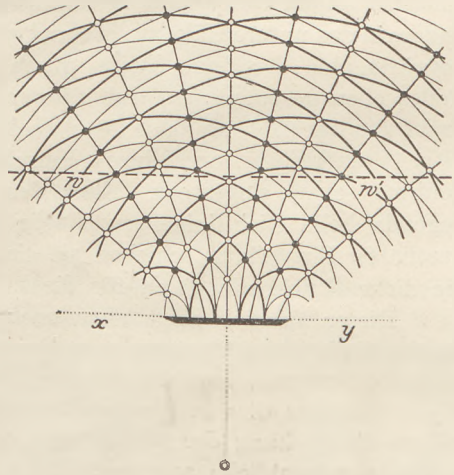


Fig. 6 (zu S. 76).

den Versuche mit fortlaufenden Zahlen bezeichnet.

1. In einem Korke (Fig. 4) ist ein rechteckiges Stück dünnen Bleches befestigt, an dem eine der Kanten ( $ab$ ) möglichst scharf und glatt gehalten ist. An diesem Schirmchen ist (bei  $d$ ) ein Stückchen feinen Drahtes so angeklebt, daß das hervorstehende beliebig gekrümmte Endstück genau in der Ebene des Schirmchens liegt. Dieses Drahtteilchen erleichtert das scharfe Einstellen des Schirmrandes, der von der Seite soweit in den Lichtkegel geschoben wird, daß sein Bild den hellen Lichtfleck auf dem Schirme ungefähr halbiert. Beim Vorschieben der „Abblendung“ ergibt sich eine helle Lichtlinie an Stelle der früheren Schattengrenze. Die Erklärung dieser schon von GRIMALDI, NEWTON und THOMAS YOUNG beobachteten Erscheinung „des leuchtenden Schirmrandes“ hat in schöner und anschaulicher Weise Dr. E. MAEY<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Die Erscheinung ist natürlich auch, wenn man den Pinsel von einem beliebigen Punkte seitlich von der optischen Achse (irgendwo zwischen  $W$  und der Ebene  $xy$ , Fig. 1) betrachtet, subjektiv sichtbar.

<sup>2)</sup> Wied. Ann. 49, 69, 1893. — Vgl. auch A. Sommerfeld in Math. Ann. 47, 317, 1895 und Dr. E. Maey in dieser Zeitschr. 17, S. 10, 1904. Die neueren Lehrbücher der Physik von

gegeben. Man wird vielleicht im ersten Augenblicke neben diesem leuchtenden Schirmrande Interferenzstreifen erwarten. Abgesehen davon, daß sie bei dieser Stellung des beugenden Schirmrandes nicht erhalten werden könnten (vgl. den nächsten Versuch), können sie bei unserer Versuchsanordnung überhaupt nicht entstehen. Denn sie sind das Ergebnis der Interferenz des gebeugten mit dem direkt zum Schirme gehenden Lichte; dieses letztere wird aber bei unserem Versuche durch die „Abblendung“ aufgehalten. In dieser Ausschaltung des direkten und der Abtrennung des gebeugten Lichtes liegt gerade das Originelle und Charakteristische der hier beschriebenen Versuche.

2. Als Beugungsobjekt soll ein möglichst feiner, in vertikaler Richtung ausgespannter Draht verwendet werden. Zum Ausspannen dient die aus Fig. 5 ersichtliche einfache Vorrichtung. In einen Kork ist ein Stück einer Stricknadel vertikal hineingesteckt. Ein Stückchen harten Kupfer- oder Messingdrahtes von etwa 0,5 mm Dicke wird zunächst in Form einer Spirale um die Stricknadel recht straff herumgewickelt und das Ende zu einem leicht federnden Bügel gebogen, der in einem kleinen Häkchen endet. Ein zweites Häkchen aus etwas stärkerem Drahte ist in der Mitte des Korkes befestigt. Nun wird ein Stückchen des feinen Drahtes von passender Länge oben und unten zu Schlingen gedreht. Indem man den Drahtbügel zunächst an der Stricknadel hinabschiebt, hängt man die eine Schlinge in das obere, die andere in das untere Häkchen ein und schiebt sodann wieder die Spirale vorsichtig solange aufwärts, bis der feine Draht durch ganz leichte Federwirkung des bügelförmigen Teiles eben gespannt ist. Ich verwendete bei meinen Versuchen einen feinen Silberdraht von nur 0,04 mm (also  $40 \mu$ ) Dicke<sup>1</sup>). Diese Vorrichtung wird auf das Tischchen  $t_2$  (Fig. 1) aufgestellt und durch Verschieben das Bild des feinen Drahtes auf dem Schirme scharf eingestellt. Nach dem Abblenden erhält man zwei dicht aneinander liegende helle Lichtlinien (zwei sehr naheliegende „leuchtende Schirmränder“). Bei unscharfer Einstellung schieben sie sich zu einer einzigen Lichtlinie zusammen. Auch die dicke Stricknadel kann für diesen Versuch als Beugungsobjekt dienen.

Dieser Versuch zeigt aber noch mehr über die Beugung des Lichtes. Da in diesem Falle zwei Systeme von Beugungswellen (von jedem Schirmrande aus eines) zustande kommen, muß es zu einer Interferenz dieser beiden Wellensysteme kommen. Fig. 6 erläutert dies in der gebräuchlichen Art der Darstellung. Die stärkeren Linien mögen die Stellung der Wellenberge, die schwächeren jene der Wellentäler in einem gewissen Augenblicke angeben. Es kommt dann an den durch einfache Ringe bezeichneten Stellen zu einer Verstärkung, an den durch voll ausgefüllte Ringe bezeichneten Stellen zur Auslöschung der Wellenwirkung. Fangen wir also die Beugungserscheinung auf einem Schirme  $ww'$  auf, so müssen wir auf demselben abwechselnd helle und dunkle Interferenzstreifen erhalten. Bei unserem Versuche konnten dieselben vorläufig nicht sichtbar sein, da die Linse bisher die Punkte der Ebene  $xy$  (Fig. 1 u. 6) abgebildet hat, nun aber Punkte einer Ebene abbilden soll, die zwischen den Ebenen  $xy$  und  $b_1 b_2$  (Fig. 1) liegt. Wir erhalten daher diese Abbildungen, wenn wir den bildauffangenden Schirm ( $W$  in Fig. 1) weiter in der Richtung gegen  $A$  fortschieben oder wenn wir — da die Projektionswand  $W$  möglicherweise nicht verschiebbar ist —

O. D. Chwolson (II. Bd., S. 810), E. Grimsehl (3. Aufl., I. Bd., S. 823) und H. Böttger (II. Bd., S. 1295) behandeln diesen, sonst meist nur flüchtig oder gar nicht erwähnten Fall der Beugung etwas ausführlicher. Auch in der 3. Auflage der „Oberstufe der Physik“ von Dr. Friedrich Poske hat die sehr beachtenswerte Darstellung, welche diese einfachste aller Beugungserscheinungen durch Dr. E. Maey erfahren hat, bereits Eingang gefunden.

<sup>1</sup>) Ähnliche „Haardrähte“ von 0,02 bis 0,05 mm Durchmesser aus verschiedenen Metallen und Legierungen liefern Hartmann & Braun, A.-G., Frankfurt a. M. Auch Julius Voelmy, Berlin SO, Kottbuserstr. 14, wird als Bezugsquelle für Silberdraht von 0,02 mm Durchmesser aufwärts genannt.



den feinen Draht näher gegen den Spalt rücken. In der Tat treten bei dieser Verschiebung (bei den früher angegebenen Entfernungen um 1—2 cm) rechts und links von den früheren hellen Streifen auf jeder Seite 6—8 deutlich sichtbare (natürlich farbige) helle Streifen auf, die durch dunkle Streifen getrennt sind. Benützen wir dabei als Beugungsobjekt ein aus zwei Stücken von verschiedener Dicke zusammengesetztes Drahtstück (Fig. 5, Nebenfigur), so sind die Interferenzstreifen beim dickeren Drahtteile näher aneinander gelegen. Bei Verwendung der dicken Stricknadel selbst liegen die Streifen schon so dicht aneinander, daß sie wohl nicht mehr deutlich wahrnehmbar sind.

Verwendet man einen Spalt, von dem die eine Hälfte mit einem hellroten, die andere mit einem hellblauen Glasstreifen (oder mit derartigen Gelatinefolien) überdeckt ist, so kann man bei Verwendung des feinen Drahtes deutlich wahrnehmen, daß die dunklen Streifen im roten Lichte weiter voneinander liegen als im blauen<sup>1)</sup>.

Die unter 2. beschriebenen Versuche gewinnen natürlich an Schärfe (selbstverständlich auf Kosten der Lichtstärke) bei Verwendung eines etwas engeren Spaltes.

3. Ein quadratisches Brettchen ist auf einem kleinen Unterlagsbrettchen befestigt; in das erste ist eine kreisrunde Öffnung von etwa 8 cm Durchmesser eingeschnitten

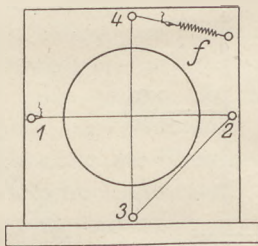


Fig. 7.

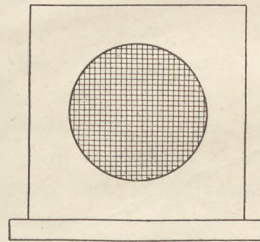


Fig. 8.

(Fig. 7). Bei 1, 2, 3 und 4 sind kleine Nägel so tief eingeschlagen, daß ein möglichst feiner Draht, wie aus der Zeichnung ersichtlich ist, mit einer Schlinge an 1 angehängt und dann der Reihe nach um 2, 3, 4 herumgelegt werden kann; das freie Ende wird an ein kleines Spiralfederchen  $f$  (Stückchen einer Hosenträgerfeder) befestigt, so daß die zwei sich genau rechtwinklig überkreuzenden Drahtstücke leicht gespannt sind. Wird nun dieses Brettchen in die Ebene  $xy$  (Fig. 1) gebracht, so kann natürlich nur am lotrechten Drahtteile die Beugungserscheinung auftreten. Wird der Spalt ( $S$  in Fig. 1) durch einen wagerechten ersetzt und das Spaltbild durch den wagerechten Querbalken einer kreuzförmigen „Ablendung“ (Fig. 2, Nebenfigur) aufgefangen, so tritt die Erscheinung nur am wagerechten Drahtteile auf. Verwenden wir daher (bei  $S$  in Fig. 1) ein Pappstück mit zwei sich rechtwinklig durchkreuzenden Spalten und fangen das kreuzförmige Spaltbild auf beiden Balken der Kreuzblende (Fig. 2, Nebenfigur) auf, so zeigt sich die Beugungserscheinung an beiden Drahtteilen. Beim vorhin erwähnten Zurückschieben des Beugungsobjektes bilden die Interferenzstreifen im mittleren Teile quadratische Figuren.

4. Der vorstehende Versuch erklärt nun die Erscheinung, die eintritt, wenn man ein Drahtnetz mit quadratischen Netzöffnungen als Beugungsobjekt verwendet. Das Netz, das womöglich aus recht feinen Drähten, aber nicht mit zu kleiner Maschenweite gewählt werden sollte, wird über eine aus Fig. 8 ersichtliche Rahmenblende gespannt<sup>2)</sup>. Bei Verwendung eines kreuzförmigen Spaltes zeigt sich jede Netzöffnung

<sup>1)</sup> Hinsichtlich der elementaren Ableitung der diese Erscheinungen begründenden Formel vgl. W. Möller, *diese Zeitschr.* 4, S. 37, 1890.

<sup>2)</sup> Ein solches Drahtnetz ist — nebenbei bemerkt — vorzüglich geeignet, die Unvollkommenheit der Abbildung durch eine gewöhnliche Linse zu zeigen. Man vermag nur die Bildmitte scharf einzustellen.

nach innen hellumrandet, was sehr zierlich aussieht, während bei Verwendung eines lotrechten oder eines wagerechten Spaltes diese Umrandung nur an den betreffenden Drahtteilen sichtbar ist.

5. Wird daher ein aus dünnem Bleche geschnittener achtspitziger Stern von etwa 2 cm Durchmesser an einer Stricknadel befestigt (Fig. 9a) und als Beugungsobjekt benützt, so muß, damit die helle Umrandung an allen Begrenzungslinien des Schattenbildes gleichmäßig auftritt, ein vierfacher Spalt und eine aus vier Balken zusammengesetzte „Abblendung“ (Fig. 9b) in Anwendung kommen.

6. Bei Verwendung eines Kreisringes (Fig. 10) als Beugungsobjekt müßte somit — da die beugende Kontur hier alle möglichen Richtungen aufweist — ein System von unendlich vielen sich kreuzenden Spalten benützt werden; man wird daher als solches eine kreisrunde Blende (bei  $S$ , Fig. 1) in den Bildschieber setzen und auch zum Abblenden kreisrunde Blechscheibchen verwenden. Fig. 11 zeigt die in diesem Falle zu verwendende Form der „Abblendung“. Man lötet einige kreisrunde Blechscheiben (Kupfer- oder Eisenmünzen) von verschiedenem Durchmesser an Drahtstücke, deren freie Enden um eine in Kork befestigte Stricknadel in straffen Spiralen herumgewickelt werden; dadurch und durch die Verstellbarkeit des Tischchens  $t_1$  (Fig. 1) ist es leicht



a



b



Fig. 10.

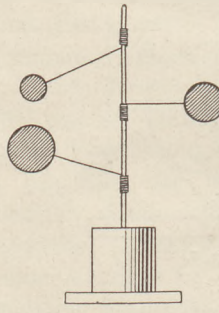


Fig. 11.

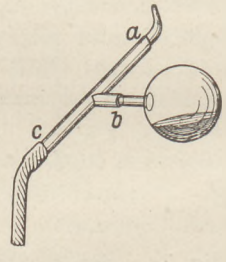


Fig. 12.

möglich, das kreisrunde Bild der lichteinlassenden Öffnung jedesmal genau abzublenden. Es sei noch bemerkt, daß jeder wie immer geformte Gegenstand, den wir in die Ebene  $xy$  (Fig. 1) bringen, hell umrandet erscheint.

7. Bei Anstellung dieser Versuche wird man bisweilen bemerken, daß helle Funken über die Fläche des Projektionsschirmes ziehen; es sind die Beugungsbilder von Staubteilchen, die durch die Ebene  $xy$  in Fig. 1 hindurchfliegen. Um diese Erscheinung nach Belieben hervorrufen zu können, zerstäube man dortselbst ein feines Pulver, am besten Bärlappsamen<sup>1)</sup>. Ich verwende hierzu die kleine Vorrichtung Fig. 12, die der Hauptsache nach aus einem T-Rohre aus Blech besteht. In das Rohrende  $a$  ist ein knieförmiges Glasröhrchen mit nicht zu enger Spitze eingesetzt. Bei  $b$  läßt sich ein ganz kleines Glaskölbchen (hergestellt durch Anblasen einer Kugel von etwa 2 cm Durchmesser an das Ende eines entsprechend weiten Glasröhrchens) hineinstecken, das mit Bärlappsamen gefüllt wird. Bei  $c$  endlich wird ein Gummischlauch mit Druckbirne, wie man sie bei photographischen Momentverschlüssen verwendet, angesteckt. Indem man den Rohrteil  $ac$  um seine Längsachse so dreht, daß das Kölbchen  $b$  etwas gehoben wird, kann man durch Erschüttern leicht erreichen, daß eine kleine Menge des zarten, schlüpfrigen Pulvers in den Rohrteil  $ac$  gelangt. Durch Druck auf die Gummibirne wird diese Pulvermenge sodann vertikal nach aufwärts geblasen. Indem man die Ausflußöffnung in die Ebene  $xy$  (Fig. 1) bringt, findet man

<sup>1)</sup> Die unter dem Namen „semen lycopodii“ bekannten Pollenkörner des Bärlapps sind ungefähr von derselben Größenordnung wie der beim Versuche 2 verwendete Silberdraht; ihr Durchmesser liegt zwischen 30 und 40  $\mu$ .

leicht jene Stelle, von der aus die Erscheinung sich am schärfsten abbildet; ein zarter Funkenregen zieht dann im Projektionsbilde von oben nach unten.

8. Eine Vereinfachung des vorigen Versuches besteht darin, daß man eine mit Bärlappsamen sehr leicht bestäubte planparallele (Spiegel-) Glasplatte in die Ebene  $xy$  (Fig. 1) bringt. Auf dem Projektionsschirme zeigt sich eine Art von Sternenhimmel.

Die besonders anziehenden Versuche 7 und 8 erläutern in wirkungsvollster Weise die sogenannte „Dunkelfeldbeleuchtung“ beim Mikroskope, deren Wesen bekanntlich darin besteht, daß man das mikroskopische Objekt durch schräges Licht intensiv durchleuchtet, dieses Licht jedoch nicht in den Mikroskoptubus eintreten läßt; in dieses gelangt vielmehr nur das an den feinen Strukturen des Objektes gebeugte Licht, so daß diese Strukturen sich nun hell auf dunklem Grunde abbilden. Auch das Prinzip des „Ultramikroskops“ wird durch diese Versuche veranschaulicht.

9. Beim vorigen Versuche wurde die Verwendung einer planparallelen Platte als notwendig hingestellt. Benützt man anstatt einer solchen eine gewöhnliche Glasplatte, so wird man erstaunt sein, was man im „Dunkelfelde“ zu sehen bekommt: helle, verschiedenfarbige Flecke wechseln mit dunkleren Partien ab. Man suche sich zu diesem Experimente ein möglichst viele Fehler aufweisendes Stück aus gewöhnlichem Fensterglase aus. Je mehr Fehler — Luftbläschen, Knoten, Schlieren, Ritze usw. — es enthält, desto besser! Im Dunkelfelde treten diese im Hellfelde noch immer kaum bemerkbaren Untugenden helleuchtend und oft in den prächtigsten Farben hervor. Natürlich ist es jetzt nicht mehr die Beugung des Lichtes allein, die diese Erscheinungen hervorruft; sie verdanken ihr Auftreten vielmehr der Brechung, die durch die Unregelmäßigkeiten der Glasplatte hervorgerufen wird. In dieser Form bildet der Versuch eine treffliche Erläuterung zur genialen Methode der „Schlierenbeobachtung“ AUGUST TOEPLERS. Gegenüber dem Schlierenapparate<sup>1)</sup> TOEPLERS zeigt unsere Versuchsanordnung nur zwei Unterschiede. Einerseits ist TOEPLERS Methode ein ausdrücklich für subjektive Beobachtung ersonnenes Verfahren<sup>2)</sup>, und andererseits ist die Ausführung der Abblendungsvorrichtung beim Schlierenapparate doch eine viel sorgfältigere. Naturgemäß mußten sich bei TOEPLERS Versuchen auch die unter Punkt 6 beschriebenen Erscheinungen der Beugung bemerkbar machen und konnten einem so scharfen Beobachter, wie es TOEPLER war, nicht entgehen; sie werden daher von ihm auch ausdrücklich erwähnt<sup>3)</sup>. Auf andere Beugungserscheinungen — etwa auf jene, die unter Punkt 2 beschrieben wurden — kommt TOEPLER, soweit ich seine Schriften kenne, nirgends zu sprechen.

Ich möchte übrigens ausdrücklich betonen, daß die Leistungen unserer einfachen Versuchsanordnung gegenüber jenen des TOEPLERSchen Schlierenapparates nur ganz bescheidene sind und sein können. Jene subtilen Unterschiede im Brechungsexponenten, die TOEPLER durch sein so überaus sinnreiches Verfahren noch nachzuweisen vermochte<sup>4)</sup>, können sich bei unserem primitiven Versuche begrifflicher Weise nicht mehr bemerkbar machen. Immerhin aber dürfte unser einfaches Experiment als ein ganz vorzügliches Veranschaulichungsmittel der Schlierenmethode nicht ohne Wert sein. Es mögen daher noch einige kleine hierhergehörige Versuche beschrieben werden.

10. Wir stellen bei  $xy$  (Fig. 1) eine kleine mit Wasser gefüllte Leyboldsche

<sup>1)</sup> Die beiden Hauptabhandlungen Toeplers über diesen Gegenstand sind in dankenswerter Weise in die schöne Sammlung von Ostwalds Klassikern der exakten Naturwissenschaften (W. Engelmann, Leipzig) aufgenommen, und zwar bilden die „Beobachtungen nach einer neuen optischen Methode“ das 157., die „Beobachtungen nach der Schlierenmethode“ das 158. Bändchen. Im folgenden werden sie mehrmals der Kürze halber als erste und zweite Abhandlung Toeplers bezeichnet werden.

<sup>2)</sup> Vgl. den Schlußabsatz der ersten Abhandlung Toeplers.

<sup>3)</sup> Vgl. die Erklärung zur Tafel II der zweiten und den § 7 der ersten Abhandlung Toeplers.

<sup>4)</sup> Vgl. Absatz 6 des § 4 der ersten Abhandlung Toeplers.

Küvette so auf, daß der Wasserspiegel noch am unteren Rande des Projektionsbildes sichtbar ist. (Bei diesem und dem nächsten Versuche benütze man als Lichteinlaßöffnung wieder eine vertikale, etwa 5 mm breite Spalte, beim letzten Versuche 12 dagegen ein kreisrundes Diaphragma.) Lassen wir nun Tropfen von mäßig verdünnter Schwefelsäure, von Kochsalzlösung oder von heißem Wasser (am bequemsten mittels Tropfgläschen oder Tropffläschchen) in das Wasser der Wanne fallen, so läßt sich im Dunkelfelde der Weg jedes Tropfens und die Entstehung der Wirbelringe in Form von helleuchtenden Wolken verfolgen. Vom herabsinkenden (im Projektionsfelde also aufsteigenden) Wirbelringe sieht man aus begrifflichen Gründen allerdings nur die zwei voneinander getrennt erscheinenden seitlichen Randteile. Recht lehrreich ist es bei diesen Versuchen, den Konzentrationsgrad (Wärmegrad) der verwendeten Flüssigkeiten abzuändern und zu zeigen, wie sich parallel damit die optische Wirkung ändert.

11. Eine solche Wanne wird mit einer nicht zu konzentrierten Lösung von doppeltkohlensaurem Natron oder von Soda gefüllt. Lassen wir nun einen kleinen Krystall von Weinsäure oder Zitronensäure hineinfallen, so wird das Aufsteigen der

Bläschen des freiwerdenden Kohlendioxyds in Form leuchtender Erscheinungen auf dem Schirme sichtbar werden.

12. Für den überraschendsten dieser Versuche bereite man sich folgendes vor. Eine gewöhnliche photographische Trockenplatte wird im Dunkeln ausfixiert und das Fixiernatron durch Wässern völlig entfernt. Man läßt sie dann trocknen, badet sie darauf bei Lampenlicht etwa 2 Minuten lang in einer 12<sup>0</sup>/<sub>0</sub>igen (konzentrierten) Lösung von Ammoniumbichromat und läßt sie endlich auf dem Trockenständer über Nacht völlig trocknen. Am folgenden Morgen



Fig. 13.

wird man die Platte mit feinen Krystallen des Salzes bedeckt finden, die in ihrer Gesamtheit prächtige eisblumenartige Zeichnungen bilden. Die Platte wird nun (ihrer Lichtempfindlichkeit wegen im Dunkeln!) in eine Wanne mit Wasser gelegt und solange in mehrmals gewechseltem Wasser gebadet, bis jede Spur von Gelbfärbung verschwunden ist; dieses Auswässern kann in seinem späteren Verlaufe ohne Nachteil bei vollem Tageslichte geschehen. Nach dem neuerlichen Trocknen zeigt die Platte in einem äußerst zarten Gelatinerelief wieder die eisblumenartigen Zeichnungen. Bringen wir nun die Platte in die Ebene  $xy$  (Fig. 1), so sind diese Zeichnungen im Hellfelde nur wenig bemerkbar. Beim Ablenden treten sie aber im Dunkelfelde in prächtigen, helleuchtenden Figuren zutage. Statt des Ammoniumbichromates kann man auch andere Salze (z. B. Fixiernatron, Kupfervitriol, gelbes Blutlaugensalz u. dgl.) in gesättigter Lösung verwenden. Fig. 13 zeigt eine photographische Wiedergabe der Erscheinung bei Verwendung von Ammoniumbichromat. Sie wurde dadurch hergestellt, daß man im Dunkelzimmer auf dem Projektionsschirme ein Blatt lichtempfindlichen Papiers befestigt und darauf die Erscheinung auffängt. Auch die Ergebnisse der übrigen Versuche könnten auf diesem Wege photographisch festgehalten werden; nur müßte — der verhältnismäßig langen Belichtungszeit wegen — peinlichst Sorge getragen werden, daß kein diffuses Nebenlicht auf die photographische Schicht auffällt. Es würde sich also die Anbringung eines bis zum Schirme reichenden Vorbaues aus Pappe empfehlen.

# Das Bild des im Wasser befindlichen Stabes.

Von

Prof. Dr. Emil Schulze in Berlin-Friedenau.

(Schluß von S. 17.)

## II. Das Bild des schrägen Stabes.

### 1. Beim Sehen mit einem Auge.

Der Stab  $AB$  (Fig. 6) bilde mit der Wasserfläche den Winkel  $SAB = \alpha$ . Nach den vorhergegangenen Untersuchungen erscheinen sämtliche Punkte des Stabes nur gehoben, aber nicht nach dem Beobachter zu verschoben, so daß das gekrümmte Stabbild  $AC$  in der durch  $AB$  gelegten Vertikalebene  $ABS$  sich befindet. Die Gleichung der Bildkurve soll aufgestellt werden. Als  $x =$  Achse wählen wir die Horizontale  $AS$ , in der die Vertikalebene, die  $xy$ -Ebene, die Wasserfläche schneidet. Der Scheitelpunkt  $A$  sei Koordinatenanfangspunkt. Das Auge  $O$  habe von der Wasserfläche den Abstand  $OF = b$  und von der Vertikalebene den Abstand  $EF = a$ . Der Abstand der Punkte  $A$  und  $E$  sei gleich  $c$ . Die Koordinaten vom Bildpunkt  $Q$  des Stabpunktes  $P$  sind  $AS = x$ ,  $QS = y$ . Führen wir noch  $PS = Y$ ,  $FS = a$  ein, so lautet Gleichung 1) in unserm Fall

$$13) \quad Y = y \cdot \sqrt{n^2 + (n^2 - 1) \cdot \frac{a^2}{(b + y)^2}}.$$

Hier ist

$$Y = x \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad \text{und} \quad a^2 = FE^2 + SE^2 = a^2 + (x - c)^2,$$

und daher lautet die gesuchte Gleichung des Stabbildes  $AQC$

$$14) \quad x \cdot \operatorname{tg} \alpha = y \cdot \sqrt{n^2 + (n^2 - 1) \cdot \frac{a^2 + (x - c)^2}{(b + y)^2}}.$$

Diese Gleichung ist nicht die einer Geraden. Wenn in vielen Lehrbüchern das Bild eines schrägen Stabes als gerade Linie gezeichnet ist, so ist das hiernach nicht richtig. Nur wenn  $a$  und  $b$  im Vergleich zu  $x$  und  $y$  sehr groß sind, stellt Gleichung 14) annähernd die Gleichung einer Geraden dar. Das ist z. B. der Fall, wenn wir einen am Grunde eines klaren Baches liegenden, geradlinig begrenzten Gegenstand aus weiterer Entfernung betrachten; auch sein Bild erscheint uns geradlinig begrenzt.

Wir lösen Gleichung 14) nach  $x$  auf. Besonders einfach gestaltet sich die Rechnung, wenn wir  $c = 0$  setzen, also dem Auge eine solche Stellung geben, daß  $E$  mit  $A$  zusammenfällt und daher  $AF = a$  ist. Auf diese Augenstellung wollen wir die Untersuchung beschränken. Dafür erhalten wir aus Gleichung 14 die Gleichung

$$15) \quad x = y \cdot \sqrt{\frac{n^2 \cdot (b + y)^2 + (n^2 - 1) \cdot a^2}{\operatorname{tg}^2 \alpha \cdot (b + y)^2 - (n^2 - 1) \cdot y^2}}.$$

Mittels dieser Gleichung sind für das Beispiel  $a = 60$  cm,  $b = 12$  cm,  $\alpha = 60^\circ$  die zu  $y = 1, 2, 3, 4 \dots$  cm gehörigen Werte von  $x$  berechnet und danach ist die Kurve  $AC$  der Fig. 7 gezeichnet worden, die das Bild eines 50 cm langen Stabes zur Darstellung bringt.

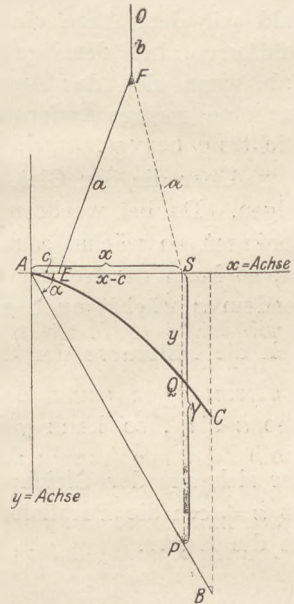


Fig. 6.

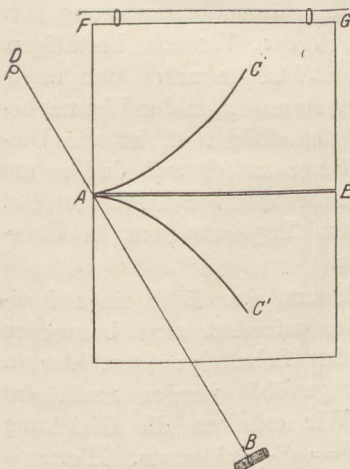


Fig. 7.

Die genaue Übereinstimmung von Rechnung und Beobachtung zeigt folgender Versuch: Eine weiße Papptafel  $AEFG$  (Fig. 7), auf der das durch Rechnung gefundene Stabbild  $AC$  mit schwarzer Tinte aufgezeichnet ist, ist über der gefüllten Badewanne so aufgehängt, daß ihre untere Kante  $AE$  die Wasserfläche berührt. Ein Stück Blei, an das ein roter Faden gebunden ist, ist auf den Boden der Wanne hinabgelassen. Der Faden  $AB$  wird in der Ebene der Papptafel schräg durch die Wassermasse straff gezogen und außerhalb des Wassers in  $D$  so befestigt, daß er mit der Wasserfläche einen Winkel von  $60^\circ$  bildet, dessen Scheitelpunkt in  $A$  sich befindet. Bringen wir jetzt das Auge in solche Stellung, daß es von der Papptafel den Abstand  $a = 60$  cm, von der Wasserfläche den Abstand  $b = 12$  cm hat und das Lot vom Auge auf die Horizontale  $AE$  durch  $A$  geht, so erscheint der rote Faden  $AB$  als rotes Bild  $AC'$ , das mit dem schwarzen Spiegelbild der Kurve  $AC$  genau zur Deckung kommt. Sobald wir dem Auge eine andere Stellung geben, ändert sich die Gestalt der roten Bildkurve, bei dem gewählten Beispiel namentlich stark, wenn  $b$  abgeändert wird, d. h. wenn sich das Auge der Wasserfläche nähert oder von ihr entfernt, während nur eine geringe Änderung der Bildkurve eintritt, wenn das Auge sich in horizontaler Richtung bewegt.

Über die der Gleichung 15) entsprechende Bildkurve mögen einige Bemerkungen folgen. Da bei wachsendem  $y$  der Zähler des Bruches stetig zu-, der Nenner stetig abnimmt, so wächst  $x$  mit  $y$  stetig. Ist  $\operatorname{tg}^2 \alpha > n^2 - 1$ , also  $\alpha > \alpha_0$ , wo  $\alpha_0 = 41^\circ 22'$  ist, so kann der Nenner für keinen Wert von  $y$  negativ werden; mit unendlich wachsendem  $x$  wächst auch  $y$  ins Unendliche. Für sehr große Werte von  $x$  und  $y$  nähert sich die Bildkurve der Geraden  $x = \frac{n}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha - (n^2 - 1)}} \cdot y$ . Ist dagegen  $\operatorname{tg}^2 \alpha < n^2 - 1$ ,

also  $\alpha < \alpha_0$ , so kann  $y$  keinen größeren Wert annehmen als  $y_0 = \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot b}{\sqrt{n^2 - 1} - \operatorname{tg} \alpha}$ , der sich aus der Gleichung  $\operatorname{tg}^2 \alpha (b + y)^2 - (n^2 - 1)y^2 = 0$  ergibt. Für diesen Wert ist  $x = \infty$ ; die Parallele, im Abstand  $y_0$  zur  $x$ -Achse gezogen, ist daher Asymptote an die Kurve.

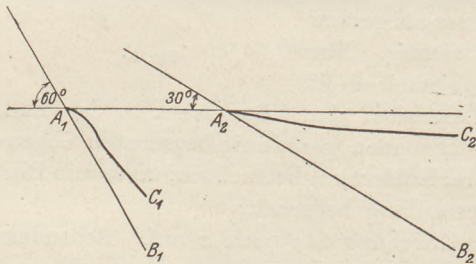


Fig. 8.

In Fig. 8 sind zur Erläuterung der beiden Fälle  $\alpha \geq \alpha_0$  zwei Stäbe  $A_1B_1$  und  $A_2B_2$  mit ihren Bildern  $A_1C_1$  und  $A_2C_2$  für  $a = 20$  cm,  $b = 4$  cm gezeichnet worden; der eine Stab bildet mit der Wasserfläche den Winkel  $\alpha_1 = 60^\circ$ , der andere den Winkel  $\alpha_2 = 30^\circ$ . Das Ergebnis der Rechnung läßt sich leicht durch den Versuch bestätigen, wenn wir die Stabbilder unter den angegebenen Voraussetzungen in der Wanne beobachten. An dem Bild  $A_1C_1$  ist die Um-

biegung deutlich wahrzunehmen. An dem Bild  $A_2C_2$  fällt namentlich auf, daß es am Ende annähernd parallel der Wasserfläche verläuft und zwar in einer Tiefe von fast 7 cm, wie mittels eines sich spiegelnden in cm geteilten Papierstreifens in Übereinstimmung mit der Rechnung festgestellt werden kann.

Der Fall  $\alpha = 0$ , d. h. der Fall, in dem es sich um das Bild eines horizontalen  $d$  cm unter Wasser befindlichen Stabes handelt, erfordert eine besondere Behandlung, weil als Koordinatenanfangspunkt statt des Scheitelpunktes, der in diesem Fall im Unendlichen liegt, ein anderer Punkt gewählt werden muß, am passendsten der Fußpunkt  $E$  des Lotes  $EF$  (Fig. 6). Wir erhalten die Gleichung der Bildkurve, wenn wir in Gleichung 13),  $Y = d$  und  $a^2 = a^2 + x^2$  setzen. Hiernach ist für  $\alpha = 0$

$$d = y \cdot \sqrt{n^2 + (n^2 - 1) \frac{a^2 + x^2}{(b + y)^2}}$$

oder, nach  $x$  aufgelöst,

$$16) \quad x = \sqrt{\frac{1}{n^2 - 1} \cdot \left(\frac{b + y}{y}\right)^2 \cdot (d^2 - n^2 y^2) - a^2}.$$

In Fig. 9 erscheint der 60 cm lange horizontale Stab  $BC$ , der sich am Boden der Wanne 64 cm tief unter Wasser befindet und von der durch das Auge  $O$  gelegten Vertikalen  $AO$  80 cm Abstand hat, in der Lage  $MN$ , die Mitte des Stabes erscheint um 34 cm, die beiden Enden um 36,5 cm gehoben.

Ist auch noch  $a = 0$ , d. h. befindet sich das Auge  $O$  in der durch den Stab gelegten Vertikalebene, so ist die Bildgleichung

$$17) \quad x = \frac{b + y}{y} \sqrt{\frac{1}{n^2 - 1} (d^2 - n^2 y^2)}.$$

In Fig. 9 erscheinen die horizontalen Stäbe  $AD$  und  $AP$  in den Lagen  $KL$  und  $KQ$ .

Aus Gleichung 17) läßt sich mühelos die Gleichung des Bildes einer ebenen Fläche, z. B. der Bildfläche  $KMLN$  (Fig. 9) des Bodens  $ABDC$  einer  $d$  cm tief mit Wasser gefüllten Badewanne ableiten.  $Q$ , ein Punkt dieser Bildfläche, der Bildpunkt von  $P$ , habe die Koordinaten

$$QS = y, ST = v, FT = u.$$

bezogen auf ein Koordinatensystem, das  $F$  als Anfangspunkt,  $OF$  als  $y =$  Achse und die Wasserfläche als  $uv =$  Ebene hat. Für das Bild  $KQ$  der horizontalen Linie  $AP$  gilt Gleichung 17, und da  $AP = FS = x = \sqrt{u^2 + v^2}$  ist, so erhalten wir als gesuchte Gleichung der Bildfläche einer ebenen Fläche:

$$18) \quad u^2 + v^2 = \frac{1}{n^2 - 1} \cdot \left(\frac{b + y}{y}\right)^2 \cdot (d^2 - n^2 y^2).$$

Die Bildfläche des Bodens der Wanne hat die Form einer flachen, schräg gestellten Mulde, wovon wir uns beim Baden in der Wanne überzeugen können.

## 2. Beim Sehen mit zwei Augen.

Während es bei Betrachtung des aufrechten Stabes eine Augenstellung gibt, bei der jeder Punkt des Stabes von dem einen Auge denselben Abstand hat wie von dem andern, so daß der Stab dem einen Auge genau so erscheint wie dem andern, ist bei Betrachtung des schrägen Stabes, wie überhaupt irgend eines Gegenstandes, eine solche Augenstellung unmöglich. Wenn der beliebige Punkt  $P$  des Gegenstandes dem Auge  $O$  in  $Q$  erscheint, so erscheint er dem Auge  $O'$  in einem andern Punkte  $Q'$ . Von jedem Gegenstand unter Wasser erhalten wir demnach beim Sehen mit beiden Augen zwei Bilder. Allerdings merken wir das für gewöhnlich nicht, weil die Bilder annähernd in eins zusammenfallen. Befindet sich aber der Kopf dicht über der Wasserfläche, wie beim Baden und halten wir ihn schief, so erscheinen deutlich zwei Bilder. Die beiden Bilder kleiner Gegenstände, wie des Fingerrings, erscheinen weit getrennt, die größerer Gegenstände, wie des Seifennäpfchens, decken einander zum Teil.

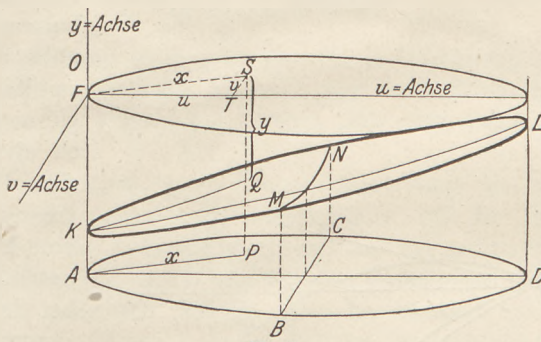


Fig. 9.

Für die beiden Bilder des schrägen Stabes gelten nach Gleichung 14) die beiden Gleichungen:

$$19) x \cdot \operatorname{tg} \alpha = y \cdot \sqrt{n^2 + (n^2 - 1) \frac{a^2 + (x - c)^2}{(b + y)^2}} = y' \cdot \sqrt{n^2 + (n^2 - 1) \frac{a'^2 + (x - c')^2}{(b' + y')^2}}$$

Zur Erläuterung ist für  $\alpha = 60^\circ$  und  $a = a' = 60$ ,  $b = 12$ ,  $b' = 18$ ,  $c = c' = 0$  mittels dieser Gleichungen eine Anzahl zusammengehöriger Werte  $x, y$  und  $x, y'$  berechnet und danach sind in Figur 10 die beiden Bildkurven  $AC$  und  $AC'$  entworfen worden.

Um das Ergebnis der Rechnung durch die Beobachtung zu prüfen, hing ich die Papptafel  $AEFG$  (Figur 7) über Wasser auf, zog den roten Faden  $AB$  in der Ebene der Tafel schräg durch das Wasser, so daß er mit der Wasserfläche den Winkel  $\alpha = 60^\circ$  bildete, und brachte das rechte Auge  $O$  in die Lage  $a = 60$  cm,  $b = 12$  cm,  $c = 0$ . Wie

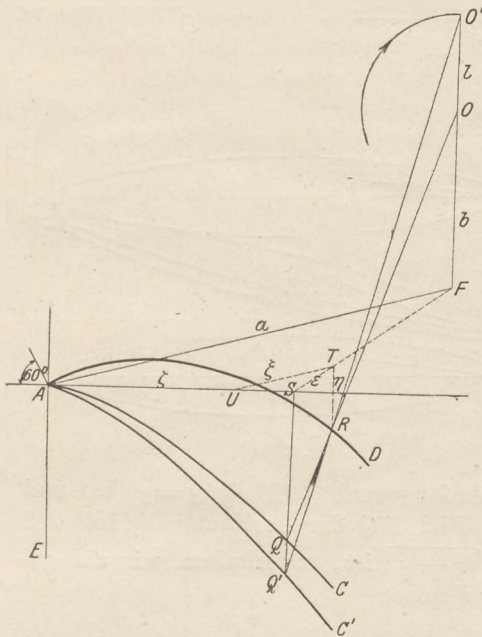


Fig. 10.

schon oben geschildert worden ist, fiel bei geschlossenem linken Auge das rote Fadenbild  $AC'$  mit dem schwarzen Spiegelbild der Kurve  $AC$  zusammen. Öffnete ich bei gerade gehaltenem Kopf das linke Auge, so zeigte sich neben dem ersten roten Fadenbild noch ein zweites, allerdings nur undeutlich, da es fast genau mit dem ersten zusammenfiel. Sobald ich aber die in Figur 10 angedeutete Drehung des linken Auges um das rechte vornahm trennte sich von der festen Fadenkurve  $AC$  eine zweite, die sich der in Figur 10 gezeichneten Kurve  $AC'$  um so mehr näherte, je näher bei der Drehbewegung das linke Auge an den Punkt  $O'$  herankam.

Als das linke Auge bei der Drehung schließlich die Stellung  $O'$  erreicht hatte, bei welcher Stellung die Verbindungslinie  $OO'$  senkrecht zur Wasserfläche gerichtet war, da trat eine zwar erwartete, aber doch wegen ihrer Plötzlichkeit überraschende Erscheinung auf: statt der zwei Bilder  $AQC$  und  $A'Q'C$  in der durch den Stab gelegten Vertikalebene erblickte ich plötzlich das räumliche Gebilde  $ARD$ , das weit aus der Vertikalebene nach mir zu heraustrat. Die Erscheinung hatte ich erwartet, denn im allgemeinen sind zwar die Strahlen  $OQ$  und  $O'Q'$  zwei sich kreuzende Linien, nur bei der Augenstellung der Figur 10 liegen sie in einer Ebene und schneiden sich in  $R$ . Bei dieser Augenstellung liegt die Möglichkeit vor, statt der zwei ebenen Kurven  $AQC$  und  $A'Q'C$  die Raumkurve  $ARD$  als Bild zu erhalten. Die Gleichungen dieser Raumkurve finden wir in ähnlicher Weise wie die Gleichung 12 der ebenen Kurve  $ARC$  in Figur 5. Hat der Punkt  $R$  der Raumkurve die Koordinaten  $\eta = RT$ ,  $\xi = UT$ ,  $\zeta = UA$ , bezogen auf die Koordinatenachsen  $AE, AF, AS$ , so gelten für den Schnittpunkt  $R$  der Geraden  $OQ$  und  $O'Q'$  die den Gleichungen 11 entsprechenden Gleichungen

$$20) \quad y = \frac{a\eta + b\varepsilon}{a - \varepsilon}, \quad y' = \frac{a\eta + b'\varepsilon}{a - \varepsilon},$$

wo  $\varepsilon = ST$ ,  $a = SF$ ,  $b' = b + l$  ist.

Da in  $\triangle AFS$  die Proportion  $AF:SF = UT:ST$  oder  $a:a = \xi:\varepsilon$  gilt, so folgen aus 20 die Gleichungen

$$21) \quad y = \frac{a\eta + b\xi}{a - \xi}, \quad y' = \frac{a\eta + b'\xi}{a - \xi}.$$



Eine andere Proportion in  $\Delta AFS$  lautet  $AF:UT = AS:US$  oder  $a:\xi = x:x-\zeta$ ,  
woraus folgt

$$22) \quad x = \frac{a \cdot \zeta}{a - \xi}.$$

Durch Einsetzen der für  $x, y, y'$  gefundenen Werte in die Gleichungen 19 gelangen wir nach einiger Rechnung zu den Gleichungen der Raumkurve  $ARD$

$$23a) \quad \zeta = \frac{(a - \xi) \cdot (a\eta + b\xi)}{a \cdot \operatorname{tg} \alpha} \cdot \sqrt{\frac{\frac{n^2}{(a - \xi)^2} + \frac{n^2 - 1}{(b + \eta)^2}}{1 - \frac{n^2 - 1}{\operatorname{tg}^2 \alpha} \cdot \left(\frac{a\eta + b\xi}{a \cdot (b + \eta)}\right)^2}}.$$

$$23b) \quad \frac{\left(\frac{n^2}{(a - \xi)^2} + \frac{n^2 - 1}{(b + \eta)^2}\right) \cdot (a\eta + b\xi)^2}{1 - \frac{n^2 - 1}{\operatorname{tg}^2 \alpha} \cdot \left(\frac{a\eta + b\xi}{a \cdot (b + \eta)}\right)^2} = \frac{\left(\frac{n^2}{(a - \xi)^2} + \frac{n^2 - 1}{(b' + \eta)^2}\right) \cdot (a\eta' + b'\xi)^2}{1 - \frac{n^2 - 1}{\operatorname{tg}^2 \alpha} \cdot \left(\frac{a\eta' + b'\xi}{a \cdot (b' + \eta)}\right)^2}.$$

Für  $\alpha = 90^\circ$  ist  $\zeta = 0$  und die Gleichung 23b) geht über in die Gleichung 12) der eben in Figur 5 dargestellten Kurve  $ARC$ , die hiernach nur einen Sonderfall der Raumkurve  $ARD$  der Figur 10 darstellt. Durch den Versuch läßt sich das leicht bestätigen.

Bemerkenswert waren meine Beobachtungen, wenn ich das linke Auge aus der Stellung  $O'$  der Figur 10 wieder um das rechte Auge zurückdrehte, bis die Verbindungslinie der Augen horizontal war. Zu erwarten war, daß bei der geringsten Drehung statt des einen räumlichen Fadenbildes  $ARD$  wieder zwei Fadenbilder  $AQC$  und  $AQ'C'$  in der Ebene der Papptafel auftreten würden. Das beobachtete ich in der Tat auch bisweilen, meist aber war der Eindruck des räumlichen Fadenbildes in meinem Bewußtsein ein so nachhaltiger, daß ich nicht nur in der Stellung  $O'$  des linken Auges, sondern auch während seiner Drehung um das rechte nur ein einziges räumliches Gebilde erblickte, das sich immer weiter von mir entfernte und schließlich in die Ebene der Papptafel zurücktrat. Einige Male beobachtete ich etwas Seltsames: Das räumliche Fadenbild verzweigte sich während der Drehung plötzlich an einer bestimmten Stelle in zwei Zweige, die beide nach mir hin gerichtet waren.

Die Untersuchung des Stabes im Wasser hat gezeigt, daß die Ergebnisse der Rechnung in voller Übereinstimmung stehen mit denen der Beobachtung; nur selten bin ich genötigt gewesen, die Erklärung für eine Erscheinung auf optisch physiologischem Gebiet zu suchen.

Zum Schlusse seien nochmals folgende Punkte hervorgehoben: 1. Beim Sehen mit einem Auge erscheint jeder im Wasser befindliche Gegenstand nur gehoben, aber nicht zugleich auch nach dem Beobachter zu verschoben. Der schräg ins Wasser gesteckte Stab erscheint gekrümmt.

2. Beim Sehen mit beiden Augen wird jeder Gegenstand unter Wasser von dem einen Auge in anderer Lage gesehen als vom andern. Für gewöhnlich decken sich beide Bilder fast vollständig, so daß wir den Gegenstand nur einfach sehen. Aber bei schief gehaltenem Kopf nahe der Wasseroberfläche sind deutlich zwei Bilder wahrzunehmen. Die beiden gekrümmten Bilder des schrägen Stabes befinden sich in der durch den Stab gelegten Vertikalebene. Bemerkenswert ist die Augenstellung, bei der die Verbindungslinie der Augen senkrecht zur Wasseroberfläche gerichtet ist; bei dieser Stellung setzen sich die beiden Stabbilder zu einem einzigen räumlichen Gebilde zusammen, das aus der Vertikalebene nach dem Beobachter zu heraustritt.

## Der Elektrophor als Druckpumpe.

Von

Geh. Schulrat **Münch** in Darmstadt.

Analogien zwischen verschiedenen Gebieten der Physik sind schon häufig mit Vorteil aufgestellt und verwendet worden, da sie zur Erhöhung des Verständnisses beitragen, das Memorieren des Stoffes erleichtern, der Ökonomie im wissenschaftlichen System förderlich sind und zum Auffinden neuer Tatsachen und zum Bauen neuer Apparate anregen. Gegen ihre Verwendung auch im Schulunterricht ist nichts zu erinnern, falls Sorge getragen wird, auch die bestehenden Unterschiede scharf hervorzuheben und von den Analogien nicht Aufschlüsse zu verlangen, die sie nicht zu geben vermögen.

Als ein Muster geistvoller Durchführung der Analogie zwischen der Dampfmaschine und der Pendeluhr möchten wir die Darlegungen in dem Vortrage von F. REULEAUX: „Kultur und Technik“ (Wien 1884, Verlag des Niederösterreichischen Gewerbevereins) bezeichnen. Sie sind in hohem Maße geeignet, die Vorteile solcher Betrachtungsweise darzutun.

Schon früh sind die Erscheinungen auf dem Gebiete der Elektrizität mit entsprechenden Vorgängen bei Flüssigkeiten verglichen worden, weil diese leichter verständlich sind. Das beweisen manche der noch jetzt in der Elektrizitätslehre gebräuchlichen Ausdrücke wie Strom, Gefälle, fließen usw.<sup>1)</sup> Um so erstaunlicher ist es, daß man die zwischen dem Elektrophor und der Druckpumpe bestehende Analogie im Schulunterricht noch nicht verwertet hat, obwohl zuweilen erwähnt wird, daß der Elektrophor zum Herstellen von elektrischen Spannungsunterschieden benutzt wird, wie die Pumpe dazu dient, Höhenunterschiede zwischen Wassermengen herbeizuführen. Im folgenden soll ein Vorschlag gemacht werden, wie bei den genannten Apparaten eine Betrachtung der einander entsprechenden Vorgänge durchgeführt werden kann.

Zunächst kommt es darauf an, die Teile, aus denen beide Apparate bestehen und die Art ihrer Tätigkeit genau festzustellen.

Bei der Druckpumpe unterscheidet man Stiefel, Kolben, Saugrohr, Druckrohr, Saug- und Druckventil, bei Elektrophor Kuchen, Deckel und die mit dem Deckel in Berührung gebrachten beiden guten Leiter: z. B. den Finger beim Auflegen des Deckels auf den Kuchen und den Knopf der Leydener Flasche nach dem Abheben des Deckels vom Kuchen.

Bei der Druckpumpe müssen Stiefel und Kolben sich gegeneinander bewegen. Man sollte die Gelegenheit nicht vorübergehen lassen, darauf aufmerksam zu machen, daß nur die relative Bewegung beider Teile wichtig ist, daß es also theoretisch gleichgültig ist, ob sich dabei der Kolben oder der Stiefel oder beide in entgegengesetzter Richtung bewegen.

Beim Elektrophor bewegt sich gewöhnlich nur der Deckel und zwar auf den Kuchen hin oder von ihm weg. Die gleiche Wirkung kann bei festliegendem Deckel durch Bewegung des Kuchens erzielt werden. Auch kann man den Deckel nach dem Auflegen auf den Kuchen entweder mit dem Finger oder mit dem Knopf der Leydener Flasche berühren, falls er nach dem Abheben mit dem Flaschenknopf oder dem Finger berührt wird. Ferner ist auch die wechselweise Berührung mit dem Knopf und dem äußeren Beleg der Flasche angängig. Wir werden dieses letzte Verfahren der folgenden Betrachtung zugrunde legen.

Halten wir bei der Pumpe den Fall fest, daß der Kolben sich im Stiefel bewegt, so muß zur Durchführung der Analogie beim Elektrophor der Deckel in Ruhe sein

<sup>1)</sup> Die Ausdrücke schließen und öffnen werden bei Wasserströmen im umgekehrten Sinne gebraucht als bei elektrischen Strömen.

und der Kuchen sich auf den Deckel zu und von ihm weg bewegen. Es entspricht also dem Stiefel der Deckel und dem Kolben der Kuchen.

Wird der Kolben in den Stiefel hineingedrückt, so öffnet sich das Druckventil und das Wasser wird aus dem Stiefel in das Druckrohr emporgedrückt. Analog wird beim Annähern des Kuchens an den Deckel aus diesem die der Kuchen-Elektrizität gleichnamige herausgepreßt. Sie strömt über den Knopf in den Innenbeleg der Leydener Flasche. Das Herstellen der Leitung zwischen dem Knopf der Leydener Flasche und dem Deckel entspricht also dem Öffnen des Druckventils.

Beim Herausziehen des Kolbens aus dem Stiefel schließt sich das Druckventil, dagegen öffnet sich das Saugventil und das Wasser dringt in den Stiefel ein. Entsprechend wird vor dem Entfernen des Kuchens vom Deckel die leitende Verbindung mit dem Knopf der Flasche weggenommen und durch eine Verbindung des Deckels mit dem Außenbeleg der Flasche ersetzt. Durch sie strömt die der Kuchen-Elektrizität gleichnamige vom Außenbeleg herbei. Das Lösen der ersten und das Herstellen der zweiten Verbindung entspricht also dem Schließen des Druck- und dem Öffnen des Saugventils.

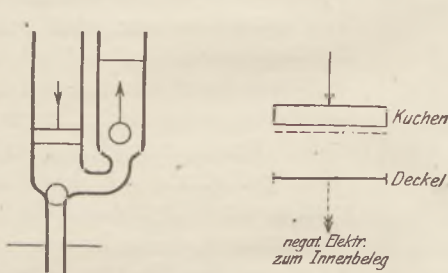


Fig. 1.

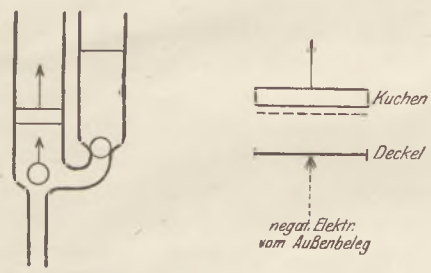


Fig. 2.

Die nebeneinandergestellten Zeichnungen (Fig. 1 u. 2) stellen die gleichen Tätigkeitsphasen bei beiden Apparaten dar. Sie sind ohne Erläuterung zu verstehen, wenn bemerkt wird, daß in ihnen beim Elektrophor der Kuchen über den Deckel gesetzt ist, damit die Bewegungsrichtung von Kolben und Kuchen übereinstimmen. Das Strömen der negativen Elektrizität wird durch doppelgefiederte Pfeile angedeutet.

Auch eine Tabelle der einander entsprechenden Teile beider Apparate und ihrer Wirkungsweise wird das Verständnis erleichtern. Sie lautet in unserem Fall:

Stiefel . . . . .	Deckel.
Kolben . . . . .	Kuchen.
Öffnen des Druckventils . .	Verbinden des Kuchens mit dem Innenbeleg.
„ „ Saugventils . .	„ „ „ „ „ Außenbeleg.

Daß dem Höhenunterschied der Wassermenge im Druckrohr gegen Erde der Potentialunterschied der Elektrizität des Innenbelegs gegen Erde entspricht, falls Außenbeleg der Flasche geerdet ist, ergibt sich leicht. Den Schülern drängen sich aber, wie wir in der Praxis erfahren haben, unter anderen auch noch folgende Fragen auf, deren Behandlung anregend wirken kann:

1. Was entspricht dem Saug- und dem Druckrohr bei dem Elektrophor? Was der Leydener Flasche? Was ihrer Entladung? Was den Isolationen?
2. Welche Unterschiede bestehen bezüglich der Hebe- und Ausflußgeschwindigkeiten, der Bewegungswiderstände?
3. Wie macht sich der Umstand geltend, daß die Schwerkraft nur senkrecht zur Erdoberfläche, die elektrischen Kräfte aber nach jeder Richtung hin wirken?
4. Wie entsprechen einander die Arbeitsleistungen bei beiden Apparaten im einzelnen?

5. Die elektrischen Vorgänge können auf zwei Arten erläutert werden, je nachdem man von der negativen oder von der positiven Elektrizität spricht. Wie steht es in dieser Beziehung mit der Pumpe?
6. Aus der Wasserpumpe läßt sich durch Umformen die Luftpumpe herstellen, die einen luftleeren Raum herstellt. Kann man den Elektrophor so umgestalten, daß elektrizitätsleere Räume zu schaffen sind?
7. Aus der Druckpumpe ist die Saugpumpe entstanden durch Verlegen des Druckventils in den Kolben und durch Benutzung des über dem Kolben liegenden Stiefelteils als Druckrohr. Läßt sich beim Elektrophor nicht etwas Entsprechendes durchführen?
8. Aus dem Elektrophor hat man durch Umgestaltung die Influenzmaschine hergestellt. Was entspricht dem bei der Druckpumpe?

Im Anschluß an das Gesagte bringen wir die Abbildung (Fig. 3) eines Elektro-

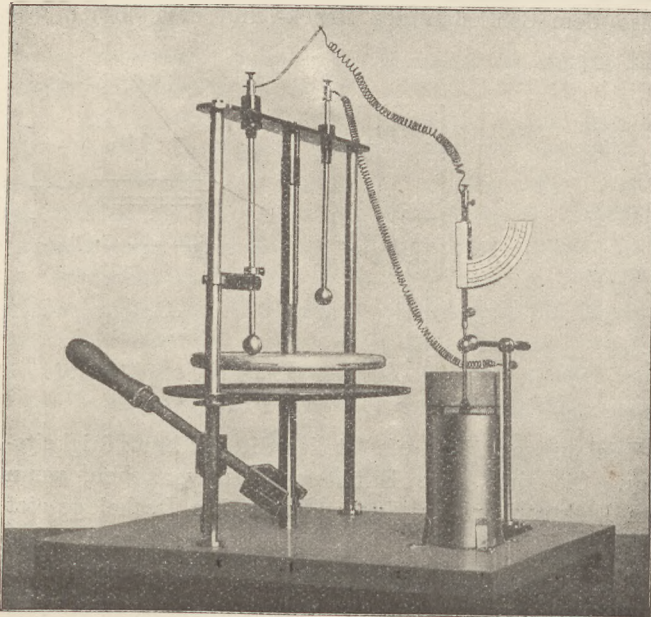


Fig. 3.

phors, der analog einer Druckpumpe gebaut ist. Eine eingehende Beschreibung des Apparates ist wohl nicht erforderlich. Wir bemerken nur, daß sein Kuchen unterhalb des Deckels liegt und durch einen Hebel in Bewegung gesetzt wird, ferner daß die Ventile zwangläufig sind. Die geförderte Elektrizität wird in einer Leydener Flasche angesammelt, deren Belege mit je einem der Ventile leitend verbunden sind.

Der Ladevorgang vollzieht sich wie folgt: Durch Herunterdrücken des Hebelarmgriffs hebt sich der negativ geladene Kuchen und nimmt dabei das linke Ventil mit Hilfe eines zugleich emporgelassenen Armes vom Deckel weg in die Höhe. Er be-

rührt dann den Deckel und schiebt ihn vor sich her bis zur Berührung mit dem Ventil rechts, durch das die negative Elektrizität des Deckels zum Außenbeleg der Leydener Flasche geht.

Beim Aufwärtsgehen des Hebelarmgriffs fallen Deckel und Kuchen gemeinsam abwärts, wobei jener sich vom Ventil rechts löst. Der Deckel kommt vor dem Kuchen zur Ruhe, und das mit dem Kuchen weiter hinunter gehende Ventil links führt dem Deckel wieder negative Elektrizität vom Innenbeleg der Flasche zu.

Mit dem Apparat können auch messende Versuche verschiedener Art angestellt werden, besonders solche, denen das wiederholte Verwenden der gleichen Elektrizitätsmenge zugrunde liegt, denn es darf hier, ohne daß der Fehler zu groß ausfällt, vorausgesetzt werden, daß bei allen „Kolbenstößen“<sup>1)</sup> etwa die gleiche Elektrizitätsmenge geliefert wird.

Zunächst ergibt sich, daß bei konstantem Entladeabstand und bei gleich-

<sup>1)</sup> Unter einem Kolbenstoß verstehen wir das Niederdrücken und Wiederloslassen des pumpenden Hebels.

bleibenden Verhältnissen, die erst nach dem Bilden des Residuums eintreten, stets nach  $n$  Kolbenstößen die Flasche sich entleert, und weiter, daß bei größerem Abstand der Entladekugeln mehr Kolbenstöße erforderlich sind als bei kleinerem. Diese Tatsachen lassen sich in fesselnder Weise weiter ausbauen und führen zur Bestimmung der Abhängigkeit der Schlagweite und der Spannung in Volt bei Kugeln von gleichem Durchmesser, falls die Schlagweite für eine Spannung bekannt ist.

Durch Verbinden einfacher Elektroskope mit dem Belege der sammelnden Leydener Flasche ist man imstande, die Erhöhung der Spannung nach jedem Kolbenstoß festzustellen, ebenso das Überspringen der Funken bei der gleichen Spannung. Die Elektroskope können in primitiver Weise graduiert werden.

Auch die Kapazitäten zweier Kondensatoren sind durch die Zahl der Kolbenstöße bis zur Entladung bei konstanter Funkenlänge miteinander zu vergleichen, ebenso die Kapazitäten mehrerer zuerst parallel und dann hintereinander geschalteter Flaschen. Es kann gezeigt werden, daß die Reihenfolge der Flaschen, falls diese verschieden große Belege haben, bei der Serienschaltung ohne Einfluß auf die Kapazität der Batterie ist; daß bei drei verschiedenen Flaschen, von denen zwei parallel und mit der dritten in Serie geschaltet werden, die verschiedenen möglichen Kombinationen verschiedene Kapazitäten der Flaschengruppe ergeben und dergleichen mehr.

Weiter ist es möglich, an einem Kondensator mit gleichdicken Platten aus verschiedenen Isolatoren die Dielektrizitätskonstante annähernd zu bestimmen.

Wenn die bei diesen Versuchen gefundenen Zahlen auch keinen Anspruch auf große Genauigkeit machen können, so zeigen sie doch dem Schüler auf sehr anschauliche Weise, daß und auf welchem Wege Messungen von Elektrizitätsmengen, Spannungen und Kapazitäten möglich sind.

Zur Erläuterung schließen wir noch die Ergebnisse einiger Versuche an, die mit dem primitiv ausgeführten Apparate angestellt worden sind.

### 1. Vergleich der Kapazität von Leydener Flaschen und Batterien.

Bei einer gleichbleibenden Funkenstrecke von 1 mm waren im Mittel zum Entladen erforderlich bei:

		berechnet	
Flasche I: 10,5 Stöße.	Flasche I u. II parallel gesch.:	24,7 Stöße,	24,4
"  II: 13,9 "	"  I u. II in Serie "	6,1 "	6,0
"  III: 9,2 "	"  I u. III parallel "	19,2 "	19,7
"  IV: 7,5 "	"  I u. III in Serie "	5,5 "	4,9
"  V: 4,8 "	"  IV u. V parallel "	11,8 "	12,3
	"  IV u. V in Serie "	3,16 "	2,93

Zu bemerken ist, daß, wie schon gesagt, anfangs ein Teil der Ladung als Rückstand festgehalten wird. Erst nach einigen Entladungen werden die erhaltenen Zahlen brauchbar.

### 2. Bestimmung von Dielektrizitätskonstanten.

Bei gleichem Abstand der Kondensatorplatten und gleicher Funkenstrecke erfolgte die Entladung bei dem Dielektrikum

Luft . . . . .	nach 2,00 Stößen	daraus berechnet sich die Dielektrizitätskonstante zu
Paraffinöl . . "	5,33 "	2,67
Petroleum . . "	4,46 "	2,23

Ebenso ergeben sich die Dielektrizitätskonstanten für  
 verschiedene Glassorten zu . . . . . 5,19 und 5,43  
 " Hartgummisorten zu . . . . . 2,50 " 2,55  
 eine gefirnißte Glasplatte zu . . . . . 2,40.

## Kleine Mitteilungen.

### Über Vorträge mit Nebelbilderapparat und Kinematograph.

Von **O. Lehmann** in Karlsruhe (Technische Hochschule).

Die Selbsttätigkeit des Zuhörers, welche für den Erfolg des Unterrichts Hauptsache ist, wird am besten angeregt, wenn der Vortragende während des Vortrags einfache aber gute Skizzen der besprochenen Gegenstände eventuell unter Benutzung verschiedenfarbiger Kreiden auf der Tafel entwirft. Das kostet freilich sehr viel Zeit und Arbeitskraft, der Gewinn wird also unter Umständen gänzlich hinfällig, da Zeit und Kraft nur in beschränktem Maße zur Verfügung stehen. So behilft man sich denn meist mit Tafeln und Lichtbildern, wobei letztere natürlich, da sie im dunklen Zimmer vorgeführt werden, nur dann in Betracht kommen, wenn Nachzeichnen seitens des Zuhörers nicht nötig ist. Da jedes Lichtbild, um Zeit für Betrachtung und Erläuterung zu haben, im allgemeinen nicht alsbald nach dem Erscheinen wieder verschwinden darf, ist der Zeitaufwand für den Wechsel der Bilder und die dadurch bedingte Unruhe in der Helligkeit des Gesichtsfeldes nicht besonders störend. Nicht immer ist es aber notwendig, bei jedem Bilde längere Zeit zu verweilen und die knappe Vortragszeit kann nötigen, die Bilder in raschem Wechsel vorzuführen und ohne Verständigung mit dem den Projektionsapparat bedienenden Gehilfen durch Klopfen oder andere Zeichen, die immer stören und doch nicht das Erscheinen des Bildes im richtigen Momente verbürgen. Für solche Fälle habe ich mir eine Art Nebelbilderapparat konstruiert, der sich praktisch gut bewährt hat, da er den Vortragenden ganz unabhängig von der Aufmerksamkeit des Gehilfen macht. Die Konstruktion wurde möglich durch Verwendung der 4000kerzigen Osram-Glühlampen, welche neuerdings speziell für Projektionszwecke hergestellt werden. Die beiden Projektionsapparate sind in einer Aussparung in der Mitte der vorderen Bänke aufgestellt und zwar schräg nach oben gerichtet, so daß das Bild auf dem über dem Kopf des Vortragenden nach Art eines Spiegels schräg befestigten Schirm erscheint und von allen Plätzen gut gesehen werden kann. Infolge dieser Schrägstellung wird zugleich der Bildschieber überflüssig. Es ist vor der Kondenslinse nur ein hölzerner Rahmen mit Falz angebracht, in welchem letzteren das Bild von vornher eingelegt wird, was angeht, weil genügend freier Raum zwischen Rahmen und Objektiv vorhanden ist. Der sonst übliche verbindende Trichter wird nämlich weggelassen. Wegen der Schrägstellung des Rahmens drückt sich das Bild durch sein Gewicht gegen denselben und braucht nicht weiter befestigt zu werden, so daß es ebenso leicht wieder herausgenommen werden kann. Die Manipulationen beim Einlegen und Herausnehmen sind für den Zuschauer in keiner Weise störend, da sie vorgenommen werden, während die Projektionsglühlampe nicht leuchtet. Das abwechselnde Einschalten der einen und anderen Laterne wird nicht durch den Gehilfen bewirkt, sondern vom Vortragenden selbst, an dessen Pult zu diesem Zweck eine Wippe (Umschalter) angebracht ist, welche ermöglicht, durch Drehen eines Hebels den Strom abwechselnd der einen und andern Laterne zuzuführen. Während die eine Laterne in Tätigkeit ist, ersetzt der Gehilfe sofort das Bild in der andern Laterne durch das nächste. Wird vom Vortragenden der Hebel des Umschalters umgelegt in dem ihm passenden Moment, so ist dann sofort auf dem Schirm das neue Bild zu sehen ohne jede Störung durch das übliche Hin- und Herschieben, welche das Auge ermüdet. Ebenso verwandelt sich dieses Bild ohne jede Störung im richtigen Momente in das folgende, dessen Diapositiv inzwischen in der andern Laterne aufgelegt war usw. Auch für den Vortragenden ist das Wegfallen aller Störungen und das Erscheinen des Bildes im richtigen Augenblick sehr angenehm, er kann seine Gedanken in aller Ruhe seinem Vortrag widmen. Bei großer Zahl der Bilder ist ein Gehilfe allerdings unzureichend. Jeder Apparat muß von einem besonderen Gehilfen bedient werden und man ordnet

zweckmäßig die Bilder in richtigem Wechsel in zwei Kästen an, so daß jeder Gehilfe seinen eigenen Bilderkasten und Leerkasten besitzt. Noch besser sind zwei Gehilfen an jedem Apparat, von welchen der eine nur das Einlegen der Bilder in den Rahmen und das Herausnehmen besorgt, während der andere die Bilder aus dem Kasten herausnimmt und in den Leerkasten einlegt, nachdem er sie abgenommen hat. Indem man so ohne jede Beunruhigung Serien von Bildern, bei welchen nicht viel zu erklären ist, die nur Beispiele eines erklärten Objekts in verschiedenen Formen darstellen, in rascher Folge vorüberziehen läßt, gewinnt man Zeit, bei denjenigen Bildern, die von besonderer Wichtigkeit sind, länger zu verweilen und sie eingehend zu erläutern, ohne dadurch die gesamte Vortragszeit zu sehr zu vergrößern.

Bei meinen Vorträgen über flüssige Kristalle<sup>1)</sup> habe ich für zweckmäßig gefunden, zwischen diese gewöhnlichen Projektionen kinematographische Vorführungen einzuschalten, welche ebenso im richtigen Momente ohne weitere Störungen auf dem Schirm erscheinen. Der Kinematograph (ich benutze einen Mentor-Apparat der Firma Liesegang in Düsseldorf) wird vor den beiden eben besprochenen Projektionsapparaten auf solidem Gestell angebracht, auf welchem auch der Elektromotor befestigt ist, durch welchen er betrieben wird. Der Anlasser dieses Motors befindet sich am Pult des Vortragenden. Soll nun an irgendeiner Stelle der Bilderserie eine kinematographische Vorführung eingeschaltet werden, so wird dort in den Bilderkasten statt eines Bildes ein gleich großer Pappdeckel eingesetzt, welcher von dem Gehilfen in gleicher Weise wie ein Diapositiv in den Rahmen eingelegt werden kann. Sobald dies geschieht, wird der Gehilfe sowohl wie der Vortragende, da das Bild auf dem Schirm ausbleibt, daran erinnert, daß nun der Kinematograph in Tätigkeit treten soll. Der eine Gehilfe setzt sofort die Lampe des Kinematographen in Tätigkeit, der andere centriert das Bild und der Vortragende schaltet den Anlasser ein. Nach Abrollen der gewünschten Abteilung des Films wird der Elektromotor vom Vortragenden wieder abgestellt und der Hebel des Umschalters umgelegt, worauf sofort das nächste Lichtbild erscheint, da der Gehilfe inzwischen selbstverständlich die Kinematographenlampe ohne besondere Weisung gelöscht hat.

### Vereinfachung einiger bekannter chemischer Versuche.

Von Prof. S. Genelin in Krems a/D., N.-Österr.

1. Reduktion der Salpetersäure zu salpetriger Säure. Anstatt die übliche Reduktion der hochverdünnten Salpetersäure mit dem aus Essigsäure und Zink entwickelten Wasserstoff in statu nascendi zu bewirken, kann man, wie ich gefunden habe, die Essigsäure ganz ausschalten, wenn man das Zink in Form von Zinkwolle anwendet: Man füllt zwei gleich große Standzylinder mit so viel destilliertem Wasser, daß sie bis nahe zum Rande damit gefüllt sind, z. B. mit je 500 ccm Wasser; hierauf gibt man so viel konzentrierte Salpetersäure vom spez. Gewicht 1,4 in jeden Zylinder, daß im Zylinder eine einpromillige Lösung entsteht. In unserem Beispiele wären also je 0,5 ccm konzentrierte Salpetersäure zuzugeben. Nachdem man mit einem Glasstabe gut durchgemischt hat, setzt man beiden Zylindern noch eine gleich große Menge Jodkalium-Stärkekleister zu. Es ist wichtig, daß die angegebene Reihenfolge genau eingehalten wird. Die Zugabe der konzentrierten Salpetersäure nach der Beschickung mit Jodkalium könnte eine vorzeitige Jodausscheidung bewirken! Um nun die Reduktion herbeizuführen, hängt man in den einen der beiden Standzylinder einen so großen Bausch Zinkwolle ein, daß er oben im Zylinder stecken bleibt. Nach einigen Sekunden ziehen sich von den Zinkwollfäden prachtvolle blaue Schlieren hinunter auf den Boden des Gefäßes. Der zweite Standzylinder dient als

<sup>1)</sup> Siehe Physikalische Zeitschrift 19, 73—80 u. 88—100, 1918.

blinder Versuch, um zu zeigen, daß die hochverdünnte Salpetersäure allein auch nach längerer Zeit keine Jodausscheidung bewirkt.

2. Oxydation von Ammoniak zu Ammoniumnitrit an der Luft. In einen runden Zweiliterkolben gibt man 10 ccm konzentriertes chemisch reines Ammoniak. Während man mit der Linken den Kolben samt Inhalt ca.  $\frac{1}{2}$ —1 Minute lang ununterbrochen schüttelt, hält man mit der Rechten während dieser Zeit ein mit einer möglichst flachen Tiegelflange zu fassendes Platinblech in die Gebläseflamme. Hierauf gibt man dem Kolben eine horizontale Lage und fährt mit dem glühenden Platinbleche rasch hinein. Das Platinblech glüht im Kolben weiter und es bilden sich zuerst am oberen Teile des Kolbens im durchfallenden Lichte oft deutlich sichtbare schwach rotbraun gefärbte Dämpfe von Stickstoffperoxyd. Gleich darauf aber treten dicke weithin sichtbare Nebel von festem Ammoniumnitrit auf.

Bei Einhaltung der hier angegebenen Arbeitsweise gelingt der Versuch immer. Hingegen konnte ich bemerken, daß der Versuch, wenn man den Kolben nur mit Ammoniak ausspült und den Rest ausschleudert, oft mißlingt. Auch beim Schütteln eines verkorkten Kolbens mit Ammoniak bekam ich nicht immer zuverlässige Resultate. Nach einer langen Reihe von Versuchen fand ich, daß nur dann sich stets eine verlässliche Mischung von Ammoniak und Luft bildet, wenn man den offenen Kolben mit mindestens 5 ccm, besser aber mit 10 ccm konzentriertem Ammoniak bis zum Einführen des Platinbleches schüttelt.

Zum einwandfreien Nachweise des gebildeten Nitrits bedeckt man den nebelgefüllten Kolben mit einem Uhrglase und läßt die weißen Wolken absitzen; dann füllt man ihn mit so viel Wasser, daß er beinahe voll wird. (Wenn man gleich Wasser zusetzen würde, so würde man zuviel Nitritnebel dadurch aus dem Kolben herausdrücken.) Hierzu kann auch gutes nitritfreies Brunnenwasser verwendet werden. Das gleiche geschieht mit einem zweiten ebenfalls mit 10 ccm Ammoniak beschickten Kolben, der als blinder Gegenversuch dient. Zur Neutralisation des noch überschüssigen Ammoniaks gibt man jetzt in beide Kolben ca. 5 ccm konzentrierte Schwefelsäure. Es braucht wohl nicht erwähnt zu werden, warum diese Zugabe erst nach dem Verdünnen des Ammoniaks erfolgen darf. Zuletzt gibt man in beide Kolben eine gleiche Menge von Jodkalium-Stärkekleister. (Auch hier ist die Reihenfolge wieder genau einzuhalten.) Weil die überschüssige Schwefelsäure im ersten Kolben auch die salpetrige Säure freigemacht hat, erfolgt in demselben Jodausscheidung und Blaufärbung. Der andere Kolben bleibt farblos.

3. Oxydation von Schwefeldioxyd zu Trioxyd an der Luft. Es gibt bereits zwei Verfahren, welche gestatten, diesen Vorgang ohne Anwendung größerer Apparate sichtbar zu machen: Nach Ostwald bedient man sich dabei des schief eingeklemmten mit Platinasbest beschickten Glasrohres, unter welches man brennenden Schwefel hält. Nach Brandstätter hält man ein glühendes Platinblech in die vollkommen nebelfreien Schwefeldioxyddämpfe, welche dem entzündeten Schwefelkohlenstoff entsteigen. Ich habe nun gefunden, daß sich eine noch viel deutlichere, weithin sichtbare Bildung von Schwefeltrioxyd hervorrufen läßt, wenn man in einem 2 l-Kolben ca. 10 ccm schwefelige Säure kräftig hin und her schüttelt (die dabei entweichenden Schwefeldioxyddämpfe sind auch hier vollkommen nebelfrei) und in der früher bei der Ammoniumnitritdarstellung ausgeführten Weise ein glühendes Platinblech hineinhält. Es ist das wohl die denkbar bequemste Demonstration, da ja Schwefeldioxyd im Unterrichte stets früher behandelt wird und eine Lösung desselben in Wasser zu dieser Zeit immer vorrätig sein wird.

Wenn man die gebildete Schwefelsäure mit Bariumchlorid einwandfrei nachweisen will, muß man sich die Lösung von Schwefeldioxyd frisch bereiten, da schwefelige Säure bekanntlich allmählich immer etwas Schwefelsäure bildet. Am besten verbrennt man zur Darstellung der Schwefeldioxydlösung etwas Schwefel im Glasrohr unter



den in Scheids Vorbereitungsbuch gegebenen Vorsichtsmaßregeln. Wichtig ist aber dabei, daß man ganz reinen Schwefel verwendet, wie er in der Apotheke unter dem Namen „sulfur depuratum“ erhältlich ist; gewöhnlicher Schwefel enthält häufig etwas Schwefelsäure, welche dann natürlich auch in die Schwefeldioxydlösung übergeht. Zum Einleiten empfiehlt sich eine mit destilliertem Wasser gefüllte Waschflasche. Eine zweite mit Natronlauge gefüllte verhindert den Austritt nicht absorbierten Schwefeldioxyds in den Arbeitsraum. Bevor man das Bariumchlorid zu dem mit Schwefeltrioxyd gefüllten Kolben zugibt, soll man den weißen Nebeln Zeit lassen sich abzusetzen, wobei mit dem vorhandenen Wasserdampf Schwefelsäuretröpfchen gebildet werden. Da sich nämlich dampfförmiges Schwefeltrioxyd in Wasser schlecht löst, würde man bei sofortiger Zugabe von Wasser die Dämpfe nur herausdrängen und Verluste erleiden. Läßt man aber den Kolben bis zur Klärung mit einem Uhrglase bedeckt stehen, erhält man mit Bariumchlorid einen sehr deutlichen Niederschlag, besonders, wenn man bei der Oxydation das glühende Platinblech mehrmals in den Kolben eingeführt hat. In einem zweiten Kolben, in dem man 10 ccm Schwefeldioxydgaslösung schüttelt, ohne das Platinblech einzufügen, erfolgt bei Zugabe von Bariumchlorid keine Trübung.

Dieser Versuch kann auch bei Schülerübungen im Probierrohr gemacht werden: man schüttelt 2—3 ccm schweflige Säure im Probierrohr, während man den zu einer Spirale gewundenen Platindraht glühend macht. Beim Einführen desselben in das Reagenrohr treten schwache, aber deutlich sichtbare Nebel auf — ein gewiß höchst einfacher und gefahrloser Versuch. Versuch 2 gelingt als Probierrohrversuch nicht.

4. Blei zeigt Silberglanz, wenn es ganz oxydfrei bleibt. Eine gewöhnliche, nicht zu dünne Biegeröhre von mittlerem Lumen wird an einem Ende zugeschmolzen und am anderen Ende trichterförmig mit der konischen Kohle erweitert. Eine Länge von ca. 2 dm ist recht handlich. In die obere Öffnung gießt man geschmolzenes Blei ein; die Hand, welche die Röhre dabei hält, schützt man durch ein Tuch. Man gießt das Blei bis zu ca. 1 dm Höhe ein und schmilzt hierauf die Röhre oberhalb der eingegossenen Bleischicht am Gebläse zu. Da beim Eingießen des Bleies die Oxydschichten nach oben steigen, glänzt das Blei jetzt in der Röhre wie Quecksilber und behält diesen Glanz auch unverändert bei. Die Röhre muß trocken sein; ein Vorwärmen ist gut, aber nicht unbedingt nötig. Will man die Röhre längere Zeit aufbewahren, muß es in einer Schachtel unter Watte geschehen, da sie sonst wegen des sehr verschiedenen Ausdehnungskoeffizienten des Glases und Bleies gewöhnlich nach einiger Zeit Sprünge bekommt.

### Versuch zur Explosionsgeschwindigkeit des Knallquecksilbers.

Von M. Mittag in Cöthen (Anh.).

Bei der unterrichtlichen Behandlung des Wesens und der Hauptarten von Explosivstoffen wird man jedenfalls auf die entscheidende Wichtigkeit der Zerfallsgeschwindigkeit hinzuweisen haben. Denn in dieser, nicht in der Größe des Energieinhalts liegt die Heftigkeit der Wirkung hauptsächlich begründet. Es muß sich daher das Bedürfnis geltend machen, gerade diese Eigenschaft versuchsmäßig vorzuführen. Hierbei ist der Begriff der Explosion im engsten Sinn zu nehmen und auf den scharfen (brisanten) Zerfall von Explosivstoffen innerhalb eines sehr kleinen Sekundenbruchteils zu beschränken. Dieser Zerfall läßt sich mit den meisten und bekanntesten Explosivstoffen nicht auf einfache Weise durch Erhitzen ausführen. Es kommen z. B. Schwarzpulver, Schießbaumwolle, Pikrinsäure, sowie pikrinsaure Salze nicht in Frage, da sie durch Berührung mit einer Heizflamme oder Erhitzen auf einem Blech und dergleichen teils ruhig abbrennen, teils verpuffen. Aber diese Verpuffung geht verhältnismäßig langsam von statten.

Das gilt auch vom Knallquecksilber, wenn es in der angegebenen Weise behandelt wird. Sobald man es jedoch im engen Raum zur Entzündung bringt, tritt der scharfe, äußerst schnell verlaufende Zerfall (die Detonation) ein. Man benutzt ein leeres, schon gebrauchtes Zündhütchen oder biegt sich in Ermangelung eines solchen aus einem ungefähr 1,5 cm im Geviert großen Stückchen dünnen Kupferblechs (Schablonenblech) ein entsprechendes Gebilde um ein Stäbchenende zurecht. Die Füllung beträgt etwa 20—30 mg Knallquecksilber, das man in der bekannten Weise bereitet hat. Das Hütchen stellt man aufrecht, d. h. mit der Öffnung nach oben auf ein Blech von mindestens 0,3—0,4 mm Dicke, das auf einen kleinen Gestellring aufgelegt wird, und erhitzt von unten mit einer nicht leuchtenden, voll eingestellten, rauschenden Bunsen-Tecluf Flamme. Nach Verlauf von etwa 10—30 Sekunden (entsprechend der Blechstärke) erfolgt die scharfe Explosion. Man hat also reichlich Zeit zurückzutreten, was unbedingt geschehen muß, wenn der Versuch im übrigen auch durchaus gefahrlos ist.

Noch einfacher ist es, die bezeichnete Menge Knallquecksilber in ein enges Glühröhrchen von 5—6 mm Innendurchmesser einzuschütten, das man bis auf etwa 5 cm abschneidet und in eine geeignete korkfreie Klemme einspannt. Man erhitzt es ohne weiteres in der offenen Gasflamme, wobei aber die Explosion etwas früher erfolgt als vorhin. Das Glas bleibt meist unversehrt. Nimmt man jedoch von dem Stoff viel mehr, etwa 50 mg, so wird es heftig zerschmettert und fast völlig zerstäubt. Das Entsprechende geschieht dann übrigens auch mit dem erwähnten Zündhütchen, und die Unterlage wird durchschlagen.

Hat man kein Knallquecksilber zur Verfügung, so verwendet man die käuflichen gefüllten Kupferzündhütchen (z. B. 8fach). Es empfiehlt sich, sie zu befestigen, weil sie sonst heftig emporgeschleudert werden, was bei Anwesenheit von Zuschauern nicht unbedenklich sein dürfte. Auch können Tisch, Apparate u. a. beschädigt werden. Man nimmt daher ein zweites Blechstück, das dünner sein kann als das erste, schlägt mit einem Locher oder Senkstift eine kreisrunde Öffnung durch die Mitte und erweitert sie erforderlichenfalls, so daß sich das Zündhütchen hindurchschieben läßt, aber mit seinem etwas breitem Fuß hängen bleibt. Dieses zweite Blech legt man auf das erste, wobei die Öffnung des Hütchens nach oben schaut, und biegt die Blechecken über den Gestellring herum, damit die Vorrichtung genügend Halt gewinnt. Vergl. Fig. 1 (Durchschnitt).

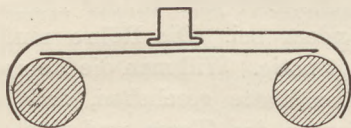


Fig. 1.

Weiter knüpft man an die bekannte Erfahrung an, daß die einzelnen Speichen eines sich schnell drehenden Wagenrades oder auch die einzelnen Tropfen des strömenden Regens in der Dunkelheit deutlich erkennbar werden, d. h. still zu stehen scheinen, wenn ein greller Blitz die Gegend erleuchtet, mit andern Worten wenn eine außerordentlich kurze Beleuchtung stattfindet. Ebenso erblickt man die einzelnen Farbenfelder eines sich möglichst schnell drehenden Farbenkreisels bei der Belichtung durch einen elektrischen Funken getrennt. Auf einer kreisrunden Scheibe aus weißer Holzpappe von etwa 20 cm Halbmesser werden 24 Durchmesser so aufgezeichnet, daß 48 gleichgroße Kreisausschnitte entstehen. Jeden zweiten derselben pinselt man mit Tinte oder Tusche schwarz, was bei einiger Aufmerksamkeit trotz der Saugkraft der Pappe zur Zufriedenheit gelingt. Die so hergerichtete Scheibe befestigt man an der Achse eines Kleinkraftmotors, nachdem man nötigenfalls eine passende Ansatzverschraubung hat anbringen lassen, und versetzt sie in sehr schnelle Umdrehungen, beispielsweise 1500 in der Minute bei 220 Volt ohne Vorschaltwiderstand. Das Ringgestell schiebt man etwas zur Seite und ziemlich nahe an die Scheibe, bis auf etwa 5—10 cm, wie aus der Fig. 2 erkennbar sein dürfte. Das Zündhütchen befindet sich ungefähr in der Höhe des untern Scheibenrandes. Beim

Versuch wird das Zimmer genügend abgedunkelt. Wenn nötig, wird die Gestellplatte mit einer Schraubzwinde befestigt und die Heizflamme abgeblendet.

Da die Scheibe in einer Sekunde  $1500:60 = 25$  Umdrehungen vollbringt, so verfließt  $1:(25 \cdot 48) = \frac{1}{1200}$  Sekunde, damit ein Kreisabschnitt die Stelle des nächstfolgenden einnimmt. Folglich muß der Explosionslichtblitz erheblich kürzer als diese Zeit dauern, da die Bewegung aufzuhören scheint. Teilt man die Pappscheibe auf der anderen Seite in 96 Abschnitte, so erreicht man im allgemeinen nicht mehr sicher eine deutliche Trennung der einzelnen Felder. Die Flammdauer wäre darnach etwas kleiner als  $\frac{1}{2400}$  Sekunde. Eine genaue Bestimmung ist nach dieser Angabe nicht möglich, aber auch nicht nötig, wenigstens für den vorliegenden Zweck. Vielleicht darf man für die Zeitdauer des Explosionslichtblitzes schätzungsweise  $\frac{1}{3000}$  bis  $\frac{1}{4000}$  Sekunde annehmen. Das würde dann ein Höchstwert sein, der immerhin noch unterschritten werden könnte. Außerdem hat man zu beachten, daß die Dauer der Explosionsflamme nicht mit der eigentlichen Molekülertrümmerung zusammenfällt, sondern diese muß sich jedenfalls erheblich schneller vollziehen.

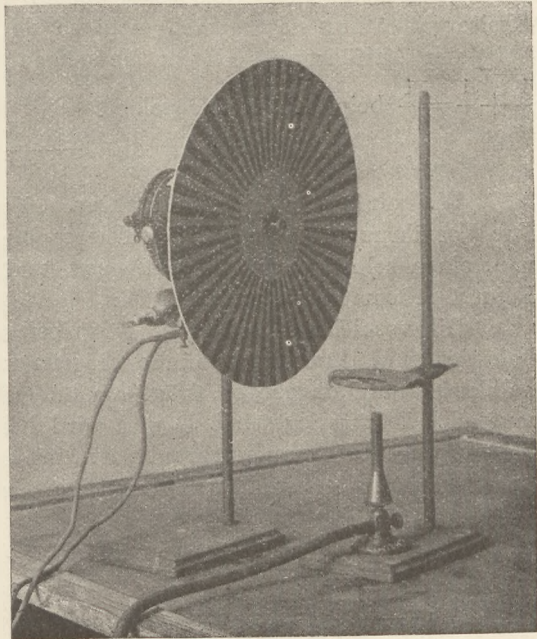


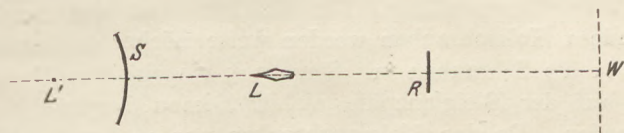
Fig. 2.

Ferner ist die Explosionsdauer nicht stets genau die gleiche, sondern sie wechselt mit den verschiedenen Bedingungen, namentlich auch mit der Stoffmenge. Bei dieser Gelegenheit wird man auch auf die praktische Bedeutung der Explosionsflamme hinweisen.

### Für die Praxis.

**Demonstration mit dem Konvexspiegel.** Von Dr. Chambré in Vilbel bei Frankfurt a. M. Gegenüber dem Konkavspiegel kommt der Konvexspiegel bei den Schulversuchen recht schlecht weg; kein Wunder, denn er erzeugt ja von reellen Gegenständen stets virtuelle Bilder. Bei Benutzung von Schattenbildern läßt sich jedoch auch mit dem Konvexspiegel ein recht schöner Versuch ausführen (Schattenbilder werden auch sonst in der Physik benutzt; vgl. übrigens Dr. Christoph Schwantke, Zum Parallelogramm der Kräfte, diese Zeitschr. 30, 3. Heft, S. 147).

Wir stellen auf der optischen Bank in entsprechenden Entfernungen auf: Einen Konvex-



spiegel  $S$  (siehe Fig.), einen Sauerstoffbrenner (in der Figur nicht gezeichnet), in dem ein Stückchen zugespitzte Kreide oder Marmor  $L$  zum Leuchten gebracht wird, und einen Ring  $R$  (etwa von einem Bunsenstativ herrührend). Die Schattenbilder werden auf einem weißen Schirm oder auf der weißen Wand  $W$  aufgefangen.

Keht man die helleuchtende Spitze von  $L$  dem Ring  $R$  zu, so entsteht auf  $W$  ein direktes Schattenbild  $R'$ . Keht man die Spitze von  $L$  dem Spiegel  $S$  zu, so

kann nur durch den virtuellen Bildpunkt  $L'$  von  $L$  ein Schatten von  $R$  entstehen; man erblickt einen tiefdunklen Schatten  $R''$  ( $< R'$ ) auf  $W$  inmitten eines durch die Dimension des Spiegels bestimmten hellen Gesichtsfeldes. Hält man schließlich  $L$  so, daß es nach  $S$  und  $R$  Strahlen sendet (hier also die Spitze senkrecht zur Zeichenebene), so entstehen gleichzeitig beide Schattenbilder  $R'$  und  $R''$  (konzentrische Kreise), allerdings naturgemäß nicht so deutlich wie vorher. Der Versuch läßt sich bei guter Ausführung auch zu Messungen benutzen, etwa zur Prüfung der Formel

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \text{ beim Konkavspiegel.}$$

**Ein einfacher Thermodetektor.** Von H. Keefer in Reutlingen (Württbg.). Zur Vorführung der drahtlosen Telegraphie im Klassenunterricht benützte Verfasser u. a. einen selbstgefertigten, einfachen und gut wirkenden Thermodetektor, der in Figur 1 schematisch abgebildet ist.

Die vernickelte Stahlfeder  $F$  ist bei  $A$  durch Schrauben auf einem Grundbrett befestigt und durch eine dünne Siegellackschicht gegen dasselbe isoliert. Sie ist halbkreisförmig umgebogen, trägt am andern Ende ein in eine versilberte Spitze auslaufendes Infanteriegeschosß  $G$  und wird bei  $S$  durch eine Hartgummischeibe, die der Messingschraube  $M$  aufgeschraubt ist, in dieser Lage festgehalten. Genau unterhalb des Geschosses  $G$  befindet sich auf dem Grundbrett eine ungefähr 20 mm weite mit

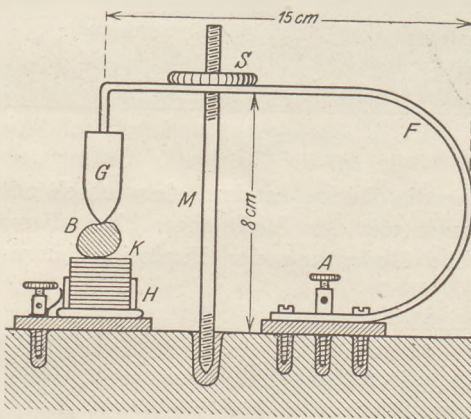


Fig. 1.

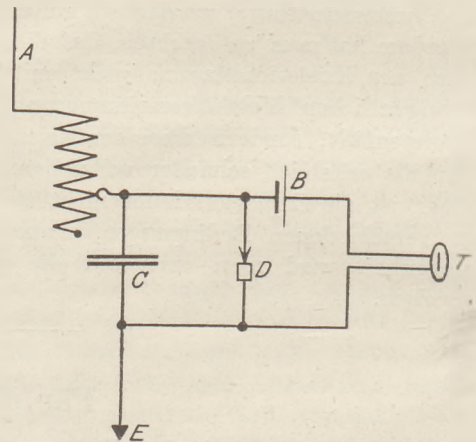


Fig. 2.

Siegellack aufge kittete Messinghülse  $H$  — es eignet sich dazu ganz gut der Messingkopf einer Jagdpatrone —, in welche ein etwa 20 mm langes Stückchen  $K$  einer Presskohle mit Reibung eingesetzt ist. Zwischen die Kohle und die versilberte Geschosßspitze bringt man nun ein erbsengroßes Stück Bleiglanz  $B$ , dann ist der Detektor gebrauchsfähig. Für die Schrauben der Anschlußklemmen und auch für die andern Holzschrauben werden weite Löcher in das Brett gebohrt. In diese werden dann die Schrauben mit Siegellack eingekittet. Der Druck, mit welchem die Spitze  $G$  auf der Bleiglanzpille aufsitzt, kann bequem mittels der Schraube  $S$  reguliert werden. Da der Bleiglanzbrocken nur an bestimmten Stellen empfindlich ist, so ist er so lange zu drehen und zu verschieben, bis eine recht empfindliche Stelle gefunden ist. Die Aufnahme der Wellenzeichen erfolgt dann natürlich mit dem Telephon. Verfasser benützte dabei die in Figur 2 skizzierte Anordnung. Die Wellen gingen dazu von einem Braunschen Sender aus, der von einem 20-mm-Induktor gespeist wurde.

**Berichte.**

**2. Forschungen und Ergebnisse.**

**Röntgenstrahlen.** Eine Zusammenstellung der älteren und neueren Untersuchungen über Emissions- und Absorptionsspektren der Röntgenstrahlen gibt MANNE SIEGBAHN<sup>1)</sup>. Während die Strahlen des sichtbaren Spektrums Wellenlängen zwischen  $4$  und  $8 \cdot 10^{-5}$  cm haben, liegen die Wellenlängen der Röntgenstrahlen zwischen  $12 \cdot 10^{-8}$  und  $8 \cdot 10^{-9}$  cm, die der wesensgleichen  $\gamma$ -Strahlen sogar bei  $7 \cdot 10^{-9}$  cm. Sie werden auch charakterisiert durch ihre Durchdringungsfähigkeit, indem eine Strahlung von der Intensität  $J$  beim Durchgang durch eine Aluminiumplatte von der Dicke  $d$  nach der Formel  $J = J_0 \cdot e^{-\mu d}$  geschwächt wird, wo  $\mu$  den

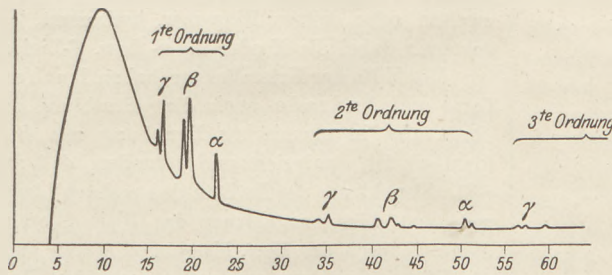


Fig. 1.

Absorptionskoeffizienten darstellt. Ist  $\rho$  die Dichte, so wird  $\mu/\rho$  der Massenabsorptionskoeffizient, der für eine Substanz charakteristischen sekundären Strahlung. Nach Barkla besitzt jedes Element mindestens zwei homogene charakteristische Strahlungen ( $K$  und  $L$ -Reihen); je höher die Atomgewichte, um so härter werden die charakteristischen Strahlen, d. h. um so kleiner die Absorptionskoeffizienten. Die charakteristische Strahlung einer Substanz kann durch Kathodenstrahlen ebensogut ausgelöst werden wie durch primäre Röntgenstrahlen; um kräftige charakteristische Strahlen zu erhalten, wird man daher die erstere Methode vorziehen und die Substanz zur Antikathode machen.

Treffen Röntgenstrahlen unter einem Winkel  $\varphi$  auf eine Kristallfläche, so werden sie der Formel  $n\lambda = 2d \sin \varphi$  entsprechend gespiegelt, wobei  $d$  den Abstand zweier paralleler benachbarter Atomebenen bedeutet, der von Moseley für Steinsalz zu  $2,814 \cdot 10^{-8}$  cm bestimmt wurde; aus vergleichenden Messungen ergab sich für Kalkspat  $d = 3,028$ , für Gips  $7,621$ , Ferrocyankalium  $8,454$ , Glimmer  $9,9$ , Rohrzucker  $10,5$ . Zur Untersuchung der von einer Substanz

kommenden Strahlung trifft diese auf einen auf dem Spektroskopisch drehbaren Kristall und wird von diesem nach einer Ionisationskammer oder (besser) nach einer photographischen Platte hin reflektiert. Fig. 1 zeigt das so von Compton mit einem Kalkspatkristall erhaltene Spektrum eines technischen Röntgenrohrs mit der von einer Wolframantikathode kommenden charakteristischen Strahlung. Es ist ein kontinuierliches Spektrum mit darüber gelagerten Spektrallinien dreier Ordnungen, deren Intensität mit steigender Ordnungszahl abnimmt. Die sechs Linien bilden die  $L$ -Reihe des Wolframs von der Wellenlänge  $1,058$  bis  $1,672 \cdot 10^{-8}$  cm. Erregt man das Rohr mit höheren Spannungen ( $> 75000$  Volt), so erhält man die drei Linien der  $K$ -Reihe mit kürzeren Wellenlängen ( $0,192-0,218 \cdot 10^{-8}$  cm). Von SIEGBAHN und seinen Mitarbeitern wurde das Spektrum der charakteristischen Röntgenstrahlen für alle Elemente bestimmt. Fig. 2 gibt eine Zusammenstellung der stärksten Linien jedes dritten Elementes; die Abszisse gibt die Wellenlänge, die Ordinate die

„Ordnungszahlen“ der Elemente (Numerierung nach steigendem Atomgewicht,  $H=1$ ,  $He=2$  usw.). Außer den  $K$ - und  $L$ -Reihen findet sich bei den schwersten Elementen noch eine  $M$ -Reihe. Mit steigendem Atomgewicht rücken sämtliche

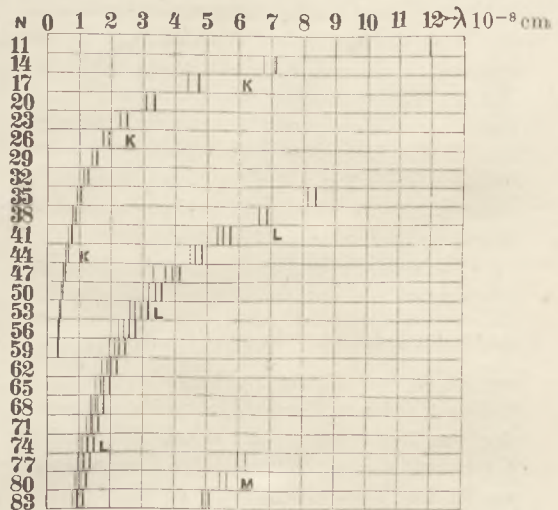


Fig. 2.

Reihen nach den kürzeren Wellen. Die Betrachtung der Fig. 1 zeigt, daß das kontinuierliche Spektrum erst bei einer bestimmten Wellenlänge

<sup>1)</sup> Die Naturwissenschaften 1917, S. 513 und 528.

einsetzt. Nach Untersuchungen von Duane und Hunt, Hull und Webster ist diese Minimalwellenlänge bzw. die dazu gehörige Maximalfrequenz  $\nu_{max}$  der Formel  $e \cdot V = h \cdot \nu_{max}$  entsprechend, wo  $V$  die Röhrenspannung,  $e$  die Elementarladung,  $h$  die Plancksche Konstante bedeutet. Die Formel kann auch für die Spektrallinien benutzt werden, wenn man den zu einer bestimmten Linienfrequenz berechneten Spannungswert um etwa 15% erhöht.

Durch die Möglichkeit, rein monochromatische Strahlen zu isolieren, ist auch die Untersuchung der Absorption der Röntgenstrahlen jetzt eine viel genauere. Die Absorption ist eine rein atomistische Eigenschaft. Fig. 3 zeigt den Ab-

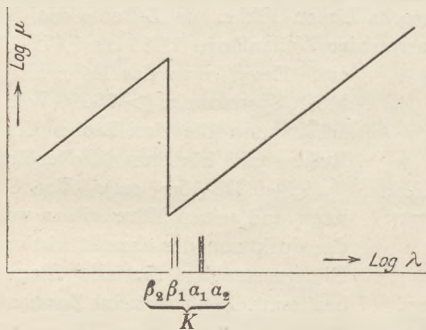


Fig. 3.

sorptionskoeffizienten  $\mu$  (bzw.  $\log \mu$ ) als Funktion der Wellenlänge (bzw.  $\log \lambda$ ). Die Absorption ändert sich also linear mit der Wellenlänge, macht also bei einer bestimmten Frequenz, die sehr nahe der  $K$ -Reihe liegt, einen Sprung. Im Gebiet der  $L$ -Reihe findet man zwei (ev. drei) Sprünge. Diese Absorptionsgrenzfrequenzen bilden ein ebenso gutes Charakteristikum der chemischen Elemente wie die Spektrallinien. Der Atomabsorptionskoeffizient  $\kappa$  ist nach Bragg und Peirce der vierten Potenz der Ordnungszahl  $N$  des Elementes proportional; bei jedem Element steht  $\log \kappa$  mit  $\log \lambda$  in linearer Beziehung. Beide Gesetzmäßigkeiten lassen sich durch die Formel  $\kappa = C \cdot N^4 \lambda^c$  ausdrücken.

Nach Moseley ist ferner die Röntgenfrequenz  $\nu$  mit der Ordnungszahl  $N$  des Elements durch die Formel  $\nu = R(N-1)^2 \left[ \frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right]$  verknüpft, wo  $R$  die Rydbergsche Konstante bedeutet. Diese Formel entspricht durchaus der von Bohr auf Grund seines Atommodells gegebenen Frequenzformel. Bei diesem Atommodell hat man einen positiven Kern von  $N$  Ladungseinheiten  $+e$  und darum kreisend ein Elektron  $-e$ . Bewegen sich die Ladungen in stationären Bahnen, so erfolgt keine Strahlung. Die Lichtstrahlung kommt dadurch zustande, daß die Ladung von einer dieser Bahnen (Ener-

gie  $W_m$ ) zu einer anderen (Energie  $W_n$ ) überspringt, wobei  $h\nu = W_m - W_n$  wird. Die betreffende Röntgenspektrallinie wäre dann aufzufassen als eine Wasserstofflinie, bei der die Kernladung bei jedem Element im periodischen System um eine Einheit wächst. Mit obiger Formel kann man die vorhandenen Elemente abzählen und etwaige Lücken im periodischen System feststellen. So fand Moseley, daß bis Gold noch drei Elemente zu entdecken waren (zwischen  $Mo$  und  $Ru$ ,  $Nd$  und  $Sa$ ,  $W$  und  $Os$ ).

Nach Kossel ist die jede charakteristische Röntgenstrahlung begleitende Korpuskularstrahlung Bedingung für das Auftreten der ersteren. Dabei werden eben die im Atome innersten Elektronen ausgeworfen, und auf den freigewordenen Platz fällt eins der äußeren Elektronen. Je nachdem dieses Elektron von dem zweiten oder dritten Ring usw. herkommt, erscheinen dabei die  $K$  oder  $L$ ,  $\alpha$ - bzw.  $\beta$ -Linien.

Mit Hilfe der Kristallgitter haben Rutherford und Andrade auch die  $\gamma$ -Strahlung des  $RaB$ , das in chemischer Beziehung mit Blei identisch ist, analysiert und gefunden, daß das  $\gamma$ -Strahlspektrum des  $RaB$  in den meisten Linien mit dem Röntgenspektrum des Bleis übereinstimmt. Nach des Verf. Messungen waren auch die Röntgenspektren zweier Isotopen, des  $RaG$  (Atomgewicht 206) und des Bleis (Atomgewicht 207,2) miteinander identisch. —

Über spektroskopische Methoden zur Aufnahme von Röntgenstrahlen ist noch nachzutragen, daß H. SEEMANN, anstatt durch einen Spalt ein enges Strahlenbündel abzubilden und dieses auf einen gedrehten Kristall zu werfen, die von einer flächenförmigen Quelle kommenden Strahlen von einer schmalen Spaltfläche des Kristalls reflektieren und von einem zylindrisch gebogenen Filmstreifen aufnehmen läßt<sup>1)</sup>; ein Bleischirm schützt den Film vor direkter Bestrahlung. Bei einer anderen Anordnung schichtete der Verf. eine Reihe flacher Kristallplatten wendeltreppenartig übereinander und richtete die Mitte des Strahlenbündels auf die Drehachse dieser Treppe. Man kann so ein vollständiges Spektrum mittels eines schmalen Strahlenbündels entwerfen, ohne die Kristalltreppe zu drehen. Die Treppe läßt sich auch mit der spaltlosen Methode kombinieren.

Einen Vergleich der Wirkung der Röntgenstrahlen und der Lichtstrahlen auf Bromsilbergelatine suchte I. K. A. WERTHEIM-SALOMONSON durchzuführen<sup>2)</sup>. Die Röntgen-

<sup>1)</sup> Ann. d. Physik 49, 470; 51, 391 (1916).

<sup>2)</sup> Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen 23, 509 (1916); Die Naturwissenschaften 5, 45 (1917).

strahlen passierten sechs rechteckige Öffnungen einer Bleiplatte von gleicher Breite und verschiedener (bzw. 1, 2, 4, 8, 16, 32 cm) Höhe und gelangten auf eine fallende photographische Platte, so daß auf dieser sechs Bänder von verschiedener Schwärzung entstanden. Aus der Falldauer der Platte und der Höhe der Öffnung ließ sich für jeden Streifen die Expositionsdauer und durch photometrische Ausmessung die entsprechende Schwärzung bestimmen. Auf der anderen Hälfte der Platte wurde in ähnlicher Weise eine Expositionsskala für gewöhnliches Licht hergestellt. Die Kurven, welche die Logarithmen der Beleuchtungszeiten und die Schwärzungen in Beziehung setzen, sind im Gebiet der korrekten Exposition gerade Linien, deren Neigung für Licht bedeutend größer ist als für Röntgenstrahlen. Daraus ergibt sich, daß die empfindliche Schicht Licht viel stärker absorbiert als Röntgenstrahlen. Andererseits ist a priori anzunehmen, daß die Wirkung der Lichtstrahlen hauptsächlich an der Oberfläche, weniger im Innern der Bromsilbergelatine vor sich gehen wird, während die durchdringenderen Röntgenstrahlen die tieferen Schichten fast ebenso stark zersetzen werden wie die Oberfläche. Durch mikroskopische Untersuchung von Querschnitten der verschiedenen Gelatineschichten wurde diese Annahme bestätigt; das Silber war bei Lichtwirkung nur in der Oberflächenschicht, bei Röntgenwirkung durch die ganze Schicht hindurch reduziert. Doch war nur bei weichen Strahlen die ganze Schicht gleichmäßig geschwärzt, während bei harten Strahlen die Wirkung mehr dem Lichteffect ähnelte. Es besteht also für die Emulsionen eine verschiedene Stufenfolge der Wirkung von Licht und Röntgenstrahlen verschiedener Härte, die bei der photographischen Intensitätsmessung zu berücksichtigen sein wird.

Zur Intensitäts- und Härtebestimmung der Röntgenstrahlen hat R. GLOCKER eine Methode angegeben, die einer Meßmethode der Akustik, der der Helmholtzschen Resonatoren analog ist<sup>1)</sup>. Die von der Primärstrahlung an einer bestimmten Substanz ausgelösten Sekundärstrahlen treten erst auf, wenn die Härte der ersteren einen gewissen unteren, für jede Substanz charakteristischen Grenzwert überschritten hat. In einem Röntgenstrahlungsgemisch werden daher nur die Strahlen von einer gewissen Wellenlänge an einem bestimmten Körper Sekundärstrahlen erzeugen, ebenso wie ein Resonator nur durch einen bestimmten Ton eines ihn treffenden Klanges zum Tönen gebracht wird. Verschiedene, passend ausgewählte che-

mische Stoffe werden daher, wenn sie von Röntgenstrahlen getroffen werden, davon Kunde geben, daß in dieser Strahlung bestimmte Wellenlängen vorhanden sind. Bei der von dem Verf. benutzten Einrichtung fielen die Primärstrahlen durch einen Schlitz unter 45° auf fünf innerhalb eines Kastens angeordnete verschiedene Substanzen, deren Sekundärstrahlen auf eine photographische Platte wirkten. Auf dieser entstanden dann fünf Felder von verschiedener Schwärzung, aus der durch photometrische Messung auf die Strahlenszusammensetzung geschlossen werden kann. Die Methode ist von besonderer Wichtigkeit für die Tiefentherapie, wo es darauf ankommt, wegen der Schädlichkeit der weichen Strahlen für die Haut, extrem harte Strahlen auszusondern.

Die Herstellung besonders harter Strahlen ist überhaupt ein jetzt von verschiedenen Seiten in Angriff genommenes Problem. In der von der Antikathode der Röntgenröhre kommenden Strahlung hat man zu unterscheiden zwischen der charakteristischen Strahlung und der Impulsstrahlung. Während jene vom Material des Antikathode abhängt, ist die Impulsstrahlung von der Spannung in der Röhre abhängig; ihre Durchdringungsfähigkeit wächst mit der Spannung. P. LUDWIG untersuchte nun den Spannungsverlauf der Entladung genauer und suchte durch Einwirkung auf ihn besonders harte Strahlen zu erzielen<sup>1)</sup>. Bei Beginn jedes Stromstoßes zeigt die Spannung einen „Zündgipfel“, um dann auf einen niedrigen Wert herabzusinken. Dementsprechend wird bei jedem Stromstoß ein Gemisch verschieden harter Strahlen erzeugt, unter denen der Verf. die weichen auszuschließen sucht, so daß nur die bei dem möglichst hoch zu legenden Zündgipfel entstehenden Strahlen austreten. Außerdem suchte er auch die den Stromverlauf verlängernden elektrischen Schwingungen, die bei jedem Stromstoß im Sekundärkreis entstehen, unschädlich zu machen. Beides wurde erreicht durch zwei zwischen die Hochspannungsquelle und die Röntgenröhre gebrachte Luftfunkenstrecken und zwei Widerstände sehr hoher Ohmzahl. Die Funkenstrecken kürzen den Stromstoß ab und die Widerstände dämpfen die Schwingungen und legen den Betriebszustand der Röhre auf den geeigneten Punkt der Charakteristik. Wenn man außerdem noch mit einer sehr hohen Spannung arbeitet, so erhält man in der Tat nur die sehr harten Impulsstrahlen des Zündgipfels.

<sup>1)</sup> Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstrahlen 24, 91 (1916); Die Naturwissenschaften 5, 45 (1917).

<sup>1)</sup> Zeitschr. für Elektrotechnik und Maschinenbau 34, 317 (1916); Die Naturwissenschaften 5, 47 (1917).

Von besonders guten Eigenschaften auch in bezug auf die Regulierbarkeit der Härte ist die Glühkathoden-Röntgenröhre der Gesellschaft Siemens & Halske<sup>1)</sup>. Bei ihr wird die Fähigkeit glühender Körper, Elektronen auszusenden, zur Erzeugung der Röntgenstrahlen benutzt, indem die Kathode aus einer Glühspirale besteht. Durch Veränderung der Temperatur dieser Glühkathode wird die Intensität der Strahlung beeinflusst, während durch Veränderung der an die Röhre gelegten Spannung sich die Härte der Röhre regulieren läßt. Zum Betriebe der neuen Röhren wird Wechselstrom benutzt, der aber keines Gleichrichters bedarf, da die Röhren auch den höchstgespannten Strom nur in der Richtung hindurchlassen, für die die glühende Elektrode Kathode ist. Da bei dem pulsierenden Charakter des einseitig abgedroselten Wechselstroms die Betriebsspannung alle Werte von Null bis zu einem Maximum durchläuft, so wird die Strahlung aus einem Gemisch von weichen und harten Strahlen bestehen, während bei gleichbleibender Spannung homogene Strahlen von einer Wellenlänge entstehen. Um bei dieser Anordnung auch möglichst wenig pulsierenden, hochgespannten Gleichstrom herzustellen, werden ein Drehstromtransformator und mehrere Glühkathodenröhren so angeordnet, daß die drei Wechsel des Drehstroms durch die Röhren fließen.

Von großer Bedeutung für die Röntgentechnik dürfte der neue Hochspannungstransformator von F. DESSAUER sein<sup>2)</sup>. Die bisherigen Röntgentransformatoren erleiden bei langer Betriebszeit und den für harte Strahlen nötigen sehr hohen Spannungen leicht Durchschläge. Die Beanspruchung wächst mit der Sekundärspannung, die z. B. bei der Tiefentherapie 100 KV. oder mehr beträgt. Zwischen dem Primär- und dem Sekundärkreise besteht dann die Beanspruchung 50 KV., wenn die Mitte der Sekundärspule an Erde liegt, sonst mehr. Dieser Beanspruchung ist ein Röntgentransformator auf die Dauer nicht gewachsen. DESSAUER kam daher auf den Gedanken, das für die Sekundärspannung erforderliche Transformationsverhältnis und die dielektrische Beanspruchung, die bisher verschmolzen waren, ganz getrennt zu behandeln, d. h. z. B. einen Transformator für 100 KV. sekundär so zu bauen, daß in ihm zwar das Übersetzungsverhältnis (z. B. 120:100000) vorhanden ist, nicht aber zwischen seiner Primär- und Sekundärspule die Beanspruchung von 50 KV. liegt, sondern vielleicht nur die Hälfte davon.

Die Ausführung dieses Gedankens erfolgte durch eine Gliederung des Apparats. Der Transformator wurde in zwei Hälften zerlegt, deren jede das vorgeschriebene Übersetzungsverhältnis hat. Den beiden Haupttransformatoren wurde je ein Hilfstransformator vorgeschaltet; diese Hilfstransformatoren dienten zur Unterteilung und damit zur Herabsetzung der Durchbruchsbeanspruchung. Der Energieverlust durch die zweimalige Transformation wird zum Teil durch den wegfallenden Glimmverlust ausgeglichen. Die Einrichtung ließ sich noch verbessern durch Einführung eines dritten Teiltransformators oder durch Anwendung größerer Hilfstransformatoren. Sehr erheblich ist bei den gewöhnlichen Transformatoren der Glimmverlust. Der Glimmstrom setzt sich zum größten Teil in Wärme um, so daß das Isolationsmaterial erhitzt wird; er hat im Gefolge Gleitfunken und schließlich den vollkommenen Durchschlag. Durch Wattmessungen im Sekundärkreis konnte gezeigt werden, daß der bei der alten Schaltung große Glimmverlust bei der neuen Anwendung nicht mehr entsteht; bei der erreichbaren Sekundärspannung von 127 KV. waren keine Verluste der übermäßigen dielektrischen Beanspruchung mehr nachweisbar. Durchschläge infolge Glimmens sind daher nicht zu erwarten. Der Verf. ermittelte ferner die Leerlaufverluste bei der Erscheinung des unvollkommenen Durchbruchs und bei Vermeidung dieser Erscheinung nach dem neuen System. Er erhielt für die Leistungsberechnung des Glimmstroms eine einfache graphische Methode für die Berechnung der dielektrischen Verluste, beim neuen System einen einfachen rechnerischen Weg. So konnten die reinen Glimmverluste und ihre Abhängigkeit von der Spannung hinreichend genau bestimmt und den dielektrischen Verlusten des neuen Transformators gegenübergestellt werden.

Den neuen Hochspannungstransformator benutzte DESSAUER zur Erzeugung durchdringungsfähiger Röntgenstrahlen. Die härteste Strahlung, die mit einem gewöhnlichen Transformator bei einer Coolidge röhre mit Wolframantikathode erzeugt werden konnte, hatte (nach Rutherford, Barnes und Richardson) einen Absorptionskoeffizienten von  $39 \text{ cm}^{-1}$  in Aluminium und eine daraus berechnete Wellenlänge  $1,72 \cdot 10^{-9} \text{ cm}$ . Diese Strahlung entstand bereits bei 145 000 Volt und wurde bei Steigerung der Spannung auf 175 000 Volt nicht härter. Die von dem Verf. für die Erzeugung von Röntgenstrahlen benutzte Hochspannungsanlage bestand aus drei Übersetzungstransformatoren, von denen jeder 100 000 Volt max. Sekundärspannung zu liefern in der Lage war, und diese drei Trans-

<sup>1)</sup> Die Naturwissenschaften 5, 46, 1917.

<sup>2)</sup> Verh. d. Deutschen Phys. Ges. 19, 155 1917.

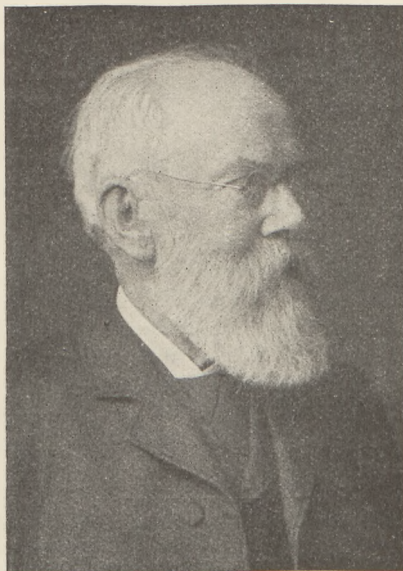


formatoren wurden durch zwei Beanspruchungs-  
transformatoren geschützt. Zur Messung der  
Absorptionskoeffizienten diente ein besonderes  
Verfahren, bei dem 2 Elektroskope zugleich zur  
Anwendung kommen; dadurch konnten die bei  
hohen Spannungen stets auftretenden Schwankungen beseitigt werden. Aus dem Verhältnis  
der beiden Strahlungsintensitäten mit und ohne  
Meßfilter  $I/I_0 = e^{-\mu d}$  ergab sich der Absorptions-  
koeffizient  $\mu$  für die Aluminiumdicke  $d$ , und aus  
der Bragg'schen Beziehung  $\mu = K \cdot \lambda^{\frac{5}{2}}$  die  
Wellenlänge  $\lambda$ ; dabei wurde für die Konstante  $K$   
der für die härteste beobachtete Strahlung er-  
haltene Wert  $3,17 \cdot 10^{21}$  benutzt. Der Verf. er-  
hielt so bei seiner Transformationsanlage bei einer  
Spannung von 179 KV.  $\mu_{Al} = 0,396, \lambda \cdot 10^9 = 1,72$ ,  
d. h. den obengenannten Beobachtungen durch-  
aus entsprechende Werte. Für 220 KV. waren  
die beiden Werte für  $\mu$  und  $\lambda \cdot 10^9$  bzw. 0,325  
und 1,6, für 267 KV. 0,27 und 1,5, für 308 KV.  
0,239 und 1,42. Die letzteren Werte sind er-  
heblich kleiner als die bisher bekannte kleinste  
Wellenlänge von Röntgenstrahlen, aber noch  
immer größer als die der härtesten  $K$ -Linie des  
Radiums  $B$  ( $1,37 \cdot 10^{-9}$  cm) oder der  $k$ -Linie  
des Radiums  $C$  ( $1 \cdot 10^{-9}$  cm). Mit steigender  
Spannung nimmt also die Erregung der Absorp-

tion ab, die daraus errechnete Frequenz der  
Strahlung zu. Die von Einstein aufgestellte  
Beziehung  $e \cdot V = h \cdot \nu$  (wo  $e$  das Elementarquan-  
tum der Elektrizität,  $h$  das Plancksche Wir-  
kungsquantum,  $\nu$  die Frequenz bedeutet) gilt  
aber nur für Spannungen bis zu 110 KV. Die  
Frequenzen bleiben immer mehr gegen jene  
Formel zurück, je höher die Spannung wird,  
und scheinen zwischen 140 und 180 KV. konstant  
zu sein, was vermutlich auf die Erregung der  
 $K\beta$ -Strahlung des Wolframs zurückzuführen ist.  
Dann wächst die Frequenz wieder mit der von  
180 bis 310 KV. steigenden Spannung; doch muß  
eine dreifach höhere Spannung aufgewendet  
werden, als sie der Einsteinschen Beziehung  
entspricht. Da die Durchdringungsfähigkeit  
proportional  $\nu^{\frac{5}{2}}$  wächst, so zeichnen sich die vom  
Verf. erzeugten Strahlen durch große Durch-  
dringungsfähigkeit aus. Während die früheren  
härtesten Strahlen von 2 bis 3 mm Blei praktisch  
vollständig absorbiert werden, drang bei diesen  
Versuchen eine meßbare Energie noch durch  
3 cm starke Bleiplatten hindurch. Einen wirk-  
samen Schutz für diese Strahlung gibt es nicht  
mehr. Für die medizinische Anwendung aber  
hat ihre Durchdringungsfähigkeit eine große  
Bedeutung. Schk.

### 3. Geschichte und Biographie.

**Adolf F. Weinhold.** Am 2. Juli jährt sich  
der Tag, an dem Adolf F. Weinhold aus einem  
Leben voll rastloser Tätig-  
keit abgerufen worden ist.  
Sein Name ist mit der Ent-  
wicklung des physikalischen  
Unterrichts in den letzten  
Jahrzehnten aufs engste  
verknüpft. Als unsere Zeit-  
schrift ins Leben trat,  
nahm er bereits eine füh-  
rende Stellung auf dem  
Gebiet der physikalischen  
Unterrichtstechnik ein; und  
als ein Meister auf diesem  
Gebiet hat er sich in der  
ganzen seither verflossenen  
Zeit in so hohem Maße be-  
währt, daß sein Ansehen  
auch durch die glänzend-  
sten Leistungen der Später-  
geborenen nicht in den  
Schatten gedrängt werden  
konnte. Er hat an der  
Wiege unserer Zeitschrift  
als Pate gestanden und bereits zu dem ersten  
Hefte mit der Beschreibung seiner Influenz-  
maschine ohne Polwechsel eine wertvolle Gabe



beigesteuert, der später noch andere nicht minder  
bedeutende gefolgt sind. Nähere Mitteilungen  
über seinen Lebenslauf ent-  
nehmen wir einem Aufsatz  
im „Chemnitzer Kalender  
1918“ (Verlag des Chem-  
nitzer Tageblattes) S. 75  
bis 77.

A. F. Weinhold war  
am 19. Mai 1841 in Zwenkau  
geboren und bezog nach  
dem Besuch der Leipziger  
Realschule kaum sechzehn-  
jährig die Universität Leip-  
zig, um Chemie zu studieren.  
Nach 5 Semestern siedelte  
er nach Göttingen über und  
übernahm nach der Rück-  
kehr von dort am 1. Ok-  
tober 1862 die Stelle eines  
Assistenten an der chemi-  
schen Abteilung der land-  
wirtschaftlichen Versuchs-  
station in Chemnitz. Als  
diese nach Döbeln verlegt  
wurde, blieb Weinhold in Chemnitz als Lehrer  
an der Gewerbeschule, wo ihm von Ostern 1865  
an der Unterricht in der Experimentalphysik

übertragen wurde. An dieser Anstalt wirkte er bis zu seiner 1912 erfolgten Entlassung aus dem Staatsdienst, zu der er durch eine schwere Erkrankung gezwungen war. Bereits mit 29 Jahren wurde er zum Professor ernannt, 1882 wurde er als Mitglied in die technische Deputation des Kgl. Ministeriums des Innern berufen und 1890 zum Regierungsrat, 1897 zum Oberregierungsrat ernannt.

In der ersten Zeit seiner Amtstätigkeit war sein Bemühen hauptsächlich darauf gerichtet, die vorhandene physikalische Sammlung systematisch auszubauen und zu vervollständigen. Dies erforderte vielfach Neukonstruktionen, bei denen ihm seine außerordentliche Veranlagung für mechanisch-technische Arbeiten und seine über das gewöhnliche Maß hinausgehende Fertigkeit im Glasblasen zustatten kamen; nicht minder bedeutsam war dabei die Mitwirkung von G. Lorenz, dessen Firma noch heute für die mustergültige Herstellung der Weinholdschen Apparate an erster Stelle in Betracht kommt.

Um seinen Fachgenossen den richtigen Gebrauch seiner Apparate zu erleichtern und auch die Selbstanfertigung von solchen zu ermöglichen, gab er die seither in fünf Auflagen erschienene „Vorschule der Experimentalphysik“ (1. Auflage 1872) heraus, sie ist noch heute eine Fundgrube wertvollster praktischer Winke und Vorschriften. Für die höher gehenden Ansprüche namentlich der technischen Mittelschulen erschienen 1881 die „Physikalischen Demonstrationen“ (5. Auflage 1913), die einen vollständigen Lehrgang der Experimentalphysik darbieten und auch schätzenswerte didaktische Anleitungen enthalten. Einen Hauptvorzug des Werkes bildet der Aufbau der Mechanik auf gutgewählte grundlegende Versuche und Messungen. Geradezu vorbildlich ist besonders die didaktisch-technische Durcharbeitung der Versuche an der Fallmaschine, deren von G. Lorenz hergestellte Form noch heute vor allen anderen den Vorzug verdient. Weinhold hat sich auch als einer der ersten um die Einführung des absoluten Maßsystems bemüht, sobald zu Anfang der 80er Jahre die Elektrotechnik als neuer Unterrichtsstoff in den Lehrgang der technischen Schulen aufgenommen wurde. Im Jahre 1893 kam es zu der Bildung einer besonderen „Elektrotechnischen Abteilung“ sowohl an der Ge-

werbeschule als an der Werkmeisterschule; um die Gründung und Einrichtung beider hat Weinhold sich ein hervorragendes Verdienst erworben.

Als wissenschaftlicher Sachverständiger der Technischen Deputation hat Weinhold eine umfangreiche Tätigkeit entfaltet, u. a. die Vorschriften für die Errichtung und Einführung von Blitzableitern gemeinsam mit Töpfer ausgearbeitet. Bei den elektrischen Ausstellungen in München (1882) und in Frankfurt a. M. (1891) war er Mitglied der wissenschaftlichen Prüfungskommission, bei der Errichtung der größten sächsischen Elektrizitätswerke, so in Dresden, Leipzig, Chemnitz, Plauen, ist sein Gutachten eingeholt worden. Neben diesen umfangreichen Aufgaben mußte die eigentliche wissenschaftliche Tätigkeit zurücktreten. Eine bedeutende Arbeit Weinholds indes war eine 1872 erschienene kritisch-experimentelle Untersuchung der bis dahin bekannten Methoden zur Messung hoher Temperaturen. Auf Grund dieser Arbeit wurde ihm 1873 von der philosophischen Fakultät der Universität Leipzig die Doktorwürde ohne Prüfung verliehen. Im Zusammenhange mit diesen Untersuchungen gelangte Weinhold auch zur Konstruktion der doppelwandigen hochevakuierten Glasgefäße, die heute meist nach Dewar benannt sind, aber bei uns vielmehr Weinholdsche Gefäße heißen sollten. Weinhold hat sie bereits in der 1. Auflage seiner „Demonstrationen“ beschrieben, Dewar hat nur die Versilberung der Innenwand des evakuierten Raumes hinzugefügt; das erste von Weinhold selbst geblasene Stück befindet sich jetzt im Deutschen Museum zu München. Zu nennen wären auch noch zahlreiche Neukonstruktionen von Meßapparaten, z. B. transportablen Galvanometern, einer Telephonmeßbrücke für Blitzableiterprüfung u. a. m.

Seine Freunde und Kollegen rühmen die Hilfsbereitschaft, mit der er ihnen wie auch seinen Schülern sein reiches Wissen jederzeit zur Verfügung stellte; sie gedenken auch der sonnigen Heiterkeit seines stets zu harmlosem Scherz aufgelegten Gemüts, die den persönlichen Verkehr mit ihm zu einem überaus angenehmen machte. In der Geschichte des physikalischen Unterrichts wird sein Name in alle Zukunft als der eines Bahnbrechers in Ehren gehalten werden.

P.

## Neu erschienene Bücher und Schriften.

**Lehrbuch der Physik.** Von Dr. L. GRAETZ, Professor a. d. Universität München. 4. umgearb. Auflage. 486 S. mit 269 Abbildungen. Leipzig und Wien, Franz Deuticke, 1917. M. 10.

Das Buch ist völlig im Stil anderer Hochschullehrbücher abgefaßt, es geht auch in dem Umfang des Stoffes nur an einzelnen Stellen über den der besseren Lehrbücher für höhere Schulen hinaus. Besonders aber fällt auf, daß

es auch in bezug auf Schärfe der Begriffsentwicklung und Strenge der mathematischen Darstellung sich in recht bescheidenen Grenzen hält. So zeigt in der Mechanik die Ableitung der Zentrifugalkraft alle Schwächen unexakter elementarer Behandlung, für die Schwingungsdauer des Pendels wird eine Näherungsformel

$T = 4 \sqrt{\frac{l}{g}}$  entwickelt und die genauere Formel dann mitgeteilt, das Trägheitsmoment wird nur durch eine Umformung der für das Fadenpendel gültigen Formel erhalten u. dgl. m. Man darf sich nicht wundern, wenn Zuhörer, die einen guten Schulunterricht genossen haben, sich von einer solchen allzu elementaren Darstellung enttäuscht abwenden. Rücksichten dieser Art haben zugeständenermaßen den Verfasser bewogen, in dieser Auflage die Elektrizitätslehre der Mechanik vorzugehen zu lassen. Er führt zugleich als wissenschaftliche Begründung dafür an, daß wir heute allen Grund haben, in der Elektrizitätslehre die Grundlage der Physik zu sehen. Was aber nun in dem Buche über eine solche Grundlegung im besonderen für die Mechanik gesagt wird (Art. 287 und 301), ist doch gar zu dürftig und unsicher, um eine solche Umstellung zu rechtfertigen.

Auf weitere Einzelheiten einzugehen verbietet der beschränkte Raum. Erwähnt sei nur, daß die historischen Angaben vielfach unzutreffend sind, namentlich die über Galilei. Das Gesetz von Mariotte sollte doch nun allgemein nach Boyle genannt werden, der Erfinder des Neeffschen Hammers ist J. Th. Wagner, wie Koppe in d. Ztschr. II 232 dargelegt hat. P.

**Aufgaben aus der technischen Mechanik** für den Schul- und Selbstunterricht. Von N. SCHMITT. I. Bewegungslehre, Statik. II. Dynamik. (Aus Natur u. Geisteswelt. Bd. 558 u. 559. Teubner 1916.)

Der Techniker, der sich durch Selbststudium weiterbilden will, findet in den beiden Bändchen leichtere Aufgaben mit Lösungen. Doch wird auch der Lehrer der Physik oder Mathematik aus der reichhaltigen Sammlung, welche die Aufgaben vorzugsweise der Maschinenlehre entnimmt, manches Beispiel verwerten können, durch das er die Grundgesetze der Statik und Dynamik anschaulicher und dem Schüler interessanter machen kann.

W. Schmiedeberg, Bielefeld.

**Justus v. Liebig's Reisen** nach Paris 1822 und England 1837, 1842 und 1844. Von Prof. Dr. J. Volhard. „Aus großen Meistern der Naturwissenschaften“ Nr. 9 u. 10. Leipzig, J. A. Barth. 48 S. Preis jeder Nummer M. 0,45.

Der bekannte Biograph Liebig's (vgl. diese Ztschr. 23, 59) bringt in der kleinen Schrift so viel Interessantes über die Reise nach Paris, die Begegnung mit Alexander von Humboldt, die für Liebig's Aufstieg so bedeutsam wurde, das innige Freundschaftsverhältnis Liebig's zu Platen sowie über die später erfolgten Reisen nach England, daß jedem Leser eine überaus genußreiche Stunde gewährleistet werden kann. Der köstliche Humor und die Gemütsstärke Liebig's leuchten allenthalben aus dem Dargebotenen hervor.

O. Ohmann.

**Vorstufe zum Lehrgang der Chemie und Mineralogie** f. h. Schulen. Von Dr. F. Kuspert. Nürnberg, Karl Koch, 1916.

Im Anschlusse an die Besprechung des Buches in dieser Zeitschrift 30, 301 stellen wir im Einverständnis mit dem Beurteiler gern fest, daß die dort beanstandeten Eigentümlichkeiten, insbesondere die große Mannigfaltigkeit der herangezogenen Stoffe und Vorgänge, zumeist in den Vorschriften der bayerischen Lehrpläne ihre zureichende Erklärung finden. D. Schriftleitg.

## Korrespondenz.

Zum Nachweis der Leitfähigkeit nach KOHLRAUSCH mit Hilfe des Telephons schreibt uns Herr Dr. W. Hammermann in Ölsnitz i. Sa. im Anschluß an die Mitteilung von W. Roth in dieser Zeitschr. 30, 144, 1917:

Die Einstellung des Telephons auf „Mückenton“ durch Zuschalten von Widerstand in den Primärkreis läßt leider nur eine subjektive Beobachtung zu. Eine objektive Beobachtung, die überdies außerordentlich zeitsparend ist, läßt sich sehr leicht dadurch ermöglichen, daß man das Induktorium ohne Widerstand benutzt, wodurch das Dosentelephon einen schwach schnarrenden Ton gibt, der sich durch Ausziehen der Sekundärspule oder des Eisenkerns in ziemlich

weiten Grenzen abschwächen läßt. Das Telephon wird dann in einen hohen Glaszylinder gelegt, der als Resonator wirkt und bei verstärkter Leitfähigkeit (z. B. bei Zusatz einiger Körnchen Kochsalz) laut wie ein Wecker rasselt. Das schwache Geräusch des Wagnerschen Hammers stört nur wenig und läßt sich gegebenenfalls durch Einsetzen des Induktoriums in ein wattiertes Kistchen beseitigen.

Der Bericht über „Kristallstruktur und Röntgenstrahlen“ (Heft 1, 27 und Heft 2, 63 d. Jahrgangs) ist von Herrn Dr. W. Schürtz in Hamburg verfaßt. Auch muß es S. 63 Zeile 12 heißen: senkrecht zur Achse.

### Himmelserscheinungen im Juni und Juli 1918.

12<sup>h</sup> = Mittag, 0,24<sup>h</sup> = Mitternacht. (Berliner Zeit = MEZ - 0,1<sup>h</sup>)

MEZ 12 <sup>h</sup>	Juni						Juli					
	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30
♃ {AR (D	3 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup>	3.56	4.34	5.17	6. 4	6.52	7.38	8.19	8.56	9.28	9.55	10.19
	16 <sup>o</sup>	19	21	23	24	24	23	21	19	16	13	10
♄ {AR (D	2 <sup>h</sup> 4 <sup>m</sup>	2.26	2.49	3.11	3.35	3.58	4.23	4.47	5.12	5.38	6. 4	6.29
	10 <sup>o</sup>	12	14	16	17	19	20	21	22	22	23	23
♅ {AR (D	4 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup>	5.11	5.32	5.53	6.13	6.34	6.55	7.15	7.36	7.56	8.16	8.35
	22,5 <sup>o</sup>	23,0	23,3	23,4	23,4	23,2	22,9	22,3	21,6	20,8	19,8	18,7
♆ {AR (D	11 <sup>h</sup> 33 <sup>m</sup>	11.40	11.47	11.55	12. 3	12.12	12.21	12.30	12.40	12.50	13. 0	13.11
	4 <sup>o</sup>	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-6	-7	-8
♁ {AR (D	5 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup>		5.33		5.43		5.52		6. 2		6.12	
	23 <sup>o</sup>		23		23		23		23		23	
♂ {AR (D	8 <sup>h</sup> 52 <sup>m</sup>						9. 5					
	19 <sup>o</sup>						18					
Sternzeit <sup>1)</sup>	4 <sup>h</sup> 52 <sup>m</sup> 14 <sup>s</sup>	5.11.57	5.31.40	5.51.23	6.11.6	6.30.48	6.50.31	7.10.14	7.29.57	7.49.40	8.9.22	8.29.5
Zeitgl.	-1 <sup>m</sup> 52 <sup>s</sup>	-0.56	+0.7	1.11	2.16	3.17	4.14	5.4	5.42	6.8	6.19	6.17
Breite von Berlin. Ortszeit												
☉ Aufg. Unterg.	3 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup>	3.40	3.39	3.39	3.40	3.42	3.46	3.50	3.56	4. 2	4. 9	4.17
	20 <sup>h</sup> 14 <sup>m</sup>	20.18	20.21	20.24	20.24	20.24	20.22	20.19	20.15	20. 9	20. 2	19.55
☾ Aufg. Unterg.	1 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup>	5. 3	11. 0	16.40	21. 8	23. 1	0.56	6.21	12. 6	17.34	20.27	22.21
	16 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup>	21.40	23.30	0.41	4.35	11.17	17.51	21. 1	22.25	0.20	6.14	13.11

<sup>1)</sup> Im Stargarder Meridian.

Sommersanfang MEZ. 22 Juni 7<sup>h</sup> 0<sup>m</sup>.

Mondphasen MEZ	Neumond	Erstes Viertel	Vollmond	Letztes Viertel
		Juni 8, 23 <sup>h</sup> 3 <sup>m</sup>	Juni 16, 14 <sup>h</sup> 11 <sup>m</sup>	Juni 24, 11 <sup>h</sup> 38 <sup>m</sup>
	Juni 8, 9 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup>	Juni 16, 7 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup>	Juni 23, 21 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup>	Juli 1, 9 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup>
				Juli 30, 14 <sup>h</sup> 14 <sup>m</sup>

Finsternisse (MEZ): Totale Sonnenfinsternis Juni 8, 23<sup>h</sup>, in Nordamerika sichtbar.  
Partielle Mondfinsternis: Juni 24, 12<sup>h</sup>, in Australien und dem Stillen Ozean.

Lauf des Mondes im Tierkreis. 0<sup>h</sup> MEZ.

	W	S	Z	K	L	J	Wg	Sp	Sz	Sb	Ws	Fs
Juni										-	-	1
Juni, Juli	6, 7	8, 9	10, 11	12	--	15, 16	17	--	20, 21	22, 23	24	--
Juli	3, 4	5, 6	7, 8, 9	10, 11	12	--	15, 16	17	--	20, 21	22, 23	24, 25
Juli	30, 31											26, 27, 28, 29

Die Grenzen der auf 30° abgerundeten Sternbilder Widder Stier Zwillinge, Krebs Löwe Jungfrau; Wage Skorpion Schütze, Steinbock Wassermann Fische hatten zur Zeit des Ptolemäus die Länge 0° 30° 60° 90° 120° . . ., sie haben jetzt die Länge 25° 55° 85° 115° 145° . . ., in 70 Jahren 1° mehr (s. die Erklärung der Abkürzungen in Heft 2, S. 72). Der Mond steht z. B. am 24., 25., 26. Juni 0<sup>h</sup> im Sternbild oder Zwölfstel des Schützen, am 27. Juni 0<sup>h</sup> im Steinbock.

Tägliches Erscheinen und Verschwinden des Planeten. Ortszeit.	Tag	♀ Morgenstern		♂ (L, J)		♃ (S, Z)		♄ (K)		
		vorm.	nachm.	vorm.	nachm.	vorm.	nachm.	vorm.	nachm.	
A = Aufgang, U = Untergang, D = Dämmerung.	V 21	A 2,7 <sup>h</sup>	D 3,1 <sup>h</sup>	D 9,6	U (2,0)				D 9,6	U (0,7)
	VI 10	A 2,1	D 2,7	D 10,2	U (0,8)				D 10,2	U 11,5
	VI 30	A 1,7	D 2,8	D 10,3	U 11,7		(VII 14, 2,3 <sup>h</sup> )		D 10,3	U 10,3
	VII 20	A 1,6	D 3,2	D 9,9	U 10,6	A 1,9	D 2,6			
	VIII 9	A 2,0	D 3,8	D 9,1	U 9,6	A 0,9	D 3,3			

M. Koppe.

Nachdruck nur mit Quellenangabe und mit Genehmigung der Verlagshandlung gestattet.

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