

# Zeitschrift

für den

## Physikalischen und Chemischen Unterricht.

XXXIV. Jahrgang.

Erstes Heft.

Januar 1921.

### Über das Wesen des Experiments im physikalischen Unterricht<sup>1)</sup>.

Von Prof. Dr. Karl Noack in Auerbach i. H.

Die Notwendigkeit, zur experimentellen Behandlung greifen zu müssen, ergibt sich im physikalischen Unterricht hauptsächlich in zwei Fällen. Entweder bildet eine allgemein bekannte Tatsache oder Erscheinung den Ausgangspunkt der Betrachtung; dann führt das Verlangen nach Aufklärung häufig auf die Notwendigkeit der experimentellen Untersuchung. So kann z. B. der Hinweis auf Brechstange und Hebebaum zum Ausgangspunkt einer experimentellen Erforschung der Hebelgesetze auf der Unterstufe gemacht werden. In Fällen dagegen, wo allgemeine Erfahrungstatsachen nicht vorliegen und herangezogen werden können, muß der Lehrer häufig durch einen scheinbar unmotivierten Schauversuch erst eine Tatsache schaffen, aus der sich eine Frage ergibt, deren Beantwortung durch passend gewählte Versuche und entsprechende Erwägungen ermöglicht wird. So könnte z. B. der von WUNDER angegebene Schauversuch eines thermoelektrisch erregten Magnetes von hoher Tragkraft (Z. 24, 224 u. 28, 26) auf der Oberstufe die Veranlassung zu einer systematischen Erforschung der Gesetze thermoelektrischer Erregung durch eine passend angeordnete Experimentaluntersuchung werden.

So oder ähnlich liegen die Verhältnisse häufig in der wissenschaftlichen Forschung, wenn eine zufällige Beobachtung den Ausgangspunkt für eine wertvolle Untersuchung und Entdeckung bildet, so beispielsweise bei OERSTEDT'S Beobachtung der durch den elektrischen Strom abgelenkten Magnetnadel, oder bei RÖNTGEN'S Entdeckung der nach ihm benannten Strahlen. Immer aber beginnt die fruchtbare geistige Arbeit erst in dem Augenblick, wo ein Problem als solches erkannt und zielbewußt Mittel und Wege zu seiner Lösung gesucht werden.

Entsprechend dieser Sachlage zerfallen die physikalischen Unterrichtsversuche in zwei Hauptgruppen, die Schauversuche einerseits, die entweder neue Tatsachen vorführen oder alte in einer für die Zwecke des Unterrichts geeigneten Form, und Forschungsversuche andererseits, die den eigentlichen Inhalt des physikalischen Unterrichts ausmachen. Erstere haben in früheren Jahren den Unterricht beherrscht, letztere gelten heute für die wertvolleren und wichtigeren, weil sie die eigentliche Verstandesbildung und logische Schulung vermitteln. Aber entbehrlich sind jene so wenig wie diese, da beide einander nach Wesen und Zweck ergänzen.

Es soll nun im folgenden der Versuch gemacht werden, etwas tiefer in das Wesen der Unterrichtsversuche einzudringen; die Betrachtung einiger typischer Beispiele aus der Zahl der gebräuchlichsten Schulversuche und ihre Gruppierung nach Zweck und Ziel wird hierfür vielleicht ein gangbarer Weg sein.

In erster Linie wäre nach dem oben Gesagten mit den reinen Schauversuchen oder Demonstrationen zu beginnen. Dahin gehören z. B. die Darstellung des Sonnenspektrums mit den Fraunhoferschen Linien, das Projektionsbild des elektrischen

<sup>1)</sup> Die Verhältnisse im Schülerpraktikum sollen hier unberücksichtigt bleiben. — Es bedeuten: Z. = diese Zeitschrift; M. T. = Müller, Technik; R. E. = Rosenberg, Experimentierbuch; P. O. oder U. = Poske, Ober- oder Unterstufe.

Lichtbogens, die Lichterscheinungen in Entladungsröhren, die Abbildung eines Haarpinsels durch die direkten, sowie durch die gebeugten Strahlen nach VILLARD (Abraham, Reueil II, 145), die Vorführung eines Röntgenbildes und ähnliche. Manche dieser Versuche verfolgen die offenbare Absicht, das Staunen zu erregen, wie beispielsweise die Zertrümmerung eines Glasrohres, das auf zwei Frauenhaaren liegt, der Versuch mit den Magdeburger Halbkugeln, TYNDALLS Versuch über die Kontraktionskraft eines sich abkühlenden Eisenstabes (P. O. 139), Versuch mit der Eisbombe, FARADAYS in der Flamme gefrierendes Quecksilber (Schwalbe, Z. 9, 11) und viele andere. Man braucht derartige Versuche durchaus nicht als unnütze Spielereien zu betrachten, der erfahrene Lehrer weiß wohl ihren Wert an richtiger Stelle als Mittel zur Erzeugung eines starken und dauernden Eindrucks zu schätzen, nur darf die Sensation nicht zum Selbstzweck werden.

Ein tieferes Eindringen in das eigentliche Wesen des Experimentalunterrichts finden wir schon bei der nächsten Gruppe von Versuchen, deren Zweck die bewußte Beobachtung eines sich abspielenden Vorganges ist. Manche davon haben die bei Schulversuchen nicht sehr erwünschte Eigenschaft, eine längere Versuchsdauer zu beanspruchen, ein Nachteil, den man ertragen muß, da viele davon unentbehrlich sind. Als Beispiele solcher Versuche seien folgende genannt: Der Erstarrungsprozeß geschmolzenen Fixiernatrons mit der Erscheinung des Erstarrungsverzugs, die Elektrolyse angesäuerten Wassers, die Zerreißen eines belasteten Kupferdrahtes (M. T. 47), die elektrolytische Polarisation (LÜPKE, Z. 6, 11 u. 78), FOUCAULTS Pendelversuch (R. E. 2, 220), das Durchschmelzen eines belasteten Drahtes durch einen Eisblock (R. E. 2, 131), der Vorgang des Siedens von Wasser, von dem man keineswegs annehmen soll, daß er zu den bekannten Erscheinungen gehört; erst im Becherglas unter angemessener Anleitung sieht der Schüler mehr, als er von Haus aus mitbringt.

Viele Erscheinungen spielen sich zu rasch ab, als daß eine unmittelbare Beobachtung einen ausreichenden Einblick in die Einzelheiten und ihre Zusammenhänge gewähren könnte. In solchen Fällen muß das Bestreben des Experimentators darauf gerichtet sein, den Vorgang entweder so zu verlangsamen, daß ihn der Beobachter bequem verfolgen und einen zuverlässigen Einblick gewinnen kann, oder man muß versuchen, die Erscheinung mit einer anderen, die in allen ihren Einzelheiten genau bekannt ist, derart zu verbinden, daß die eine auf die andere bezogen werden kann. Das erstere Verfahren wenden wir z. B. an bei den Fallversuchen auf der schiefen Ebene oder an ARWOODS Fallmaschine; das andere weit häufiger ausgeübte Verfahren benutzen wir beispielsweise, wenn wir den freien Fall eines Körpers in Beziehung zu den Schwingungen einer Feder oder einer Stimmgabel setzen (P. O. 11; M. T. 61), oder bei der Beobachtung der Tropfenbildung und des Tropfenfalles mit der stroboskopischen Scheibe, bei der Flammenanalyse eines Tones mit rotierendem Spiegel, bei der Zählung der Schwingungen einer Stimmgabel durch ihre Schreibspur auf einer rotierenden Trommel oder Scheibe. Mit dieser Methode hat FEDDERSEN die oszillatorische Natur der Entladung einer Leidener Flasche nachgewiesen.

Verwandt mit dieser Gruppe von Experimenten ist die folgende, bei der das Bestreben darauf gerichtet ist, unseren Sinnen, die für die unmittelbare Beobachtung nicht hinreichend fein sind, in der einen oder anderen Weise zu Hilfe zu kommen. Häufig erreichen wir diesen Zweck durch eine gewisse Vergrößerung der Versuchsanordnung, so, wenn wir zum Nachweis der Drehung der Schwingungsebene polarisierten Lichtes eine meterlange Säule einer Zuckerlösung benutzen, oder wenn wir bei der Untersuchung der Saitenschwingungen statt dieser Seilschwingungen oder die Melde'schen Fadenschwingungen betrachten. Demselben Zwecke dient vielfach die Projektion, teils mit, teils ohne Benutzung des Scioptikons, wie etwa bei der Betrachtung der Kapillarröhrchenwirkung, beim NEWTONSchen Farbenglas oder dem FRESNELSchen Spiegelversuch. In der Mehrzahl der Fälle wird aber eine besondere Vorrichtung ersonnen, um die Erscheinung unmittelbar sichtbar machen zu können; dies ist

beispielsweise der Fall bei dem Versuch zur Wärmeausdehnung mit Ring und Kugel (P. U. 80), dem Metallthermometer, den Hitzdrahtinstrumenten und vielen anderen Apparaten; dem gleichen Zwecke dienen Vorrichtungen wie die Zeigerwalze (M. T. 24), die POGGENDORFFsche Spiegelablesung (Lichtzeigermethode, M. T. 219 u. 267) oder die v. HELMHOLTZschen Schallresonatoren. Hierher gehören aber auch Versuche, wie der Nachweis der Klemmenspannung am Voltaelement mit Hilfe des Kondensators, Messung kleinster magnetischer oder elektrischer Kräfte mit der Pendelwage (Pendeldynamometer, MÜLLER, Z. 23, 17) und andere ähnlicher Art.

Eine besondere Behandlung erfordern die zahllosen Vorgänge, die sich unserer unmittelbaren Wahrnehmung entziehen, weil uns für sie und die in ihnen wirkenden Kräfte und Energien ein eigenes Sinnesorgan fehlt, wie wir es für Schall und Licht im Ohr und Auge besitzen, und die wir deshalb nur an den materiellen Bewegungen verfolgen können, die sie gelegentlich hervorrufen. So vermögen wir die magnetischen Kräfte nicht zu empfinden, aber die Eisenfeilstreubilder geben uns alle wünschenswerte Aufklärung über Größe und Verteilung dieser Kräfte im Raum, ähnlich wie uns die CHLADNischen Klangfiguren den Schwingungszustand einer tönenden Scheibe ad oculos demonstrieren; die Ablenkung einer Magnethülse und ihre Schwingungen gestatten uns eine zuverlässige Messung dieser Kräfte. Für das Studium der elektrischen Kraft leistet uns das Blättchenelektrometer und die elektrische Sonde (Grimsehl, Lehrbuch II<sup>3</sup>, 81) den gleichen Dienst. Die unsichtbaren Gebiete des Spektrums, die ultraroten und die ultravioletten Strahlen werden am Zinksulfid- und Fluoreszenzschirm der Beobachtung leicht zugänglich gemacht; ebenso zeigt uns der Bariumplatinzyanürschirm oder die photographische Platte das Vorhandensein der unsichtbaren Röntgenstrahlen. Die Uranstrahlung und ihre Abkömmlinge können durch die Entladung eines Blättchenelektrometers nachgewiesen, untersucht und voneinander getrennt werden. Die elektrischen Wellen lassen sich mit dem Branly'schen Kohärer beobachten und messen oder sie werden in der Aronsschen Röhre unserem Auge sichtbar, ganz ebenso wie die unsichtbaren Schallwellen in der Kundtschen Röhre. In allen diesen Beispielen ersetzt uns das Experiment gleichsam das fehlende Organ für den sich abspielenden Vorgang.

Eine nicht unwichtige Aufgabe fällt im Unterricht der Analogie zu, die häufig gestattet, neue Erscheinungen und Verhältnisse mit bereits bekannten, oder kompliziertere mit einfacheren in Beziehung zu setzen und damit dem Verständnis näher zu bringen. So zeigt SCHELLBACHs künstliches Trommelfell (P. U. 130) in drastischer Weise die Einwirkung einer Schallwelle auf eine Membran, während der Kugelstoßapparat (P. U. 31) über die Fortpflanzung einer Erschütterung in einer Molekülreihe Auskunft gibt. Ebenso lösen die Wellenmaschinen von MACH (P. O. 121) oder VOLKMANN (Z. 16, 97) die Aufgabe von den gröberen Wellen einer Kugelreihe oder eines Seiles hinüberzuleiten zu den unsichtbaren Vorgängen im Äther. Besonders lehrreich sind in dieser Beziehung die folgenden vier Parallelversuche: Nachweis des Druckgefälles in einem Wasserstrom mit Manometern (P. O. 91); Biot's Versuch zur Bestimmung des Temperaturgefälles in dem Wärmestrom einer Kupferstange mit Hilfe von Thermometern (P. O. 151); Veranschaulichung des Potentialgefälles in einem Holzstab, dessen Enden mit den Polen einer Influenzmaschine verbunden sind, durch Blättchenelektrometer (P. O. 279), sowie endlich der entsprechende Versuch in einem stromdurchflossenen Rheochorddraht (Grimsehl, Lehrbuch II<sup>3</sup>, 108).

Im Schulunterricht sind die messenden Versuche von nicht geringerer Bedeutung, als in der wissenschaftlichen Forschung. Es ist aber noch nicht allzulange her, daß dieser Satz allgemein als richtig anerkannt wird und die messenden Versuche, die sich anfangs auf die Mechanik und geometrische Optik beschränkten, auch auf den anderen Gebieten des physikalischen Unterrichts Anwendung gefunden haben, wenn auch nicht auf allen in gleichem Ausmaß. Man könnte vielleicht geneigt sein, bei einer die messenden Versuche umfassenden Gruppe zwischen solchen zu unterscheiden,

deren Ergebnisse ein auf theoretischem Wege abgeleitetes Gesetz veranschaulichen oder prüfen und bestätigen sollen, und jenen, aus deren Resultaten der gesetzmäßige Zusammenhang der bestimmenden Größen erst gefunden und festgestellt werden soll.

Daß eine solche Unterscheidung nur schwer in konsequenter Weise durchzuführen wäre, braucht kaum gesagt zu werden; sie würde weitgehend von Geschmack und Neigung des Lehrers abhängen und sich sogar häufig von Fall zu Fall ändern, je nach dem Gang, den der Unterricht einschlägt und der nicht selten von Zufälligkeiten abhängt. Übrigens ist die empirische Ableitung physikalischer Gesetze im Schulunterricht eine heikle Sache; viele erfahrene Lehrer verwerfen dieses Verfahren, weil in den meisten Fällen eine vollständige lückenlose Erschließung des Gesetzes doch nicht möglich sei. Will man sich vor Fehlgriffen bewahren, so wird es sich empfehlen, diesen Lehrgang auf einzelne Abhängigkeiten und einfache Zusammenhänge zu beschränken und im übrigen die messenden Versuche mehr zur Bestätigung als zur selbständigen Ableitung komplizierter Gesetze zu verwenden. So können die Messungen an der Polwage (Z. 29, 237) oder mit dem Pendeldynmesser (Müller, Z. 23, 17) dazu dienen, das Coulombsche Gesetz der magnetischen Kraftwirkung, dessen Gültigkeit auf Grund gewisser formaler Erwägungen vermutet wird, als richtig zu erweisen, freilich nur mit Vorbehalt und innerhalb gewisser Grenzen infolge der unzutreffenden Fiktion fester Magnetpole als Angriffs- und Ausgangspunkte der Kraft; der unterrichtliche Wert dieser Messungen liegt mehr in der Veranschaulichung des abstrakten Gesetzes. Auch das Snelliussche Brechungsgesetz wird man nicht empirisch suchen, sondern nur durch Messungen veranschaulichen und prüfen. Ähnlich steht es mit den Formeln für die Linsen- und Kugelspiegelbilder, die ja leicht mit einfachen rechnerischen Hilfsmitteln abgeleitet werden können; in beiden Fällen dienen auch die Messungen an der optischen Bank sowohl der Prüfung und Veranschaulichung, als auch besonders der Diskussion der einzelnen Fälle. Anders liegt die Sache z. B. bei dem Gesetz des mathematischen bzw. des Fadenpendels; das Gesetz der Länge und die Unabhängigkeit der Schwingungsdauer von Masse und Amplitude können leicht empirisch gewonnen werden. Dagegen wird die vollständige Pendelgleichung auf theoretischem Wege zu erarbeiten sein und erst nachträglich an mit peinlicher Sorgfalt ausgeführten Versuchen geprüft werden müssen, wobei als Ergebnis die möglichst exakte Bestimmung der Schwerebeschleunigung  $g$  herausspringen mag. Ebenfalls um die genaue Messung von Konstanten handelt es sich bei der Vorführung des Gaußschen Verfahrens zur Bestimmung von  $M$  und  $H$ ; die Formel über die Fernwirkung zweier Magnetstäbe aufeinander kann auf elementarem Wege aus dem Coulombschen Gesetz abgeleitet werden, die Messungen dienen danach zur Veranschaulichung der gewonnenen Resultate, sowie zur Ermittlung der genannten Größen. Eine empirische Ableitung des gesetzmäßigen Zusammenhanges einzelner Faktoren ist beispielsweise auch leicht ausführbar bei der Reibung, der Reflexion des Lichtes, den Saitenschwingungen, dem Jouleschen Gesetz, dem Faradayschen Gesetz der Elektrolyse u. a.

Von manchen wird die Berechtigung messender Versuche im Rahmen des Unterrichts, soweit sie zur Bestimmung physikalischer Konstanten dienen, bestritten; mit Unrecht, wenigstens in dieser Allgemeinheit, denn die schon oben erwähnte Bestimmung von  $g$  oder  $H$ , oder die der Schmelzwärme und Verdampfungswärme des Wassers, der Brechungsexponenten von Wasser und Glas und ähnlicher wichtiger Zahlen muß nicht nur im Interesse tieferen Eindringens in die betreffenden Vorgänge im Unterricht einen Platz finden, sondern auch deshalb, weil die so gewonnenen Zahlen eine ganz andere Bedeutung haben, als die nur mitgeteilten.

Die im Obigen versuchte Auswahl und Zusammenstellung wichtiger physikalischer Schulversuche sollte nur dem Zweck dienen, über das Wesen und die Bedeutung dieser Versuche einige Aufschlüsse zu vermitteln, ohne das Thema erschöpfen zu wollen. Wie weit das gelungen ist, muß dem Urteil des Lesers überlassen bleiben.

## Eine Vervollkommnung des Modells zur kinetischen Gastheorie.

Von Theod. Wulf in Valkenburg, Holland-L.

### I.

Da in einem Gasraum einerseits die einzelnen Moleküle dem Auge nicht sichtbar sind, da andererseits die obwaltenden Gesetze der großen Zahlen so ganz verschieden sind von dem, was wir sonst in der Physik behandeln, so ist hier ein Modell durchaus wünschenswert und wird, wenn es gut ist, dem Unterricht sehr wertvolle Dienste leisten. So hat denn zuerst PFAUNDLER<sup>1)</sup> ein solches Modell angegeben, Kugeln werden auf einer Glasplatte durch eine große Reihe von elektrisch erregten schwingenden Lamellen in Bewegung gesetzt. PFAUNDLER ersetzt die unmeßbar große Zahl unsichtbarer kleinster Teilchen durch eine meßbar große Zahl sichtbarer kleiner Teilchen. Alle Maße kommen dadurch in den Größenbereich, daß wir den einzelnen Teilchen mit den Augen folgen, die freien Weglängen beobachten und die Zahl der Zusammenstöße zählen können. Die Teilchen, kleine Kugeln aus Glas oder Stein, später kleine Stahlkugeln, sind sehr stark elastisch. Die Wärmebewegung der Wände wird durch eine künstliche mechanische Bewegung ersetzt. Man erhält so in der Tat ein anschauliches Bild von den Vorgängen in einem Gasraum, und die bei den häufigen elastischen Zusammenstößen geltenden Gesetze der großen Zahlen zeigen sich auch hier gültig.

MINNAERT<sup>2)</sup> hat das PFAUNDLERsche Modell sehr vereinfacht, indem er an die Stelle der kostspieligen elektrischen Erregung eine sehr wohlfeile, einfache Erregung durch einen von Hand bewegten Holzrahmen setzte. Das Modell hat mir so gut gefallen, daß ich es mir sogleich nachmachen ließ. Dabei haben sich einige Verbesserungen und Vervollkommnungen herausgestellt, über die hier kurz berichtet werden soll.

Die erste Verbesserung betrifft die Erregung durch den Rahmen, der bei MINNAERT durch die Hand auf „möglichst“ kreisförmiger Bahn mit „möglichst“ gleichbleibender Geschwindigkeit parallel zu sich selbst bewegt wird. Die Bewegung wurde zunächst zwangsläufig in genau kreisförmige Bahn mit konstantem Durchmesser gebracht. Das konnte in einfacher Weise (Fig. 1) dadurch erzielt werden, daß am Rand der Glasscheibe zwei hölzerne Schnurscheiben *SS* angebracht wurden, die beide mittels einer durchlaufenden Schnur von einer dritten Schnurscheibe aus gedreht werden. Diese dritte Scheibe wird entweder mittels einer Kurbel *K* von Hand gedreht, oder durch einen kleinen Motor angetrieben. Schon bei der Bewegung von Hand macht der Rahmen streng kreisförmige Bewegungen, indem zwei an dem Rahmen befestigte eiserne Ausleger *AA* mittels eines abwärts gehenden Zapfens in je ein Loch der beiden kleinen Schnurscheiben hineingreifen und den Rahmen bei der Drehung mitnehmen. Beim Antrieb durch einen kleinen Motor sind die Geschwindigkeiten des Rahmens sehr konstant und zugleich regulierbar.

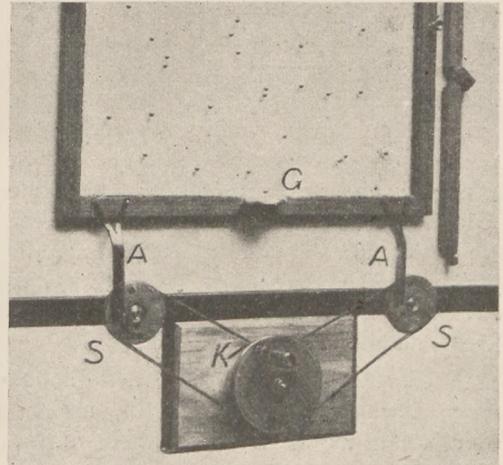


Fig. 1.

<sup>1)</sup> Pfaundler in Müller-Pouillet, Lehrbuch der Physik, Bd. III, S. 753, vgl. auch Boltzmann-Festschrift, Drudes Annalen der Physik, 1904, S. 71.

<sup>2)</sup> Diese Zeitschrift 32, 1919, S. 69 ff.

Ist  $r$  der Abstand des Zapfenloches vom Mittelpunkt der kleinen Schnurscheibe  $S$  und  $n$  die Anzahl Umdrehungen der Schnurscheibe für die Zeiteinheit, so ist  $2\pi rn$  die Geschwindigkeit aller Rahmenpunkte und auch die Maximalgeschwindigkeit, mit der ein vorher ruhendes Teilchen vom Rahmen fortgeschleudert wird. Z. B. für eine kreisende Bewegung von 6 cm Durchmesser mit 3,2 Umdrehungen in der Sekunde hat der Rahmen eine Geschwindigkeit von 60 cm/sec.

Bei der ausschlaggebenden Bedeutung, welche gerade die Geschwindigkeit der Teilchen für die Grundgleichung hat, ist die Möglichkeit, die Geschwindigkeit konstant zu halten und zu variieren, von großer Wichtigkeit. Erst dadurch ist es möglich, den Aufbau der Grundgleichung mit dem Modell annähernd quantitativ nachzubilden.

Die zweite Neuerung bezieht sich auf eine Vorrichtung, die Zahl der Stöße pro Zentimeter der Wand zu ermitteln. MINNAERT bedient sich dazu nur einer Kugel oder zweier und zählt dann alle Stöße auf die Wände. Das ist aber eine Entfernung von dem Gesetz der „großen Zahlen“, die wohl nicht ohne weiteres als unbedenklich bezeichnet werden darf, abgesehen davon, daß schon bei zwei Kugeln das Zählen aller Stöße sehr schwierig ist. Man kann aber in sehr einfacher Weise auch bei vielen Molekülen die Zahl der Stöße ermitteln, wenn man nicht alle, sondern nur die Stöße auf einen kleinen bestimmten Bruchteil des Rahmens zählt. Es kommt ja doch auf die Zahl der Stöße auf die „Flächeneinheit“ an. Um das zu erreichen, braucht man nur in den Rahmen eine kleine Öffnung zu machen. Dann werden die Teilchen, die diese Stelle der Wand treffen würden, aus dem Rahmen heraustreten und können leicht gezählt werden. Wenn man das Loch klein nimmt, so daß die Zahl nicht zu groß wird, so ist die dadurch entstehende Änderung der Gasdichte unbedeutend. Man kann auch, ohne die Rahmenbewegung zu unterbrechen, das Teilchen sofort in den „Gasraum“ zurückbringen, so daß die Gasdichte jedesmal nur eine kurze Zeit um ein, vielleicht einmal um zwei Teilchen vermindert ist. Schließlich wurde auch diese Unsicherheit behoben, indem die Öffnung ganz wieder verschlossen wurde, und zwar durch eine kleine Glockenschale  $G$ , die an dem Rahmen befestigt wurde. Jedes an dieser Stelle auftreffende Teilchen kündigt sich dann an mit einem lauten, im ganzen Saal vernehmbaren Glockenschlag, so daß alle Zuhörer mitzählen können, wieviel Teilchen in einer bestimmten Zeit auf die „Flächeneinheit“ der Wand stoßen. Man kann dann mit einer Stoppuhr oder auch mit einer gewöhnlichen Uhr mit Sekundenzeiger beobachten, wie groß die Zeit ist, bis jedesmal 50 oder 100 Moleküle angeschellt haben, oder man zählt die Glockenschläge für 1 oder 2 Minuten. Man könnte eine gewisse Unsicherheit der Beobachtung darin vermuten, daß häufiger zwei Teilchen zugleich aufschlagen. Bei einer sehr großen Gasdichte und einer zu großen Glockenschale kann das auch eintreten. Wenn man die Gasdichte und die Glocke so wählt, daß im Mittel höchstens ein Schlag alle 2 Sekunden erfolgt, so ist der daraus zu befürchtende Fehler unbedeutend, wie man sich leicht überzeugen kann, wenn man die ankommenden Kugeln eine Zeitlang mit dem Auge und dem Ohre zugleich betrachtet.

Endlich habe ich eine neue Beobachtungsmethode eingeführt, die viel mehr aus dem Apparat herausholen läßt, als es durch die einfache Anschauung oder Zählung der Stöße möglich ist. Sie besteht darin, daß von den bewegten Kugeln photographische Aufnahmen gemacht wurden. Man hat dann mit den Zusammenstößen der Kugeln untereinander und mit dem Rahmen auch die freien Weglängen auf der Platte festgelegt. Wenn man die Belichtungszeit kennt, hat man folglich auch die Geschwindigkeiten in Zentimetern, kann die Geschwindigkeitsverteilung untersuchen u. dgl., wie es im folgenden an einigen Stellen beschrieben wird.

Die verschiedenen Versuche spielen sich dann etwa in folgender Weise ab:

II.

1. Einführung. Zuerst läßt man, wie MINNAERT unter 1. und 2. seiner Arbeit angibt, die Kugeln vom Rand aus allmählich sich in Bewegung setzen. Man läßt den Anblick des regellosen Durcheinanders auf die Zuschauer wirken, macht dann auf die Zusammenstöße, die freie Weglänge und die Geschwindigkeit aufmerksam und versucht die Beziehung: freie Weglänge  $\times$  Stoßzahl = Geschwindigkeit der Größenordnung nach zu bestätigen.

2. Der Grundgedanke. Bevor man dann auf die Einzelheiten der kinetischen Gastheorie übergeht, halte ich es für wichtig, daß man dem Schüler den folgenden Grundgedanken klar macht: Das, was wir als konstanten, gleichmäßigen Druck des Gases auf die einschließenden Wände beobachten, ist das Ergebnis einer großen Zahl in schneller Reihenfolge auf die Wände ausgeübter Stöße der einzelnen Moleküle. PFAUNDLER und MINNAERT haben versucht, diese Auffassung dadurch zu rechtfertigen, daß sie einen Glasstab durch den Anprall der Kugeln verschieben lassen. Aber beide betonen den wenig befriedigenden Ausfall dieses Versuchs und PFAUNDLER gibt auch den Grund des Mißlingens an: Die Zahl der Stöße ist doch zu klein im Verhältnis zu der geringen Masse des Glasstabes. HEUSE<sup>1)</sup> ließ deshalb einen Wasserstrahl auf die Platte einer Zeigerwage stoßen und konnte so nachweisen, daß der Anprall des Wassers einen kontinuierlichen Druck auf die Wage ausübte. Das ist aber erst ein Teil des Grundgedankens. Der Wasserstrahl stellt sich uns als etwas durchaus Kontinuierliches dar, während doch zu zeigen wäre, daß auch eine schnelle Folge kleiner Einzelstöße einen uns gleichmäßig erscheinenden Druck hervorbringen kann. Man könnte den HEUSEschen Versuch dahin abändern, daß man den Strahl sich erst in Tropfen auflösen ließ, etwa durch die Brause einer kleinen Gießkanne und könnte dann vielleicht sogar die quantitativen Beziehungen, wie HEUSE es zeigt, ableiten. Um das Diskontinuierliche der Einzelstöße recht deutlich zu machen, habe ich mich des Aufpralls von Schrotkörnern bedient und damit befriedigende Wirkungen erzielt. Benutzt wurde eine gute Brief- oder Zeigerwage, recht empfindlich, so daß bei Auflage von 20 g der Ausschlag von den Schülern gesehen werden kann. Die Wage, Fig. 2, wurde in eine breite Glasschale, sog. Krystallisierschale, und mit dieser in die Vertiefung des Quecksilberbeckens gestellt, um die herumspritzenden Schrotkügeln aufzufangen. Es machte ziemlich viel Mühe, eine Vorrichtung zu finden, welche die Körnchen mit einigermaßen gleicher Geschwindigkeit und in einem gleichmäßigen Strom auftreffen ließ. Bei den meisten Vorrichtungen stauten sich die Teilchen hin und wieder, so daß der Strom unterbrochen wurde. Das beste Ergebnis, bei dem nie ein Aufstauen eintrat, erhielt ich in folgender Weise. Ein kegelförmiges Blechgefäß *B* hatte unten eine kreisförmige Öffnung von ca. 1 cm Durchmesser. Diese wurde durch einen von oben hineingestellten, ebenfalls konisch zugespitzten Glas- oder Holzstab *S* verschlossen und dann das Ganze mit Schrot angefüllt und mit Hilfe eines Bunsenstativs über die Platte der Wage gestellt. Sollte der Versuch beginnen, so wurde der Stab so weit gehoben, bis die ganze Öffnung frei war und dann während des Ausströmens langsam ganz herausgezogen. Die benutzten Schrotkörnchen hatten 3 mm Durchmesser; vielleicht wäre eine feinere Nummer noch günstiger. Die Fall-

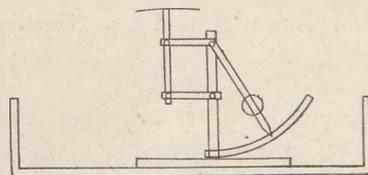
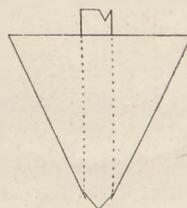


Fig. 2.

<sup>1)</sup> Heuse, Diese Zeitschr. 19, 1906, S. 220.

höhe der Teilchen war etwa 6 cm. Man verhindert zu Anfang mit der Hand, daß die Wage starke Schwankungen macht und erhält dann einen leidlich gleichmäßigen Ausschlag, in dem jedenfalls die Stöße der einzelnen Teilchen ganz unmerklich sind. Je größer man den Abstand der Trichteröffnung von der Wage nimmt, desto größer ist die Geschwindigkeit der auftreffenden Teilchen und desto größer auch der Druck auf die Wage. Damit keine Teilchen auf der Platte liegen bleiben, war die ursprünglich Platte durch eine viel kleinere von 4 cm Durchmesser ersetzt und diese wie ein Uhrglas abwärts gebogen. Wenn man die Dauer des Ausströmens mit der Stoppuhr bestimmen läßt und die ganze Bleimenge wiegt, hat man die Masse, die in 1 Sekunde aufstößt und kann dann den Druck berechnen und mit der Beobachtung vergleichen. Das Ergebnis war ganz befriedigend. Aber es sollen keine Zahlen mitgeteilt werden, um nicht die Vermutung aufkommen zu lassen, als sollte der Versuch als ein quantitativer bewertet werden. Immerhin zeigt der Versuch, daß, wenn die Einzelstöße zahlreich genug sind, sie für unsere Wahrnehmung gerade so wirken, wie ein kontinuierlicher Druck; außerdem zeigt er qualitativ, daß die Druckwirkung um so größer ist, je größer die Geschwindigkeit und je größer die Zahl der in der Zeiteinheit aufstoßenden Teilchen.

3. Die Grundgleichung. Das Wichtigste und Schwierigste in der kinetischen Gastheorie ist die Aufstellung der Grundgleichung. Ob man die theoretische Herleitung Schritt für Schritt an dem Modell erläutern und erhärten soll, wie MINNAERT meint, oder ob man die ganze Ableitung erst im Zusammenhang vorträgt und nachher die einzelnen Schritte in kritischer Erwägung noch einmal betrachtet und dabei an dem Modell begründet, das dürfte wohl nach dem Alter der Schüler verschieden sein. Jedenfalls gebe ich für unsere Schüler der zweiten Methode den Vorzug.

Die Grundformel der kinetischen Gastheorie setzt sich im wesentlichen aus drei Stücken zusammen.

1. Der Impuls eines einzelnen senkrechten Stoßes eines elastischen Körpers von der Masse  $m$  und der Geschwindigkeit  $c$  ist  $2mc$ .

2. Das einzelne Teilchen stößt in 1 Sekunde  $\frac{c}{2a}$  mal an eine Wand, wenn  $a$  die Kante des würfelförmigen Behälters.

3. Die Zahl aller Stöße in 1 Sekunde auf eine Wand ist der Zahl  $N$  aller Moleküle proportional, und zwar  $\frac{N}{3}$  mal der Stoßzahl eines Moleküls.

Der erste Schritt, der Impuls bei einem Stoß ist gleich  $2mc$ , wird in der Lehre vom Stoß behandelt, auf die man sich hier berufen muß. Qualitativ wurde er durch den Schrotversuch bestätigt.

Im zweiten Schritt liegt der Schwerpunkt der ganzen Herleitung. Es soll also die Zahl der Stöße eines Teilchens direkt proportional sein der Geschwindigkeit des Teilchens und umgekehrt proportional der Kante des einschließenden Würfels (bzw. dem Radius des Kugelbehälters). Man könnte einwenden, daß eine so einfache Beziehung keiner Bestätigung durch den Versuch bedürfe. Allein so einfach ist die Beziehung gar nicht. Gewiß, wenn die Teilchen nur senkrecht aufstießen und dann dauernd zwischen den zwei Wänden hin- und herflögen, wäre eine experimentelle Bestätigung nicht notwendig. Aber das ist ja nicht der Fall. Die Teilchen prallen unter allen Winkeln auf und machen dazwischen alle Wege von Null bis zur Länge der Diagonale. Der Sinn unserer Beziehung ist, daß auch dabei die mittlere Stoßzahl eines Teilchens der Geschwindigkeit direkt und der Kantenlänge indirekt proportional bleibt und das ist eine Behauptung, die in Ermangelung der vollständig durchgeführten mathematischen Beweisführung der experimentellen Bestätigung sogar sehr dringend bedarf. Sehr einfach läßt sich die Abhängigkeit der Stoßzahl von der Kante des einschließenden Würfels bestimmen. Man hält die Geschwindigkeit konstant und legt

in den Rahmen zwei Holzplatten, durch welche die Würfelkante etwa auf die Hälfte vermindert wird. Dann wird eine Kugel in den „Gasraum“ gebracht und für beide Würfel 12 mal die Zeit bestimmt, in der je 100 Stöße erfolgen. Die Kantenlänge  $a$  betrug zuerst 45 cm, dann 22,5 cm. Das Mittel aus den 1200 Stoßzeiten ergab für 100 Stöße bei dem kleinen Würfel 29,43 Sekunden, bei dem größeren  $58,9 = 2 \times 29,45$  Sekunden. Wie man sieht, ist die Zeit sehr genau die doppelte, wie bei dem kleinen Würfel, was natürlich nur zutrifft, wenn man wirklich eine große Zahl von Stößen beobachtet. Es ist für die Schüler ungemein lehrreich, dieses Gesetz bestätigt zu finden. Dabei kann man entweder alle Stöße oder nur die Stöße auf eine Wand beobachten. Die erstere Zeit ist sehr genau das Vierfache der letzteren, aber immer nur für eine große Stoßzahl.

Um nun die Abhängigkeit der Stoßzahl einer Kugel von der Geschwindigkeit zu untersuchen, ist es offenbar notwendig, daß man die Geschwindigkeit unabhängig bestimmen kann. Gewiß hängt die Geschwindigkeit der Kugeln von der Geschwindigkeit der kreisenden Bewegung des Rahmens ab, insofern, als die Rahmengeschwindigkeit den Höchstwert der Geschwindigkeit  $c$  bildet, die eine Kugel beim ersten Anstoß erhalten kann. Die Kugeln, welche erst von dem Rahmen berührt werden, wenn er schon der Rückbewegung nahe ist, werden eine kleinere Geschwindigkeit erhalten, so daß die Geschwindigkeitswerte aller Kugeln nach dem ersten Zusammentreffen zwischen  $2\pi r n$  (der Rahmengeschwindigkeit) und Null liegen. Durch die Reibung an der Luft und an der Glasplatte, durch Verwandlung eines Teiles der fortschreitenden Bewegung in Drehbewegung und besonders durch die nicht vollkommene Elastizität der Kugeln, wird diese Geschwindigkeit noch weiter vermindert, wie man es beobachten kann, wenn der Rahmen plötzlich stillsteht.

Angenommen, die Rahmengeschwindigkeit sei sehr klein (oder der Rahmen sei sehr groß). Dann werden die Teilchen schon nach den ersten Zusammenstößen durch die Reibung usw. ihre Geschwindigkeit verlieren, und die getroffenen Kugeln erst recht. Die Teilchen werden sich von dem Rahmen etwas fortbewegen und dann zur Ruhe kommen, bevor sie selbst oder andere von ihnen getroffene, die gegenüberliegende Wand erreichen. Trotz der Rahmenbewegung wird die mittlere Teilchengeschwindigkeit gleich Null sein. Bei meinem Apparat war das der Fall, solange die Rahmengeschwindigkeit kleiner war als 30 cm/sec. Auch wenn man die Kugeln durch Anstoßen mit der Hand erst in Bewegung brachte, kamen sie nach einiger Zeit von selbst wieder zur Ruhe. Bei 40 cm/sec Rahmengeschwindigkeit blieb die Bewegung der Kugeln im Gange, aber es lag doch meist ein beträchtlicher Teil der Kugeln bewegungslos da. Aus dieser Tatsache erhellt schon, daß die mittlere Teilchengeschwindigkeit schließlich schneller abnimmt, als die Rahmengeschwindigkeit, daß man also Proportionalität derselben nur für hinreichend große Geschwindigkeiten erwarten darf. Andererseits ist es auch nicht gut, die Geschwindigkeit zu groß zu wählen, da alsdann besonders kleine Kugeln zu hüpfen anfangen und schließlich einzelne aus dem Rahmen herausspringen. Praktisch ist man deshalb auf Geschwindigkeiten zwischen 50 und 100 cm/sec beschränkt. Da ist es für die Brauchbarkeit des Modells wichtig, zu wissen, ob wenigstens in diesem Bereich die mittlere Teilchengeschwindigkeit der Rahmengeschwindigkeit proportional ist.

Der Rahmen wurde in Bewegung gesetzt und nach Eintritt des stationären Zustandes senkrecht von oben photographiert, bei einer Belichtung von etwa 0,3 Sekunden. Die Platte lag im vollen Sonnenlicht, so daß an den Kugeln feine Sonnenbildchen gebildet wurden, die sich dann bei der Bewegung als scharfe, sehr helle Linien aufzeichneten. Ein mitabgebildeter Maßstab ließ die Länge des von jedem Teilchen zurückgelegten Weges in Zentimetern ermitteln. Außerdem beschrieben auf dem Rahmen befestigte helle Marken Kreisstücke, welche unabhängig von dem Momentverschluß des photographischen Apparates zur genauen Kenntnis der Zeit führten, da man die Zeit einer vollen Drehung kannte. So wurden durch Ausmessen die

Geschwindigkeiten sämtlicher Kugeln in absolutem Maß gefunden. (Außerdem sah man auf den Platten Beispiele von Zusammenstößen und freien Weglängen.) Fig. 3

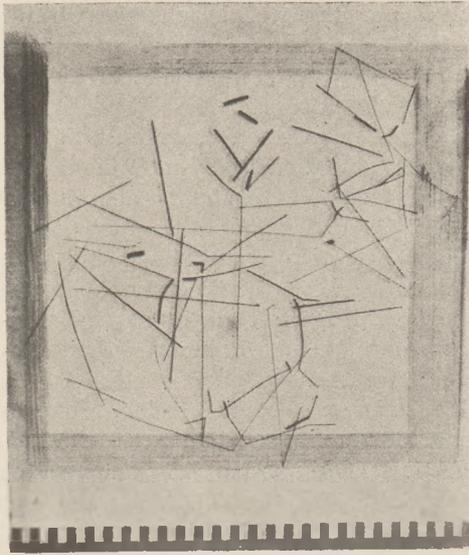


Fig. 3.

gibt eine solche Aufnahme wieder. Da jetzt manche Schüler photographieren und die Aufnahmen mit jedem kleinen Apparat gemacht werden können, der mit Momentverschluß ausgerüstet ist, so ist dies eine sehr anregende und nicht zu schwere Übung. Man muß nur Sorge tragen, daß die Glasplatte schwarzen Hintergrund hat und daß auch kein Spiegelbild von hellen Wänden oder Stellen des Himmels entsteht.

Zunächst also handelt es sich darum, ob die Geschwindigkeit der einzelnen Teilchen der Rahmengeschwindigkeit proportional ist. Zu dem Zwecke wurden nur drei Kugeln in den Rahmen gebracht, dann waren Zusammenstöße so selten, daß sie das Resultat nicht stören konnten. Um Mittelwerte bilden zu können, wurde dreimal mit derselben Zeitdauer belichtet, so daß sich auf der Platte neun Striche vorfanden zur Ermittlung der mittleren Geschwindigkeit. Solcher Auf-

nahmen wurden drei gemacht, entsprechend den Rahmengeschwindigkeiten 47,2, 56,5 und 78,2 cm/sec. Die Platten wurden mit einem Millimeter-Maß ausgemessen und für jede Platte das Mittel gebildet. Es ergab sich

die Rahmengeschwindigkeit	$v = 47,2$	56,5	78,2 cm/sec.
die Kugelgeschwindigkeit	$c = 26$	30,5	43,7 "
das Verhältnis	$v/c = 1,81$	1,85	1,79 "

also mit Rücksicht auf die sehr geringe Zahl von Beobachtungen, aus denen die mittlere Geschwindigkeit errechnet war, befriedigend konstant. Man kann daher in dem bezeichneten Bereich die Teilchengeschwindigkeit einfach der Rahmengeschwindigkeit proportional setzen.

Um nun die Abhängigkeit der Stoßzahl eines Teilchens von der Geschwindigkeit zu ermitteln, wurde ein Teilchen in den Rahmen gebracht und für die verschiedenen Rahmengeschwindigkeiten mit der Stoppuhr die Zeit bestimmt, in der die Kugel je 100 mal auf den Rahmen stieß. Bei den kleineren Geschwindigkeiten konnten alle Stöße (an alle vier Seiten des Rahmens) gezählt werden, bei den größeren wurde die Zahl zu groß und darum die Zählung unsicher. Es wurde dann die Zeit für 100 Stöße auf eine der vier gleichen Seiten bestimmt und zum Vergleich mit den anderen durch vier dividiert. Ist  $v$  die Rahmengeschwindigkeit und  $T$  die mittlere Zeit für 100 Stöße, so muß dann  $v \times T$  konstant sein.  $v$  ergab sich aus dem Halbmesser  $r$  und der Zahl der Kreisungen in der Sekunde zu  $v = 2\pi r n$ . Die Beobachtung ergab folgendes Resultat aus fünf solchen Versuchen

$n = 2$	2,5	3	4,15
$v = 37,7$	47,2	56,5	78,2
$T = 74$	58,2	48,0	35,0
$v \times T = 2780$	2750	2720	2740

Wie die Tabelle zeigt, weichen schon bei dieser verhältnismäßig geringen Zahl von 500 beobachteten Stößen, der größte und der kleinste erhaltene Wert nur um 2% voneinander ab. Damit ist zunächst bewiesen, daß in dem benutzten Bereich

die Stoßzahl eines Teilchens der Geschwindigkeit des Rahmens proportional ist. Da aber nach dem Vorhergehenden die Geschwindigkeit der Kugeln der Geschwindigkeit des Rahmens proportional ist, so folgt auch Proportionalität mit der Geschwindigkeit der Kugeln. Und damit ist dieser zweite Punkt bestätigt.

Der dritte Schritt soll zeigen, daß die Gesamtzahl der Stöße der Gesamtzahl aller Teilchen proportional ist. Das könnte auf den ersten Blick so selbstverständlich erscheinen, daß eine Bestätigung durch den Versuch kaum notwendig wäre. Selbstverständlich ist diese Beziehung aber keineswegs. Wenn die Teilchen, ohne sich gegenseitig zu stören oder zu beeinflussen, in dem Raum herumgeschleudert würden, wäre die Proportionalität allerdings selbstverständlich. Das ist aber nicht der Fall, nach ganz kurzen Strecken stoßen sie mit anderen zusammen. Einige werden sehr oft, andere weniger häufig und die Teilchen in der Mitte eines großen Gasraumes längere Zeit gar nicht an die Wand stoßen. Daß trotzdem die Zahl der Stöße an die Wände der Zahl aller Teilchen im ganzen Gasraum proportional sein soll, ist so wenig selbstverständlich, daß die nachträgliche Bestätigung am Modell vielleicht manches Fragezeichen wird beseitigen müssen. Zwar versucht die Theorie mit dem Hinweis auf den Austausch der Geschwindigkeiten beim geraden zentralen Stoß elastischer Körper den Beweis, daß die Bewegung wenigstens so erfolge, „als ob“ die Teilchen, ohne sich zu stören, durcheinander hindurchgingen, allein der Augenschein am Modell lehrt (vgl. Fig. 3), daß solche gerade zentrale Stöße recht selten sind, daß jedenfalls die schiefen weitaus überwiegen. Je weniger alle diese Umstände theoretisch behandelt werden können, und das ist wohl nur äußerst selten und ausnahmsweise bei sehr vorgeschrittenen Zuhörern der Fall, desto mehr wird eine Bestätigung durch das Modell willkommen sein.

Die Bestätigung wurde in der Weise versucht, daß eine verschiedene Anzahl Moleküle in den „Gasraum“ gebracht und mittels einer Stoppuhr die Zeitdauer bestimmt wurde, bis 100 Glockenschläge erfolgt waren. Diese Zeit ist um so größer, je kleiner die Zahl der Kugeln ist, so daß das Produkt aus beiden Zahlen konstant sein muß. Um für geringe Molekülzahlen die Beobachtungszeit abzukürzen, wurde vorübergehend noch eine zweite Glocke mit größerer Oberfläche in den Rahmen eingebaut. Es ergab sich folgendes:

Molekülzahl	$N = 4$	8	16	32
Zeit für 100 Stöße	$T = 1100$	549	292	177
	$NT = 4400$	4390	4670	5660

Der Versuch zeigt, daß die Werte  $NT$  nur bei kleiner Molekülzahl konstant sind und dann beständig anwachsen. In der Tat wird bei jedem Zusammenstoß wegen der nicht vollkommenen Elastizität der Kugeln ein Teil der fortschreitenden Energie in Wärme und außerdem ein Teil in Rotationsenergie verwandelt. Beide Umstände bewirken, daß auch bei konstanter Rahmengeschwindigkeit die mittlere Geschwindigkeit der Teilchen um so mehr sinkt, je zahlreicher die Teilchen sind<sup>1)</sup>. Diese Folgerung muß sich nun ebenfalls durch die Photographie bestätigen lassen. Es wurden bei konstanter Rahmengeschwindigkeit drei Aufnahmen gemacht, alle mit der gleichen Belichtungsdauer, und die Bahnen der Teilchen gemessen, wenn einmal 20, einmal 40 und einmal 80 in dem Rahmen waren. Diese

<sup>1)</sup> Wenn man will und das Alter der Schüler es gestattet, kann man diese Abweichung von dem strengen Gesetz zum Ausgangspunkt nehmen, um über die Van t'Hoff'sche Formel zu sprechen, Wenn auch die Art der Einwirkung der Kugeln aufeinander hier eine ganz andere ist, als bei den wirklichen Gasen, so ist doch der Vorgang insofern ein ähnlicher, als die Voraussetzung, daß die Teilchen sich gegenseitig nicht stören sollen, oder genauer gesagt, daß die Zusammenstöße sich restlos nach den Gesetzen des vollkommen elastischen Stoßes abspielen, in beiden Fällen nicht erfüllt ist.

Bahnen verhalten sich wie die Geschwindigkeiten. Die mittlere Bahn ist der mittleren Geschwindigkeit proportional. Die Ausmessung der Platten ergab folgende mittlere Geschwindigkeiten.

Zahl der Kugeln	$N = 20$	40	80
Mittlere Geschwindigkeit	$c = 60$	40	24 cm/sec.

Es geht aus den Aufnahmen hervor, daß die Kugeln, wenn sie zu dicht liegen, sich gegenseitig stören und die mittlere Geschwindigkeit herabdrücken, auch hierin den Molekülen in einem Gas von größerer Dichte ähnlich. Deshalb wäre hier der geeignete Augenblick, den Schülern einmal eine Vorstellung davon zu verschaffen, welche Kugelzahl etwa dem Zustand unserer Atmosphäre bei  $0^0$  und 76 cm Druck entsprechen würde. Da der Durchmesser eines Luftmoleküls  $5 \times 10^{-7}$  mm, der mittlere Abstand  $4 \times 10^{-6}$  mm, also 8 Durchmesser beträgt, so würde bei einem Durchmesser der Kugeln von 1 cm auf  $8 \times 8 = 64$  cm<sup>2</sup> eine Kugel kommen. Bei einer Rahmengröße von  $40 \times 40$  cm<sup>2</sup> = 1600 cm<sup>2</sup> müßten also genau 25 Kugeln in dem Rahmen sein, wenn die Dichte derjenigen unserer Atmosphäre bei  $0^0$  und 76 cm Druck vergleichbar sein sollte. Der Rahmen stellt also nur einen außerordentlich kleinen Teil des Gasraumes dar, den er allerdings  $20 \times 10^6$  mal linear vergrößert. Seine Kantenlänge von 40 cm entspricht in der Natur der Länge  $2 \times 10^{-5}$  mm.

Man mag sich schließlich zu der Einführung der VAN T'HOFFSchen Formel stellen, wie man will und wie es dem Fassungsvermögen der Schüler entspricht, die Hauptsache bleibt, daß den Schülern zum Bewußtsein gebracht wird, daß es hier mit dem mechanischen Multiplizieren der Stoßzahl eines Moleküls mit der Zahl  $\frac{N}{3}$  nicht getan ist, daß vielmehr das Multiplizieren nur dann einen Sinn hat, wenn die Moleküle sich in ihrer Bewegung gegenseitig nicht hemmen.

### III.

#### Folgerungen aus der Grundgleichung.

Temperatur und Molekelgeschwindigkeit. Aus dem Vorstehenden ergibt sich ein doppelter Einfluß der Molekelgeschwindigkeit auf den Gasdruck. Zunächst ist der Impuls  $2mc$  beim Einzelstoß der Geschwindigkeit  $c$  proportional, wie aus den Stoßgesetzen hervorgeht und der Versuch mit den Schrotkörnern bestätigt. (Auch das Modell deutet durch die viel lautereren Glockenschläge bei größeren Geschwindigkeiten die stärkeren Impulse an.) Dann aber ist auch die Zahl der Stöße der Geschwindigkeit proportional, wie das Modell bestätigt. (Der Versuch ist im vorigen schon gemacht, als die Proportionalität der Glockenschläge mit  $\frac{c}{2a}$  geprüft wurde.) Daraus ergibt sich, daß der Gasdruck mit dem Quadrate der Geschwindigkeit sich ändert. Und da wir nun beim Gasthermometer die Temperatur durch den Gasdruck messen und ihm proportional setzen, so bestätigt das Modell auch, daß die Temperatur mit dem Quadrate der Teilchengeschwindigkeit proportional ist.

Der schwierigste Punkt der kinetischen Gastheorie ist ohne Zweifel der Satz von der Energiegleichheit der Moleküle verschiedener Gase bei derselben Temperatur:  $m_1 c_1^2 = m_2 c_2^2$ . Darauf beruht dann die Verschiedenheit der Diffusionsgeschwindigkeiten zweier Gase, die mit  $c_1$  und  $c_2$  proportional angenommen werden und also auch  $\sqrt{m_2}$  und  $\sqrt{m_1}$  proportional sein müssen. MINNAERT will dieses Gesetz an dem Modell auch quantitativ bestätigt gefunden haben. Ich konnte seine Resultate an dem meinigen nicht bestätigen. Namentlich bei den von MINNAERT unter 10. beschriebenen Versuchen, wo große Kugeln in der einen Hälfte des Rahmens von kleineren in der anderen Hälfte durch einen Querstab getrennt sind und dann

durch eine Öffnung von 3 cm in diesem Stab „diffundieren“, ist es auch nicht einzusehen, woher die kleineren Teilchen die größere Geschwindigkeit haben sollen, da sie ja nur mit dem Rahmen und außerdem beiderseits mit gleich großen Kugeln zusammenstoßen. Wegen der großen Bedeutung dieses Gesetzes für die kinetische Gastheorie schien es mir nicht nutzlos, die Frage genauer zu untersuchen, ob für das Kugelmodell das Gesetz  $m_1 c_1^2 = m_2 c_2^2$  erhalten bleibt.

Zunächst wurde (um die Versuchsbedingungen von MINNAERT unter 10. herzustellen) der Rahmen durch einen Stab in zwei Hälften geteilt und in die eine Hälfte wurden 30 Kugeln von 9,5 mm Durchmesser zu 3,48 g, in die andere 30 Kugeln von 5,5 mm Durchmesser zu 0,693 g gebracht. Also war  $m_1/m_2 = 5$ . Dann wurde der Rahmen durch einen kleinen Motor in Bewegung gebracht und bei einer Belichtungszeit von 0,3 Sekunden photographiert. Es wurde alles ausgemessen und das Mittel gebildet. Es ergab sich für die großen Kugeln die mittlere Geschwindigkeit proportional mit  $c_1 = 34,4$  cm/sec, für die kleineren mit  $c_2 = 42,0$  cm/sec, folglich  $c_2 : c_1 = 1,22$  und  $c_2^2 : c_1^2 = 1,50$ , während  $m_1 : m_2 = 5$  war. Die Geschwindigkeit der kleineren Kugeln ist nicht in dem Verhältnis vergrößert, wie das Gesetz es verlangt.

Hier ist die Stelle, wo es sich rächt, daß in dem Modell alle Kugeln durch den Stoß von dem als Ganzes bewegten Rahmen und nicht, wie in der Wirklichkeit durch elastische Zusammenstöße mit den einzelnen, ebenfalls schwingenden Molekülen der Wände bewegt werden. Und noch ein zweiter Unterschied muß sich hier geltend machen, nämlich daß die Kugeln zwischen zwei Zusammenstößen keine „freie Weglänge“ haben, sondern mit Reibung über eine Platte rollen. Der Reibungswiderstand muß die Geschwindigkeit der kleineren Kugeln verhältnismäßig stärker vermindern, als die der größeren.

Es bliebe noch die Frage, ob das Gesetz  $m_1 c_1^2 = m_2 c_2^2$  wenigstens in dem Falle sich am Modell bestätigen ließe, daß die Kugeln alle in demselben Gasraum sind und ihre Geschwindigkeiten sich teilweise durch Zusammenstoß zwischen ungleichen Kugeln bestimmen. Der Versuch einer experimentellen Bestimmung durch Momentphotographie scheiterte anfangs daran, daß man nachher die Spuren der großen Kugeln von denjenigen der kleinen nicht, wenigstens nicht mit Sicherheit, unterscheiden konnte. Nach längerer Beschäftigung mit dem Gegenstand gelang es aber doch, da die Spuren der Kugeln nicht einfache Striche sind, sondern aus einer Hauptlinie und zwei bis vier Nebenlinien bestehen, die je nach der Größe der Kugeln verschieden weit voneinander abstehen, aber auch bei diesen Versuchen war die Geschwindigkeit der kleinen Kugeln nicht in dem Verhältnis größer, als es das in Rede stehende Gasgesetz verlangt. Das Modell kann daher zur quantitativen Bestätigung des Gesetzes von der gleichmäßigen Verteilung der Energie in einem Gasraum und der damit gegebenen Diffusionsgeschwindigkeiten nicht herangezogen werden.

Wegen der übrigen Anwendungen des Apparates zur Darstellung der Druckabnahme mit der Höhe in der Atmosphäre, der Brownschen Molekularbewegung, des zweiten Hauptsatzes, der Dissoziation sei auf die schönen Versuche von MINNAERT verwiesen.

Bei der Herstellung des Apparates hat mich Herr Mechaniker Ph. Rodermund in dankenswerter Weise unterstützt<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Die Firma Leybolds Nachfolger, Köln, hat die Herstellung des Modells für Unterrichtszwecke übernommen. Bei Bestellung ist anzugeben, ob der Apparat von Hand oder von einem Motor betrieben werden soll (Tourenzahl!).

## Schulversuche mit Torsionspendeln.

Von Prof. E. Hensel in Villingen i. B. (R. G. mit O. R.).

Dem Torsionspendel wird im Unterricht leider noch zu wenig Beachtung geschenkt. Wenn überhaupt, wird es nur beiläufig behandelt, und messende Versuche gehören zu den Seltenheiten. Nach Durchnahme der Lehre vom Trägheitsmoment und des physischen Pendels liegt aber der Gedanke nahe, auch das Torsionspendel in den Bereich der Betrachtung zu ziehen, und namentlich in Verbindung mit den jetzt überall eingeführten Schülerübungen könnte diesem Gegenstand sehr wohl eine Stelle im Jahrespensum eingeräumt werden.

Ich habe eine Anzahl derartiger Versuche angestellt und auch von Schülern anstellen lassen. Zuerst nur als ein „Versuch“ gedacht, sind sie durch den besonderen Reiz, den sie auf Lehrer und Schüler gleichermaßen ausüben, mit der Zeit ein bleibender Bestandteil des Unterrichts in der obersten Klasse unserer Anstalt geworden. Sie geben inhaltlich nichts wesentlich Neues. Doch könnte die Art ihrer Ausführung, vor allem mit den einfachen Mitteln, wie sie mir hier zu Gebote stehen, immerhin interessieren und zur Wiederholung anregen, weshalb ich sie beschreiben will.

Nach gründlicher experimenteller und theoretischer Einführung des Gegenstandes, die aber hier übergangen werden soll, wird der wichtigste Versuch der sein, zu zeigen, daß auch das Torsionspendel isochrone Schwingungen ausführt für beliebige Elongationen innerhalb der Elastizitätsgrenze des verwendeten Drahtes. Aus dieser Beobachtung schließt man, daß den Elongationen die die Torsion verursachenden elastischen Kräfte proportional seien. Man kann, wenn man will, diesen Zusammenhang durch einen „Vergleichsversuch“ erläutern, den ich der Beschreibung der eigentlichen Versuche vorausschicken will. Ich benütze dazu den bekannten Ring- oder „Krinolinen“-Apparat von FR. C. G. MÜLLER, und zwar die einfachere, zur Selbstanfertigung geeignete Form (*ds. Zeitschr.* 8, 194 ff.), an der ich eine geringfügige Änderung vorgenommen habe. Das an dem Röllchen wirksame, einfache Drehungsmoment ist nämlich ersetzt durch das eines Kräftepaars, indem der Ansatzstelle des Fadens genau gegenüber ein zweiter Faden befestigt ist. An den Enden der Fäden, die über zwei mit möglichst wenig Reibung laufende Rollen gelegt sind, hängen gleiche Gewichte (nebst Reibungsgewichten) von 1,2 bzw. mehreren Gramm. Wird der Apparat in Drehung versetzt, so daß sich beide Fäden aufwickeln, so wirkt beim Abwickeln ein Kräftepaar, das je nach Belastung verdoppelt und vervielfacht werden kann. Im einzelnen hat man folgendes zu beachten:

1. Man gibt dem Apparat, nachdem man die Fäden mit je 1 g nebst Reibungsgewicht belastet hat, eine volle Umdrehung und überläßt ihn dann sich selbst.
- 2) Man mißt die Zeit vom Beginn der letzteren Bewegung bis zum Durchgang durch die Gleichgewichtslage, oder auch bis zur Umkehr der Bewegung.
3. Man wiederholt den Versuch in der Weise, daß man dem Apparat zwei und mehr volle Umdrehungen gibt, aber gleichzeitig auch das Kräftepaar verdoppelt bzw. vervielfacht.

Man findet jedesmal die gleiche Zeitdauer für den Ablauf der Bewegung und damit den Satz, daß das Drehungsmoment des Kräftepaars proportional der Anzahl der Umdrehungen, oder daß die Schwingungsdauer des Pendels — als solches kann man ja den Apparat in gewissem Sinne ansprechen — unabhängig ist von der Anzahl der Umdrehungen (von der Größe der „Elongation“). Dieser Vergleichsversuch hinkt wie jeder Vergleich, insofern, als das Drehungsmoment des Kräftepaars während der Dauer der Drehung konstant bleibt und nur kurz vor und nach dem Passieren der Gleichgewichtslage sich ändert. Die Schüler sind auf diese Inkongruenz, die den Wert des Versuchs nicht herabsetzt, natürlich hinzuweisen. Sie ist offenbar auch der Grund, weshalb die im folgenden abge-

leitete „Schwingsformel“ nicht ganz identisch ist mit der für die Torsionsschwingungen selbst. Ist nämlich  $\delta$  das Drehungsmoment am Röllchen bei einer ganzen Umdrehung und 1 g Belastung,  $n$  die Anzahl der Umdrehungen,  $\mathfrak{M}$  das Trägheitsmoment des ganzen Systems, dann ist ganz allgemein die Winkelbeschleunigung  $\beta = \text{Drehungsmoment} : \text{Trägheitsmoment} = D/\mathfrak{M} = n\delta/\mathfrak{M}$  und die Bahnbeschleunigung  $b = r n \delta / \mathfrak{M}$ . Andererseits ist  $b = 2s/T^2$  und  $s = n \cdot 2r\pi$ . Hieraus ergibt sich die „Schwingsformel“  $T = 2\sqrt{\pi \mathfrak{M}/\delta}$ . Die Versuche wurden ausgeführt einmal mit einem Drahring (Stärke 4 mm) von 28 cm Radius, ein anderes Mal mit einem zu einem Quadrat gebogenen, ebenso starken Draht von der Seitenlänge 40 cm. Die Drehungsachse ging in beiden Fällen durch den Schwerpunkt und senkrecht zur Ebene des sich drehenden Körpers. Für den Ring ist  $\mathfrak{M} = Mr^2$ . Sein Gewicht war 172,35 g. Der Durchmesser des Röllchens war 2 cm, die bewegende Kraft  $n \cdot 1$  g, so daß  $n\delta = 2n$ . Resultat:  $T = 29,43^{\circ}$ . Für das Quadrat:  $\mathfrak{M} = \frac{1}{3} Ml^2$ , Gewicht 88,75 g,  $T = 17,42^{\circ}$ . Die Versuche bestätigten die Ergebnisse der Rechnung durchaus befriedigend.

Die nunmehr folgenden eigentlichen Versuche sind in drei Gruppen eingeteilt. Sie könnten alle an einem und demselben Pendel ausgeführt werden. Zur Vermeidung zu großer Einförmigkeit und auch aus anderen Gründen ist es jedoch ratsam, jedesmal ein anders gestaltetes Pendel zu verwenden. Die Anschaffungskosten erhöhen sich dadurch, wie man noch sehen wird, nur unwesentlich. Das erste Pendel soll der Untersuchung des Torsionsmomentes dienen. Mit dem zweiten soll eine Berechnung des Torsionskoeffizienten einer bestimmten Stahlsorte durchgeführt werden. Mit dem dritten endlich möge das Trägheitsmoment eines Körpers ermittelt werden, dessen Form es nicht gestattet, es unmittelbar zu errechnen.

1. Versuch. Als Pendelkörper sei ein Gewichtsstück von zylindrischer Form gewählt, etwa ein solches, wie es von WEINHOLD bei seinen Versuchen mit dem Monochord gebraucht wird (*W. D. 5. Aufl. S. 304*). Aber auch jeder andere schwere Körper von beliebiger Form eignet sich dazu. Es ist nur nötig (s. Fig. 1), in den Pendelkörper eine kräftige Schraube mit Kopf einzulassen. In letzterem steckt ein etwa 1,5 mm starker Stift zur Aufnahme einer Klemme, in der das eine Ende der Torsionsdrähte befestigt werden kann. Das andere Ende steckt im Torsionskopf fest, der an der Decke des Lehrzimmers angebracht ist. Als solcher dient wiederum eine Klemme, die mit einem Stück Bandeisen verlötet ist. Letzteres wird fest an der Decke verschraubt.

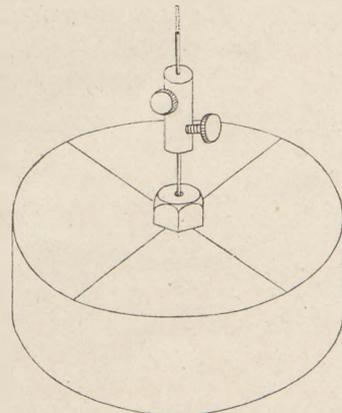


Fig. 1.

Um zunächst zu zeigen, daß die Schwingungsdauer unabhängig ist vom Torsionswinkel, klemmt man zwischen beide Klemmen einen Draht von beliebiger Länge und Beschaffenheit ein. Auf der Oberseite des Pendelkörpers zeigt die Figur zwei zueinander senkrecht stehende, leicht eingritzte Durchmesser. Man fixiert die Ruhestellung des Pendels in der Weise, daß man der einen dieser Linien genau gegenüber die Schneide eines in einem Stativ festgehaltenen Messers oder sonst einen als Marke dienenden Gegenstand stellt. Hierauf verdrille man das Pendel nacheinander um 90, 180, . . . Grad und stelle mit der Steckuhr die Dauer etwa von fünf ganzen Schwingungen fest. Man wird für alle Verdrillungen dieselbe Schwingungsdauer finden. Die Pendelformel lautet, übereinstimmend mit der für das physische Pendel überhaupt,  $T = 2\pi\sqrt{\mathfrak{M}/d}$ , worin  $d$  das auf die Einheit des Torsionswinkels bezogene Torsionsmoment darstellt. Es ist  $d = f \cdot r^4/l$ . Hierin ist  $l$  die Drahtlänge,  $r$  der Querschnittshalbmesser und  $f$  der Torsionskoeffizient, der den Einfluß des Materials auf die

Schwingungsdauer darstellt. Zur empirischen Prüfung dieses Ausdruckes für  $d$  wähle man verschiedene, in der folgenden Tabelle näher gekennzeichnete Drähte bei stets gleichem Pendelkörper. Das Trägheitsmoment des Pendels (dasjenige des Drahtes und der unteren Klemme kann vernachlässigt werden) ist demnach konstant, und die Schwingungsdauer hängt lediglich ab vom Torsionsmoment bzw. den dieses bestimmenden Größen.

Material	$l$	$2r$	$T$
a) Stahl . . . .	218 cm	1,5 mm	4,5 Sek.
b) „ . . . .	218 „	0,75 „	18,22 „
c) „ . . . .	109 „	1,5 „	3,2 „
d) „ . . . .	218 „	1 „	9,76 „
e) Messing . . .	218 „	1 „	14,76 „

Vergleicht man die erhaltenen Werte für  $T$  miteinander, so ist  $T_a : T_b = 1 : 4,05$  ( $\sim 4$ ),  $T_c : T_a = 1 : \sqrt{2}$ .  $T_d : T_e$  zeigt den Einfluß des Materials.

2. Versuch. Im vorigen wurde der Torsionskoeffizient nur qualitativ eingeführt. Es soll nun diese Größe für eine bestimmte Stahlsorte gemessen werden. Hierzu verwende ich das Foucaultsche Pendel in der von WEINHOLD vorgeschriebenen Ausführung. Dieses oder ein solches ähnlicher Konstruktion wird wohl in jeder Schulsammlung vorhanden sein. Nach den Angaben von WÜLLNER (*Experim. Physik*, 5. Aufl. I, S. 249), die sich auf die Untersuchungen von COULOMB stützen, bringe

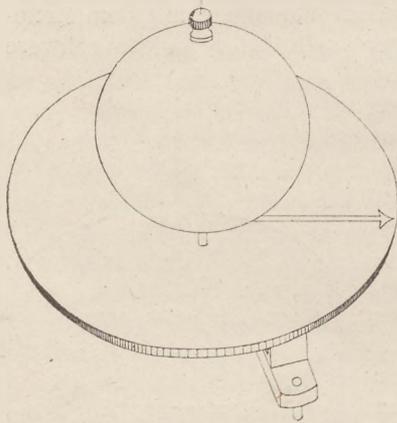


Fig. 2.

man auf der Unterseite der Kugel (Fig. 2) einen 15 cm langen Pfeil aus starkem Papier an, der die Elongationen des Pendels anzeigen soll. Er wird mit der Schraube befestigt, die sonst den die Schwingungsrichtung des Pendels aufzeichnenden Pinsel trägt. Die hierzu nötige, auf dem Boden des Lehrzimmers stehende kreisförmige Platte kann ebenfalls zu unserem Versuch herangezogen werden. Man stellt sie möglichst dicht unter den Pfeil, ihre Mitte genau unter die Pendelachse und versieht sie mit einer Gradeinteilung (in der Figur weggelassen). Die Konstanten des Pendels sind: Gewicht der Kugel  $P = 3740$  g, ihr Radius  $R = 5$  cm. Länge des Drahtes  $l = 330$  cm, der Querschnittsradius  $r = 0,15$  mm. Man zeige auch an diesem Pendel die Konstanz der Schwingungsdauer bei veränderlichem Torsionswinkel. Es wurde für  $T$  gefunden 88 Sek. In

$T = 2\pi\sqrt{\mathfrak{M}/d}$  ist  $\mathfrak{M} = \frac{2}{5}MR^2$ , und somit ergibt sich aus den angegebenen Werten  $d = 0,19435$  gem, bezogen auf  $\varphi = 1$ . Ebenso groß ist auch das Drehmoment, das beispielsweise an der Spitze des Pfeiles wirksam sein müßte, um durch Verdrillung des Drahtes jenes Torsionsmoment hervorzubringen. Die Kraft, die an dieser Stelle angriffe, betrüge demnach 0,01296 g, und es ist klar, daß man es hier mit einem sehr empfindlichen, schwer zu beruhigenden Pendel zu tun hat. Es ist  $f = dl/r^4$ . Da die gebräuchliche Dimension eines Torsionskoeffizienten  $\text{kg/mm}^2$  ist, so findet man für  $f$  den Wert 12667. Der Torsionsmodul  $F = f \cdot 2/\pi$  ergibt sich hieraus zu 8068,1. KOHLRAUSCH (*Prakt. Physik Tab. 20*) gibt für Stahl 8000—8300 an. Es würde zu weit führen, an dieser Stelle denselben Versuch unter veränderten Voraussetzungen zu beschreiben, etwa unter Verwendung einer anderen

Stahlsorte von anderer Dimension, Beschaffenheit usw. Es genügt, auf die reichen Versuchsmöglichkeiten, die hiermit gegeben sind, hingewiesen zu haben. Man vergleiche hierzu auch die Ausführungen FR. C. G. MÜLLERS (*Technik des physikal. Unterrichts*, S. 85).

3. Versuch. Um das Trägheitsmoment eines beliebig geformten Körpers in bezug auf eine Achse durch den Schwerpunkt zu bestimmen, kann man beispielsweise das Gewichtsstück einer Schwarzwälder Uhr verwenden (Fig. 3). Der Aufhänger ist entfernt, in den Körper ist dafür ein Gewinde eingedreht, mit deren Schraube eine widerstandsfähige Holzleiste von 50 cm Länge und 3 cm Breite befestigt werden kann. Diese trägt zu beiden Seiten in den Entfernungen 10 und 20 cm Holzstifte zum Aufsetzen von 50 g-Bleiplättchen von zylindrischer Form, wie sie bei Hebelversuchen vielfach Verwendung finden. Am entgegengesetzten Ende des Gewichtsstückes ist ein Stift eingeschlagen, der wieder mit einer Verbindungsklemme versehen ist. Nach KOHLRAUSCH (*Prakt. Physik Nr. 29, II*) lasse man den Körper um einen beliebigen Draht schwingen, einmal ohne, dann mit Belastung und bestimme die jeweilige Schwingungsdauer. Ist dann  $\mathfrak{M}$  das Trägheitsmoment des Gewichtsstückes,  $\mathfrak{M}'$  das der Belastung,  $T$  bzw.  $T'$  die Schwingungsdauer, dann hat man nach einer bekannten Formel  $\mathfrak{M} = \mathfrak{M}' T'^2 / (T'^2 - T^2)$ . Das Trägheitsmoment der aufgesetzten Bleiplättchen bestimmt man in der Weise, daß man zunächst dasjenige um die eigene Schwerpunktsachse berechnet, also  $\mathfrak{M}_s = \frac{1}{2} m r^2$ , und dann jenes um die Hauptschwingungsachse, wobei  $\mathfrak{M}_0 = \mathfrak{M}_s + m d^2$ .  $d$  ist der Abstand beider Achsen. Hinzu kommt noch das Trägheitsmoment der 50,7 g schweren Holzleiste  $\mathfrak{M}_1 = \frac{1}{12} m_1 (a^2 + b^2)$ , so daß  $\mathfrak{M}' = \mathfrak{M}_0 + \mathfrak{M}_1$ . Die folgende Versuchstabelle gibt die Zahlenwerte für das gesuchte Trägheitsmoment unter mehrfach geänderten Bedingungen.

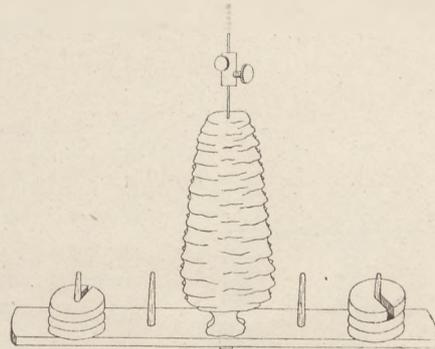


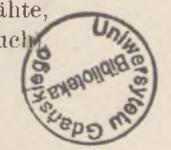
Fig. 3.

Material	Dimension des Drahtes		Gewicht der Belastung	Abstand	$\mathfrak{M}'$	$T$	$T'$	$\mathfrak{M}$
	$l$	$2r$						
Stahl . . .	218 cm	0,75 mm	je 150 g	10 cm	32,2	5,92 Sek.	13,4	9,83
" . . .	218 "	0,75 "	" 250 "	10 "	53	5,92 "	15,54	8,997
Messing . .	218 "	1 "	" 150 "	20 "	123,91	4,76 "	17,8	9,54

Der Mittelwert für  $\mathfrak{M}$  ist hieraus 9,456.

Im Anschluß hieran sei noch eines Pendels Erwähnung getan, das der Unruhe einer Taschenuhr nachgebildet ist, und das erlaubt, ähnliche Versuche wie die oben beschriebenen vorzuführen. Fig. 4 zeigt den Apparat, der, wenn nötig, unter Beihilfe eines Mechanikers ohne große Kosten hergestellt werden kann, aus Materialien, die wohl zum größten Teil vorhanden sein dürften. Er kann als Seitenstück zu dem von HARTL (*ds. Zeitschr. XVII, S. 353*) konstruierten Torsionspendel betrachtet werden.

Eine etwa 30 cm lange und 10 mm starke Eisenstange dient als Achse. Sie besitzt an beiden Enden gut gehärtete Spitzen, die sich in kleinen Vertiefungen zweier Lager mit möglichst geringer Reibung drehen. Durch die Achse gehen in gleicher Höhe zwei je 40 cm lange, 4 mm starke, rechtwinklig zueinander stehende Eisendrähte, deren Enden jeweils 50 g schwere Bleischeiben tragen (wie beim vorigen Versuch).



Etwas unterhalb dieser Drähte ist endlich das innere Ende einer Spiralfeder angeschraubt. Das freie Ende derselben, sowie die beiden Lager sind irgendwie an Stativen befestigt. Die Spiralfeder soll möglichst lang, dünn und leicht sein. Mit diesem Apparat kann man folgende Versuche ausführen:

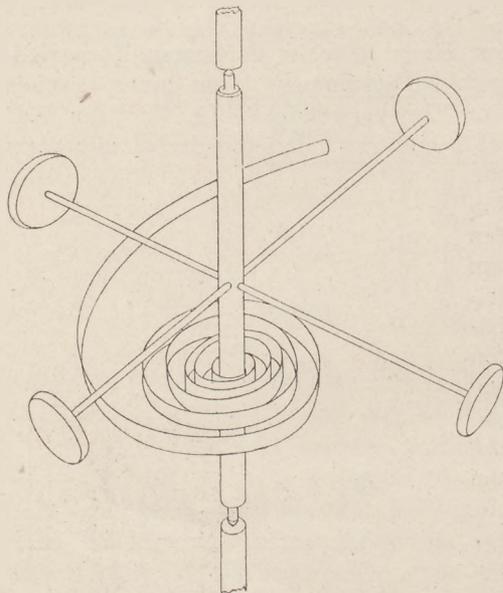


Fig. 4.

1. Man stellt das äußere Ende der Spiralfeder fest und ermittelt die Schwingungsdauer des Pendels für verschiedene Elongationen. Es ergeben sich auch hier isochrone Schwingungen.

2. Man verändert die Federlänge dadurch, daß man den Feststellpunkt mehrfach verschiebt und ermittelt die jeweilige Schwingungsdauer. Dies entspricht dem Regulieren des Ganges der Taschenuhr.

3. Bestimmung des Trägheitsmomentes des Apparates. Der Versuch 1 wird hierbei zugrunde gelegt. Hierauf legt man auf die gekreuzten Drähte nacheinander und konachsal mit dem Apparat einen Drahring, eine kreisförmig und eine quadratisch zugeschnittene Blechscheibe und bestimmt jedesmal die neue Schwingungsdauer. Da die Trägheitsmomente dieser

drei Auflagekörper leicht ermittelt werden können, ergibt sich mit der weiter oben gebrauchten Formel  $\mathfrak{M} = \mathfrak{M}' T'^2 (T'^2 - T^2)$  dreimal ein Wert für das Trägheitsmoment des Pendels.

Bei einem Versuch hatte man folgende Zahlenwerte:

Auflagekörper	Dimensionen	Gewicht	Trägheitsmoment $\mathfrak{M}'$	Schwingungsdauer des Pendels		Trägheitsmoment des Pendels $\mathfrak{M}$
				ohne Belastung $T$	mit Belastung $T'$	
Ring . . . . .	$r = 14 \text{ cm}, d = 4 \text{ mm}$	86,1 g	$Mr^2 = 17,203$	7,88 Sek.	8,56	95,56
Kreisscheibe . . . . .	$r = 15 \text{ cm}$	429,2 „	$\frac{1}{2} Mr^2 = 49,22$	Desgl.	9,70	95,524
Quadratscheibe . . . . .	15 cm Seitenlänge	538,37 „	$\frac{1}{6} Ml^2 = 82,32$	Desgl.	10,76	95,22

Der Mittelwert ist hieraus 95,43, der natürlich noch beliebig verbessert werden kann, indem man das Verfahren mit noch anderen Auflagekörpern wiederholt.

4. Nimmt man den so ermittelten Wert von jetzt an als gegeben an, dann kann man das Trägheitsmoment anderer, auch beliebig gestalteter Körper berechnen. In der mehrfach benützten Formel ist dann  $\mathfrak{M}'$  die gesuchte Größe.

5. Verschiebt man die Achse der oben verwendeten Auflagekörper parallel zur Pendelachse und bestimmt das neue Trägheitsmoment, so wird der Versuch die Formel  $\mathfrak{M}_0 = \mathfrak{M}_s + Md^2$  bestätigen. Hierbei ist die Verringerung des Trägheitsmomentes der Scheiben, die dadurch entsteht, daß man in dem gewählten Abstand von der Pendelachse eine Öffnung in die Scheiben zum Durchstecken anbringt, verschwindend klein.

## Ein Modell zur Erläuterung der Wasserluftpumpen.

Von Nikolaus Kedves in Budapest.

Die Reibung in den bekannten Wasserluftpumpen und im allgemeinen zwischen bewegten Flüssigkeiten (fließende Gewässer, Wasserfälle) und Luft kann durch folgenden einfachen Apparat anschaulich gemacht werden.

Zwischen zwei gleich großen Glasplatten, deren Länge 24 cm und deren Breite 7 cm beträgt (Fig. 1), werden die gleich breiten Leisten  $AB$ ,  $AC$  und  $DE$  von je 7 mm Breite luftdicht befestigt. Diese gleich breiten Leisten halten die beiden Glasplatten überall in gleicher Entfernung voneinander, die Platten liegen also parallel.

Die Leiste  $AB$  besteht aus zwei Teilen, zwischen beiden ist eine Röhre  $R$  von quadratischem Querschnitt eingesetzt, deren Breite 7 mm beträgt. Bei dem Versuch verbinden wir die Röhre  $R$  mittels Kautschukschlauches mit der Wasserleitung und stellen den Apparat senkrecht.

Wenn wir durch die Röhre einen Wasserstrahl hindurchlassen, so wird derselbe sich an die beiden Glasplatten und an dem unteren Teile der Leiste  $DE$  anlegen, wodurch zwischen den beiden Platten ein ganz umschlossener Raum entsteht, der durch die beiden Glasplatten, durch die Leisten  $AR$ ,  $AD$ ,  $DE$  und den Wasserstrahl umgrenzt ist. Der Wasserstrahl reibt sich nun beiderseits an der Luft und reißt sie mit sich, wodurch die Menge der Luft im umschlossenen Raume  $H$  geringer wird, also Verdünnung und geringerer Druck entsteht. Die auf der äußeren Seite mitgerissene Luft wird von der freien Öffnung aus durch neue ersetzt, infolgedessen bleibt der äußere Druck gleichmäßig. Die Wirkung der Verschiedenheit des Luftdruckes beiderseits des Wasserstrahles sein, daß die Luft an der Außenseite den Wasserstrahl gegen den Raum mit geringerem Drucke preßt ( $p$ ) und der Strahl abgelenkt wird. Je nachdem die Verdünnung im Raume  $H$  sich steigert, biegt sich der Wasserstrahl immer mehr gegen die Leiste  $AD$ , bis er schließlich diese berührt, also wird der Grad der Verdünnung durch die Abbiegung des Wasserstrahles angezeigt, kann aber auch mit dem an der Leiste  $AC$  angewandten Manometer  $M$  abgemessen werden.

Wenn wir die Geschwindigkeit des Wasserstrahles steigern, so wird der Strahl durch den Druck der äußeren Luft zeitweilig durchrissen und es dringt Luft in den Raum  $H$ . Im Falle noch größerer Geschwindigkeit entsteht starke Verdünnung und großer Seitendruck, infolgedessen wird der Wasserstrahl zerstäubt. Das Experiment kann mangels Wasserleitung mit einem Wasserstrahl aus einem in einer Höhe von 2 m angebrachten Gefäße vollführt werden.

Mit dieser Vorrichtung kann anschaulich gemacht werden: 1. das Funktionieren der Wasserluftpumpe, 2. der Seitendruck der Luft, 3. die Bahn eines Wasserstrahles, der sich unter Einwirkung von zwei aufeinander rechtwinkligen Kräften bewegt.

Obige Erscheinungen können auch durch Anwendung von zwei Wasserstrahlen hervorgebracht werden, deren Zusammenstellung die folgende ist (Fig. 2). Zwischen zwei Glasplatten gleicher Größe wird die Leiste  $AB$  befestigt, die aus drei

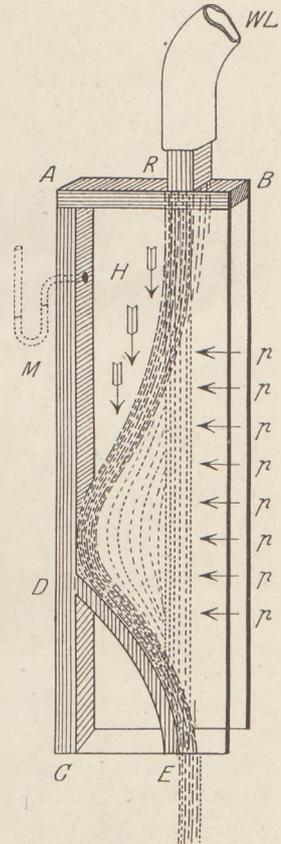


Fig. 1.

Teilen besteht; zwischen den Teilen sind die quadratischen Röhren  $R$  und  $R$  2 cm weit voneinander angebracht.

Zwischen den Platten ist unten das Hindernis  $C$  in Gestalt eines  $A$  befestigt, dessen Breite unten 2,5 cm beträgt. Der Apparat wird in senkrechter Lage gehalten und mit Hilfe einer Wasserverteilungsröhre durch beide Röhren ein Wasserstrahl hindurchgelassen. Die Strahlen reiben sich am unteren Teil des Hindernisses  $C$  und infolgedessen erhalten wir einen eingeschlossenen Raum  $H$ , welcher von den beiden Glasplatten, der Leiste  $AB$ , dem Hindernis  $C$  und den zwei Wasserstrahlen begrenzt

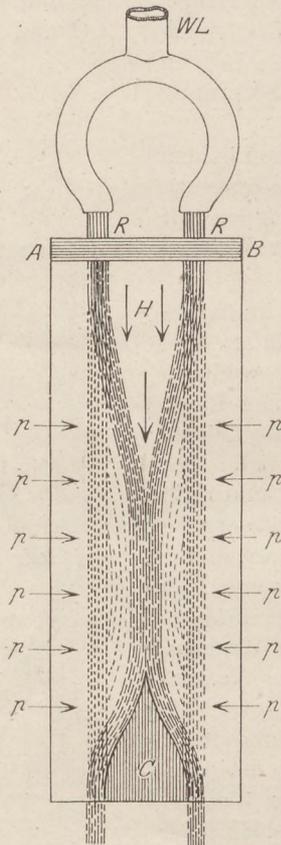


Fig. 2.

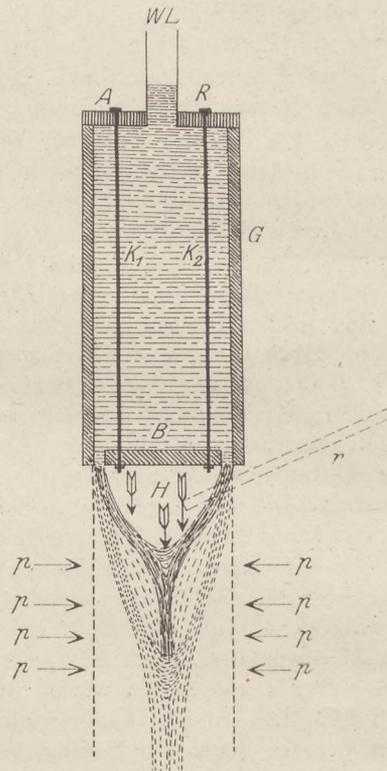


Fig. 3.

wird. Die Strahlen reißen aus dem Raume  $H$  die Luft mit sich und es entsteht Verdünnung, worauf der ständige höhere Druck von außen die Wasserstrahlen einander zubiegt, bis sie endlich unten zusammenfließen.

Dieses letztere Experiment kann auch so betrachtet werden, wie die analoge Erscheinung der Anziehung von zwei gleichgerichteten elektrischen Strömen; auf Grund folgender Überlegung. In der Physik ist die Überzeugung allgemein, daß die Magneten, die gleichgerichteten Ströme, die Körper entgegengesetzter elektrischer Ladung, und im allgemeinen alle Körper einander anziehen (Gravitation). Tatsächlich bemerken wir bloß, daß zwei Körper sich einander nähern oder sich voneinander entfernen. Jene Kraft, welche die Annäherung oder die Entfernung hervorbringt, können wir unmittelbar nicht wahrnehmen; es kann bloß deren Stärke und das Ergebnis ihrer Wirkung wahrgenommen und gemessen werden.

Auf die naheliegende Analogie mit der Anziehung gleichgerichteter elektrischer Ströme kann hier nicht eingegangen werden. Man könnte diese Anziehung so zu

erklären versuchen, daß die Ströme den Zustand des Äthers zwischen den Leitern verändern und die Ausgleichung dieser Zustandsänderung die Leiter einander nähert.

Die entsprechende Erscheinung der Abstoßung der elektrischen Ströme entgegengesetzter Richtung kann durch folgende Vorrichtung veranschaulicht werden. Es werden zwischen zwei gleich breiten und etwa 24 cm langen Glasplatten an beiden Enden zwei Röhren von quadratischem Durchschnitt befestigt, wobei die Achsen 2,5 cm voneinander entfernt sind. Wir halten den Apparat mit der Platte nach oben in horizontaler Lage und lassen durch die beiden Röhren zwei Wasserstrahlen entgegengesetzter Richtung durch. Die beiden Wasserstrahlen reißen die Luft mit sich, und weil die Strömung entgegengesetzt ist, wird die Luftmasse zusammengedrängt und bildet mit den abgelösten Wassertropfen einen schaumigen Wirbel, welcher die zwei Wasserstrahlen voneinander abbiegt. Da indessen der Wirbel zwischen den beiden Wasserstrahlen, welcher dieselben auseinanderbiegt, nicht nur aus Luft, sondern auch aus Wasser besteht, so kann das Experiment nicht für einwandfrei gehalten werden.

Die Saugwirkung des Flüssigkeitsstrahles und der Seitendruck der Luft kann noch durch folgenden Versuch erwiesen werden (Fig. 3). Am oberen Teil eines Glaszylinders  $G$  von 3,6 cm Durchmesser ist die Scheibe  $A$  befestigt, in deren Bohrung die Röhre  $R$  fest anliegt. Am unteren Teile des Glaszylinders ist die Scheibe  $B$  von 3,2 cm Durchmesser mittels der Metallstäbe  $K_1$   $K_2$  an die Scheibe  $A$  befestigt, so daß zwischen dem Rande der Scheibe und der Wand des Zylinders ein ringförmiger Raum von 2 mm Breite bleibt. Beim Experiment verbinden wir die Röhre  $R$  mit der Wasserleitung und halten den Apparat senkrecht.

Sobald wir Wasser in den Apparat fließen lassen, bewegt sich dieses anfangs in Strahlen, dann in immer breiterer Schicht durch die ringförmige Öffnung; sobald nun der Zylinder mit Wasser gefüllt ist, und der Druck des Wassers gleichmäßig nach unten wirkt, kann die Bildung eines Wasserzylinders erwartet werden, der aber im Moment seiner Entstehung sich von selbst unten schließt, so daß sich ein längliches Wasserparaboloid bildet. Die Oberfläche des Paraboloides ist bei größerem Drucke nicht glatt, und wenn es auch nicht streng der geometrischen Form entspricht, so ist es doch derselben sehr ähnlich. Aus dem unterhalb der Scheibe  $B$  befindlichen, rings umschlossenen Raum  $H$  reißt das ausfließende Wasser die Luft mit sich; dadurch entsteht eine Verdünnung der Luft in  $H$  und das Paraboloid verkürzt sich. In einer gewissen Stellung wird es dann beständig, sobald aus der Wasserleitung ebensoviel Luft in den Raum  $H$  gelangt, als das Wasser mit sich reißt. Wenn das Wasser weniger Luft in den Raum  $H$  reißt, als es durch saugende Wirkung entfernte, kann der Druck der äußeren Luft die Wand des Paraboloides durchbrechen und Luft in den Raum  $H$  eindringen. Daß der Druck der im Raume  $H$  eingeschlossenen Luft und der äußere Luftdruck die Größe des Paraboloides bestimmen, kann auch so gezeigt werden, daß wir in den Raum  $H$  eine dünne Glasröhre  $r$  stecken und so die Luft herausaugen. Dann wird das Paraboloid ganz kurz; sobald wir aber hineinblasen, verlängert es sich, um hernach sich wieder dem Gleichgewichtszustand zu nähern.

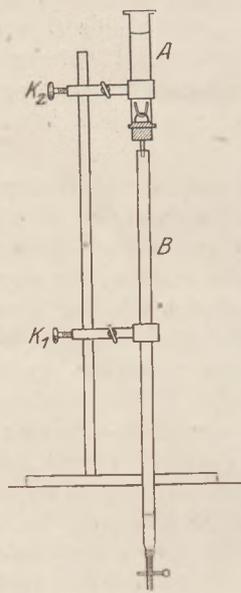
Bei starkem Wasserdruck wird die Oberfläche des Paraboloides wellenförmig und undurchsichtig; wenn aber der Wasserdruck langsam abnimmt, wird die Oberfläche immer glatter und schließlich ganz durchsichtig. Dann zeigt sich am klarsten die Paraboloidoberfläche. Bei ganz geringem Druck wird die Oberfläche dünn wie ein Häutchen und nimmt Tropfenform an.

## Einfache Bestimmung des Äquivalentgewichts einiger Metalle für die chemischen Schülerübungen.

Von Studienrat Dr. G. Gruber in Königsberg i. Pr.

Die von F. KÜSPERT in *Jahrg. 33, 108 ds. Zeitschr.* angegebene einfache Vorrichtung eignet sich zur Bestimmung des Verbindungs- bzw. Äquivalentgewichts einiger Metalle, wenn man als Gasentwicklungsgefäß anstatt des Probierröhrs einen schlanken Fußzylinder von 100 ccm Inhalt (von 20 cm Höhe und 2,5 cm Innenweite) oder eine derbwandige Kegel- oder Kochflasche von gleichem Inhalt und zur genauen Messung der von dem entwickelten Gase verdrängten Flüssigkeit eine Bürette anwendet, deren Meßbereich bis 50 ccm sich erstreckt und die  $\frac{1}{10}$  ccm anzeigt.

Der in das Entwicklungsgefäß (*A* der Fig.) gut hineinpassende Gummistopfen (allenfalls Kork) wird nach KÜSPERT mit einer Kupferdrahtöse zum Befestigen des abgewogenen Metallstreifens und mit einer etwa 5,5 cm langen, zugespitzten Glasröhre versehen, die eine feine Öffnung besitzt. Man stellt mehrere Glasröhren her und verwendet nur solche, von denen man sich überzeugt hat, daß beim Umkehren des zunächst mit Wasser gefüllten, fertigen Entwicklungsgefäßes kein Wasser, abgesehen von einem einzelnen Tropfen, heraustropft. Der Rauminhalt der zugespitzten Glasröhre ist durch Ausgießen mit Wasser (unter Anwendung einer kleinen Pipette und eines kleinen Meßzylinders) genau auszumessen und zu dem in der Bürette abgelesenen Volumen zu addieren, wenn, wie es meistens der Fall ist, nach Beendigung des Versuchs die Glasröhre ganz mit Flüssigkeit gefüllt ist. Die Korrektur ist unnötig, wenn man die zugespitzte Glasröhre durch eine dickwandige Kapillarröhre mit sehr feinem Kanal ersetzt; letzterer muß jedoch so eng sein, daß so gut wie kein Wasser beim Vorversuch mit Wasser heraustropft.



Über die Spitze der in der Klemme  $K_1$  eingespannten Bürette *B* schiebt man einen engen Schlauch, den man noch mit einer Schnur am Glase festbindet, damit keine Flüssigkeit heraustreten kann, selbst wenn das Metall sich langsam in der Säure löst. Nach dem Schließen des Schlauchs mit einem Quetschhahn füllt man die Bürette genau bis zur Marke 50 mit Wasser oder besser mit der zu verwendenden Salzsäure, falls man mit derselben Säuremenge den Versuch wiederholen will. Da manches Metall sich langsam in der Säure löst, ist es praktisch, dafür zu sorgen, daß man das Entwicklungsgefäß über der Bürette bei Anstellung des Versuchs befestigen kann. Zu diesem Zweck stellt man den Fuß des Stativs hart an die Tischkante, schiebt die Bürette an der Tischkante vorbei tief nach unten und bringt über der Bürette noch eine Klemme  $K_2$  an. In das Entwicklungsgefäß gießt man etwa 70 ccm verdünnte, gekühlte Salzsäure. Diese darf nicht einen zu großen Gehalt haben, sonst erhöht die auftretende Reaktionswärme die Temperatur des Gases und damit sein Volumen. Daher ist die für das jeweilige Metall geeignete Konzentration der Säure durch Vorversuche zu ermitteln. — Die Metalle verwendet man in Form von 2–4 mm breiten, sehr dünnen Streifen. Solche schneidet man aus sehr dünnen Blechen, die man sich von einem Goldarbeiter durch Auswalzen herstellen läßt. Das Höchstgewicht des Metallstreifens, das man anwenden darf, erfährt man, indem man nach der Reaktionsgleichung berechnet, wieviel Gramm Metall zur Entwicklung von 45 ccm Gas i. N. nötig sind: Für Mg 0,049, für Al 0,036, für Zn 0,131, für Cd 0,225 und für Sn 0,218 g.

Der genau (bei den Übungen auf gut ziehender Schülerwage) abgewogene Metallstreifen wird V-förmig gebogen, über die Öse gehängt und die Schenkel nötigenfalls noch einmal umgebogen, damit sie nicht nachher in die Säure hineintauchen. Nach festem Hineindrücken des Stopfens hält man die Spitze der Glasröhre an die Öffnung der Bürette, um ein nachheriges Vorbeifließen zu verhüten, kehrt das Entwicklungsgefäß um und befestigt es an der oberen Klemme. Der sich entwickelnde Wasserstoff drängt dasselbe Volumen Säure in die Bürette hinein. Volumen, Temperatur und Druck sind abzulesen.

Mischt man zum Versuch mit dem ungefähren Höchstgewicht Mg die konz. Salzsäure — die unserer Sammlung hat das spez. Gew. 1,175 und 34,7% — mit Wasser im Raumverhältnis 1 : 9, so ist die Reaktion schon in einer Minute beendet; in etwa 5 Minuten bei Benutzung von sehr verdünnter Salzsäure (1 : 19). Letztere ist daher vorzuziehen und kann auch zu mehreren Versuchen (theoretisch zu 11) verwandt werden.

Das ungefähre Höchstgewicht Al löst sich bei Zimmertemperatur in verdünnter Salzsäure (2 : 3) in 12 Minuten; man kann verdünntere Säure (1 : 9) oder (1 : 7) verwenden, wenn man den Aluminiumstreifen nach dem Abwiegen „aktiv“ macht, indem man ihn in Sublimatlösung (2½ : 100) ½ Minute liegen läßt, schnell abwäscht und verwendet. Die Auflösung erfolgt in etwa 20 Minuten.

Das ungefähre Höchstgewicht Zn löst sich in verdünnter Salzsäure (1 : 1) in 5 Minuten. Man verwendet eine Säure (1 : 2) — auch eine verdünntere —, der man auf 70 ccm 3–4 Tropfen Kobaltchlorürlösung (10 : 100) zusetzt, vgl. REBENSTORFF, *ds. Zeitschr.* 18, 277. Die Auflösung geschieht in 18 Minuten. Die auf dem Zinkstreifen ausgeschiedenen Kobaltteilchen bilden augenscheinlich mit dem Zinkstreifen und der Säure kurzgeschlossene galvanische Ketten, in denen das Gas am Kobalt sich ausscheidet. Das ungefähre Höchstgewicht Cd löst sich in einer fast konz. Säure (13 : 1) erst in einer Stunde. Das Metall löst sich in verdünnter Säure (2 : 1) in 1–1½ Stunden, wenn man wie vorher 3–4 Tropfen Kobaltchlorürlösung oder besser Platinchloridlösung zusetzt. Ebenso schwer löst sich Zinn in fast konz. Säure (13 : 1). Um Säure zu sparen, verwendet man verdünnte (3 : 1), der man 10 Tropfen Platinchloridlösung zugefügt hat.

Bei der Berechnung der Äquivalentgewichte (s. Tabelle) ist 1 Grammatom Wasserstoff zu 1,008 g und das Litergewicht zu 0,08995 g (bei den Übungen genügen 1,01 und 0,09) angenommen und außer Temperatur und Druck auch die Tension des Wasserdampfes berücksichtigt, jedoch nicht die Tension des Salzsäuregases, die in allen Fällen gering ist. Auf eine Erleichterung beim Ausrechnen sei noch hingewiesen. Wenn 0,046 g Magnesiumband (8 cm lang und 3 mm breit) bei 14,4° und 768,3 mm Druck 44,8 ccm Gas liefern, dann schreibt man den Endquotienten für das Äquivalentgewicht als Produkt zweier Teilquotienten, von denen der linke Teilquotient die bei den verschiedenen Rechnungen vorkommenden konstanten Zahlen enthält, also folgendermaßen:

$$\frac{1000 \cdot 760 \cdot 1,008}{0,08995 \cdot 273} \cdot \frac{0,046 \cdot 287,4}{44,8 \cdot 756,1}$$

Der Logarithmus des linken Teilquotienten ist 4,4940. Im vorliegenden Beispiel ist also folgender Ausdruck zu berechnen:

$$0,4940 + \log 0,046 + \log 287,4 - (\log 44,8 + \log 756,1).$$

Die Messungen und Ergebnisse sind in umstehender Tabelle zusammengestellt.

Bisher haben die Schüler unserer Anstalt die in *Jahrg. 18, S. 277 ds. Zeitschr.* von REBENSTORFF beschriebene, jedoch etwas vereinfachte Versuchsanordnung benutzt. Als Entwicklungsgefäß diente eine Jenaer Kegelflasche von 100 ccm Inhalt mit 40 ccm verdünnter Salzsäure. Man hält sie schräge so, daß die „Seitenlinie“ des Kegels fast senkrecht steht, und stellt mit einer Pinzette ein kleines, etwa 5 cm langes und 1½ cm

dickes, ebenbodiges „Umlegegläschen“, das mit einem Kieselstein beschwert ist und das abgewogene Metall enthält, aufrecht so hinein, daß das Gläschen sich an die Innenwand der Kegelflasche anlehnt. Nach dem Anschließen letzterer an den REBENSTORFFSchen Meßzylinder (nur 500 ccm Inhalt mit Teilstrichen von 5 zu 5 ccm) neigt man die Kegelflasche so, daß das Umlegegläschen umfällt und das Metall mit der Säure in Berührung kommt. Diese Apparatur ist aber nicht so leicht für die Schüler zu handhaben und nicht so billig, wie die vorher beschriebene Vorrichtung. Es sei noch bemerkt, daß man anstatt der Bürette einen schlanken Meßzylinder von 200 ccm Inhalt, der noch ganze Kubikzentimeter anzeigt, und als Entwicklungsgefäß eine Kochflasche von 250—300 ccm Inhalt benutzen kann. Das Höchstgewicht der Metalle ist dementsprechend mit 4 zu multiplizieren. Hierbei wird jedoch mehr Säure verbraucht.

Metall	Gewicht in g	Volumen in ccm	Temperatur	Druck in mm	Äquivalentgewicht	
					gefunden	berechnet aus dem Atomgew.
Mg	0,046	44,8	14,4	768,3	12,17	12,16
Al	0,0358	47,8	15,6	768	8,93	9,03
Zn	0,1303	47,7	14,5	766,5	32,47	32,69
Cd	0,1908	40,35	14,8	766,5	56,30	56,20
Sn	0,2142	42,15	13,4	769,5	60,18	59,35

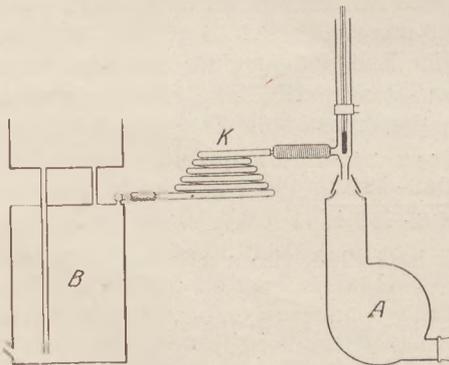
### Kleine Mitteilungen.

#### Bestimmung der spezifischen Wärme für Luft (Cp).

Von Dr. H. Hermann in Tübingen.

Nachstehende Ausführung unterscheidet sich von denjenigen von BHRDT (diese Zs. 26, 10) und NAGELE (32, 90) durch Benutzung von Laboratoriumsgeräten, die für andere Zwecke schon vorhanden waren und nur kombiniert zu werden brauchten.

Die Anordnung besteht wie bei BHRDT aus Vorwärmer, Kalorimeter und Luftmesser. Als Vorwärmer diente ein elektrischer Haartrockner *A* (Warmluftdusche), dessen Blaserrohr durch einen Glashals etwas verengt wurde. Zur Ermittlung der Temperatur der aus dem Luftstrom abgesaugten Warmluft diente ein gläsernes langes T-Rohr mit eingesetztem hochgehendem Thermometer. Das Thermometergefäß ist in den T-Balken eingesetzt, so daß es an der Abzweigung des T-Stammes liegt; der T-Stamm ist mit einem kurzen Gummischlauch versehen und durch Unwickeln gegen Wärmeverlust geschützt, während der Balken frei bleibt. Letzterer und das Thermometer stehen senkrecht im Luftstrom des Warmluftbläfers, beides an einem passenden Stativ angeklemt. (Die Entnahme geschieht also nach demselben Gedanken des Absaugens



aus einem Überschuß wie bei FR. C. G. MÜLLERS Wasserzersetzung, diese Zs. 14, 334 Fig. 4).

Als Kalorimeter diente die Kupferspirale *K* eines Dampftrichters nach BERGAMI & STANGE, und zwar ohne Wasserumgebung. Sie wird vor Beginn des Versuches in

ein auf fließendem kaltem Wasserleitungswasser schwimmendes Gefäß gelegt und mit der Wasserstrahlpumpe ein langsamer Luftstrom vom kalten Boden des Gefäßes durch die Spirale gesaugt. Das Kalorimeterthermometer befindet sich solange neben der Mittelgegend der Spirale. Diese Vorkühlung wäre natürlich besser durch eine Eiskühlung zu ersetzen. Die Vorkühlung ist möglichst nach dem RUMFORDSchen Prinzip zu bemessen. Sie erfordert etwa eine Stunde Zeit.

Als Luftmesser diente der Gasbehälter der chemischen Sammlung, der mit Wasser gefüllt bereit stand. Sein Gehalt war ausgemessen: 22,5 l.

Einige Minuten vor Beginn des Versuchs wurde der Warmluftbläser in Gang gesetzt, so daß der T-Stamm und das Thermometer auf Vorwärmtemperatur kamen. Durch passende Wahl der Glashalsweite konnte die Temperatur geregelt werden (bis über 200°); bei kräftigerer Vorkühlung wäre die höchste Temperatur passend gewesen, in Ermanglung von Eis mußte auch die Vorwärmtemperatur mäßiger gewählt werden.

Nun wird die Kupferspirale, mit Watte angefaßt, auf ein Lager von Holzwole und Watte von Zimmertemperatur gelegt, mit Watte zugedeckt, Gasbehälter und Vorwärmer angeschlossen und der Stutzen des Gasbehälters geöffnet, so daß Wasser abfließt und Luft durch die Spirale in den Gasbehälter dringt. Von 15 zu 15 Sek. wird die Temperatur im T-Stück abgelesen. Nach etwa 9 Minuten erschien die erste Luftblase am Stutzen. Das Saugen wurde gestoppt, Vorwärmer und Gasbehälter von der Spirale getrennt, das hochgehende Thermometer in das eine, das Kalorimeterthermometer in das andere Ende der Spirale gesteckt und halbminütlich abgelesen. Nach 8 Minuten hatten sie sich auf 24,4° und 25,0° genähert, wobei am Vorwärmthermometer eine nachher beobachtete Nullpunktssenkung von 0,4° in Rechnung gezogen ist. Es folgte eine Abkühlung von 0,05 Grad in der halben Minute.

Nimmt man an, daß Wärmeverlust und Wärmegewinn aus der Watte während des Saugens durch die Vorkühlung ausgeglichen sind, so ist diese letztbeobachtete Abkühlung nur über die Zeit der Thermometerablesungen in Rechnung zu ziehen. Das Mittel der Thermometerablesungen, 24,7°, ist also für 8 Minuten Abkühlung um 0,8° zu erhöhen. Also ist die verbesserte Endtemperatur 25,5°; der Temperaturanstieg 10,1°. Die Spirale wog 720 g; ihr Wasserwert beträgt  $720 \cdot 0,095 = 68,5$  g; dazu kommen die beiden Thermometer, das eine mit 1 g, das andre mit  $\frac{1}{2}$  g Wasserwert. Die aufgenommene Wärmemenge betrug somit  $10,1 \cdot 70,0 = 707$  cal.

Der Mittelwert der Vorwärmtemperaturen betrug 142,8°; eine Verbesserung war nicht nötig, weil der Faden sich in Warmluft befand. Die mittlere Kalorimetertemperatur ist nach obigem 20,45°; der mittlere Temperaturabstieg der Luft somit 122,3°. Hieraus folgt (Wasserrest 1,5 l; Bar. 729,5 mm; Temp. 17,5°; Luftgewicht 24,7 g)

$$C_p = \frac{707}{122,3 \cdot 24,7} = 0,234 \quad (1\frac{1}{2}\% \text{ zu klein.})$$

### Der experimentelle Nachweis der Richtung von Induktionsströmen.

Von Paul Hanck in Pasewalk.

Aus der für Induktionsströme allgemein gültigen LENZschen Regel wird zumeist ein besonderer Satz abgeleitet, der die Richtung des Induktionsstromes im Vergleich zum primären Strom angibt. Die experimentelle Bestätigung dieser wichtigen Folgerung, so wünschenswert sie an sich wäre, wird in der Regel übergangen werden, weil das hierfür in einzelnen Lehrbüchern angegebene Verfahren nicht übersichtlich genug ist und daher Lehrer und Schüler wenig befriedigen wird. Im folgenden glaube ich eine Versuchsanordnung beschreiben zu können, durch die diesem Übelstande abgeholfen wird. Sie gestattet das Ergebnis gleichsam abzulesen und dürfte daher manchem Lehrer willkommen sein.

An einem Stativ befestigt man eine Spule mit oder ohne Eisenkern, die mit einer Akkumulatorenbatterie, einem Galvanometer *A* und einem Stromschlüssel zu

einem Stromkreise vereinigt wird. Über die Spule schiebt man eine zweite mit vielen Windungen dünnen Drahtes, die an zwei langen Fäden, am besten zwei Doppelfäden, aufgehängt wird und mit einem Galvanometer  $B$  mit Nebenschluß, einer Akkumulatorenbatterie und einem Umschalter nach Angabe der Fig. 1 verbunden wird. Werden die beiden Spulen vom Strom durchflossen, so wird die bewegliche je nach der Strom-

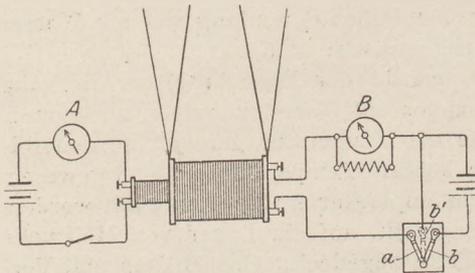


Fig. 1.

richtung angezogen oder abgestoßen und die Galvanometer zeigen einen Ausschlag. Man wählt nun die Schaltung so, daß die Galvanometer nach derselben Seite ausschlagen und daß auch die Spule sich in dieser Richtung bewegt, und zwar wollen wir annehmen, daß bei eingeschaltetem Strom, also bei der in der Figur angegebenen Stellung des Umschalters die Galvanometerzeiger und die Spule sich nach links bewegen, die Spule also angezogen wird. Wir wissen dann, daß die beiden Spulen in demselben Sinne vom Strom durchflossen werden, da sich nach einem anderweitig etwa am Ampereschen Gestell nachgewiesenem Satze parallele und gleichgerichtete Ströme anziehen, parallele und entgegengesetzte Ströme aber abstoßen. Bei der von uns gewählten Schaltung haben wir also festgestellt, daß die sich anziehenden Spulen von gleichgerichteten Strömen durchflossen werden, die durch die gleichgerichteten Galvanometerausschläge angezeigt werden.

Schalten wir darauf die Akkumulatorenbatterie aus dem Sekundärkreis aus, bringen wir also den Umschalter  $b$  in die zweite, punktiert gezeichnete Stellung  $b'$ , so wird die Spule hin und her pendeln und ein Induktionsstrom von dem Galvanometer  $B$  nach Entfernung des Nebenschlusses angezeigt werden, und wir sehen, daß bei Annäherung der Spule ein dem primären Strom entgegengesetzt gerichteter Strom entsteht, bei Entfernung dagegen ein gleichgerichteter, denn im ersten Falle schlagen die Galvanometer nach verschiedenen Seiten, im zweiten Falle aber nach derselben Seite aus. Lassen wir dann die hin und her pendelnde Spule zur Ruhe kommen und öffnen und schließen in dem primären Stromkreis wiederholt den Strom, so beobachten wir wieder, daß ein Induktionsstrom entsteht und zwar ist, wie wir aus den Ausschlägen der beiden Galvanometer beurteilen können, der Schließungsstrom dem Hauptstrom entgegengesetzt gerichtet, der Öffnungsstrom dagegen gleich gerichtet.

So ergibt der Versuch den für die Folgeerscheinungen wichtigen Satz vom Öffnungs- und Schließungsstrom gewissermaßen von selbst. An den Ausschlägen der Galvanometer wird die Richtung des primären und sekundären Stromes immer klar und deutlich erkannt und die Schüler können nicht irregeleitet werden. Indirekt ist durch diese Erscheinung natürlich auch das LENZsche Gesetz bewiesen. Ein direkter experimenteller Beweis kann aber durch die getroffene Versuchsanordnung ebenfalls leicht erfolgen, denn die hier für die Voltainduktion angegebene Schaltung gleicht der Schaltung für die Magnetinduktion in meinem Artikel „Die experimentelle Bestätigung des LENZschen Gesetzes“ (diese Zeitschr. 29, 258), worauf hier verwiesen sein möge.

Um bei diesen und ähnlichen Versuchen den Galvanometernebensschluß leicht anbringen und schnell wieder entfernen zu können, habe ich mir eine besondere Vorrichtung hergestellt, die dem bekannten in dem Experimentierbuch von Rosenberg und in Weinholds physikalischen Demonstrationen beschriebenen Schulgalvanometer von Hartmann und Braun angepaßt ist.

Zwei rechteckige Stücke Messingblech werden in der Mitte durchbohrt und an den Enden, wie in Fig. 2 angegeben, umgebogen. So vorbereitet legt man je eins auf die Schraubenmutter der Galvanometerklemmen, an denen sie infolge der federnden Wirkung der umgebogenen Enden festgepreßt werden können. Einen weiteren Halt

erfahren sie durch die Schraubenspindel, die in die Durchbohrung eingesetzt wird. Zwischen Blech und Schraubenspindel kann man nun wie gewöhnlich Leitungsdrähte einklemmen und das Blech kann, ohne Störung zu verursachen, bei allen Versuchen mit dem Galvanometer verbunden bleiben. Ist aber ein Nebenschluß erforderlich, so braucht man nur einen an zwei stärkere Drähte gelöteten spiralig aufgewickelten Widerstand mit den Blechen zu verbinden, was in einfacher Weise dadurch erfolgt, daß man die passend gewählten Drähte in die von den Blechen gebildeten Hülsen schiebt. Die Drähte werden zweckmäßig konisch gefeilt. Ebenso leicht ist der Nebenschluß wieder zu entfernen und da er nicht nur bei Induktionsströmen, sondern auch bei Polarisations- und Thermostromen häufig im Unterricht angewandt wird, kann ich die Anfertigung der einfachen Vorrichtung sehr empfehlen.

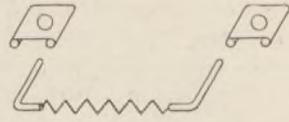
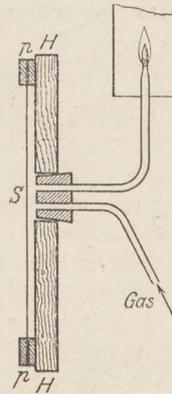


Fig. 2.

### Für die Praxis.

**Einfache Herstellung einer manometrischen Flamme nach R. König.** Von **Wilhelm Grosch** in Sondershausen. Ohne Kosten und mit wenig Arbeit läßt sich dies lehrreiche Gerät folgendermaßen herstellen. Ein Holzbrett *HH* von rechteckiger Gestalt (10 × 15 cm) und mindestens 1—2 cm Stärke wird im Mittelpunkt mit einem kreisrunden Loche versehen, so daß ein doppelt durchbohrter Kork dichtschießend hineinpaßt. Dies kann mit einem scharfen Zentribohrer oder auch mit der Laubsäge geschehen; mit Sandpapier wird der Rand geglättet. Dann stellt man sich zwei Rahmen *pp* aus dicker Pappe, etwa von einem Zeichenblock, von der Größe des Grundbrettes und 1 cm Randbreite her, wozu man wieder die Laubsäge verwenden kann. Mit Leim und einigen Nägelchen wird ein Blatt dünnes Butterbrotpapier *S* über das erste Rähmchen dichtschießend auf das Grundbrett gespannt. Der zweite Rahmen kommt zum Schutz darüber. Durch die eine Öffnung des Korkes führt man ein Rohr mit möglichst eng ausgezogener Brenneröffnung, ich verwende hierzu ein altes Lötrohr. Durch die zweite Öffnung leitet man Leuchtgas in den paukenförmigen Hohlraum. Der Gasdruck ist so zu regulieren, daß die Flamme etwa 3 cm hoch brennt. Das Papier wölbt sich durch den Gasdruck leicht nach außen und wird genügend gespannt; ein etwaiges Verziehen des Papiere schadet darum nichts; ich verwende die Vorrichtung im vierten Jahre, sie arbeitet ebensogut wie am Anfang. Singt man gegen das Papier, wobei man die Hände als Schalltrichter gebraucht, so zeigen sich im rotierenden Spiegel die charakteristischen, tiefgezackten Flammenbilder. Ein Lampenzylinder schützt die Flamme vor dem Luftzug des Spiegels. Bläst man mit einer Orgelpfeife gegen das Papier, so entstehen breite, runde Buckel, während der schrille Ton auf einem etwa 7 cm langen, unten geschlossenen Rohre sich durch zahlreiche, scharfe Zacken anzeigt. Gegenüber der üblichen geschlossenen Kapsel hat die beschriebene Vorrichtung den Vorzug, daß die Paukenhöhle und die Membran offen sichtbar ist. Bei der Erklärung der Wirkungsweise kann man auch mit den Fingern gegen das Papier trommeln, wodurch ein Auf- und Niederzucken der Flamme bewirkt wird.



**Ersatz des Holunder- oder Sonnenblumenmarks für elektrische Pendel.** Von **Bruno Kolbe** in Reval. Das leichte und schön weiße Mark der Sonnenblume (*Helianthus annuus* L.) ist für elektrische Pendel sehr geeignet (vgl. ds. Zeitschr. 22, 248). — Leider gedeiht diese Pflanze in manchen Sommern in nördlichen Gegenden nur kümmerlich.

Als nun an mich die Aufgabe herantrat, für unsere Volksschulen elektrische Pendel herstellen zu lassen, mochte ich nicht zu dem fast vergessenen unschönen Holundermark zurückgreifen, das ich außerdem nur in Stücken von 7—10 mm Dicke erhalten konnte.

Ein Versuch, aus farbigem Seidenpapier<sup>1)</sup> die allbekannten „Windbälle“ der Kinder herzustellen und als Ersatzbälle zu verwenden, hatte einen vollen Erfolg, besonders, als ich nach einigen Versuchen die günstigste Scheibengröße (Durchm. = 40 mm) herausfand.

Da weißes Blumenpapier meist nicht gleichförmig und das grüne oft etwas dicker ist, wählte ich rot und gelb. — Zu jedem „Ball“ werden je drei Scheiben hergestellt, indem man mit dem Zirkel und dem Bleistifteinsatz Kreise von 20 mm Halbmesser zieht und genau ausschneidet (Fig. 1). Bequem ist es, noch einen kon-

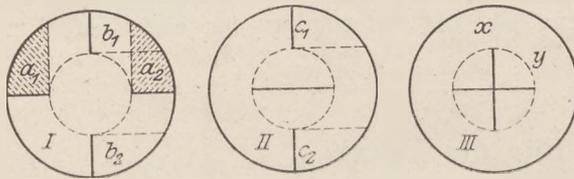


Fig. 1.

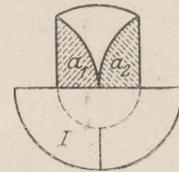


Fig. 2.

zentrischen Kreis von 10 mm Halbmesser zu ziehen. Biegt man nun — den inneren Kreis nach außen — die Scheibe zu einem Halb- und dann noch zu einem Viertelkreis zusammen, so kann man leicht die in Fig. 1 bei I, II, III ausgezogenen Linien ausschneiden. Nun biegt man bei der I-Scheibe die punktierten Stellen  $a_1, a_2$  so zusammen, wie Fig. 2 zeigt und schiebt diese Partie durch den Spalt der Scheibe II, worauf man die umgebogenen Teile wieder gerade biegt und glättet. Jetzt biegt man bei  $Ib_1$  und  $b_2$  und bei  $IIc_1$  und  $c_2$  um, so daß ein Kreuz entsteht, faßt dieses zwischen vier Fingern und schiebt es in den kreuzförmigen Spalt bei III, worauf man die umgebogenen Teile wieder aufbiegt und glättet. Da das Einführen der Doppelscheibe I und II in den Kreuzspalt bei III das Knifflichste an der Sache ist, besonders bei so weichen Papieren und der geringen Größe, so versuche man es zuerst an steiferem Postpapier mit Hilfe einer Pinzette. Den feinen (ungefärbten) Seidenfaden fädelt man in eine Nadel, steche ihn durch eine Scheibe (bei  $x$  oder  $y$ , Fig. 1, III) und binde den Faden über den Rand fest. Die Länge des Fadens kann 17—20 cm betragen.

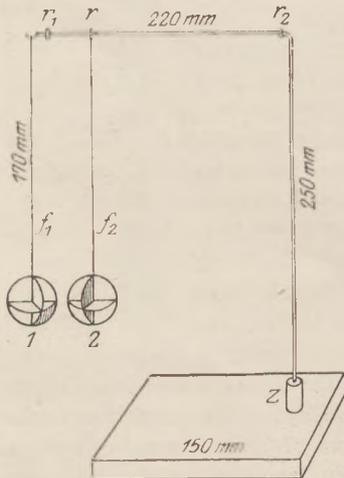


Fig. 3.

Als Gestell für das elektrische Pendel kann man das gewöhnliche mit zwei drehbaren Armen verwenden, doch kommt man auch einfacher zum Ziel. Ein Fußbrettchen  $150 \times 100 \times 20$  mm trägt einen Holzzapfen ( $z$ ), in welchen ein 450 mm langer, etwa 2,5 mm dicker Draht eingeschoben ist, dessen dünnes gefeiltes Ende zu einem Haken gebogen ist, an welchem der eine Ball hängt. Der Faden des anderen Balles (2) ist an einem Ringe ( $r$ ; Fig. 3) befestigt, so daß der Ball 2 also in verschiedenem Abstände vom Ball 1 hängen kann. Diese Form des Gestells habe ich seit Jahren im Gebrauch<sup>2)</sup> und finde sie, der einfacheren Herstellung wegen, fast besser als die mit den drehbaren Armen.

<sup>1)</sup> Nicht zu verwechseln mit dem steiferen, ganz matten und viel intensiveren „Heidelberger Blumenpapier“, das u. a. zur Prüfung des Farbensinnes verwandt wurde (d. Z. 8. 234).

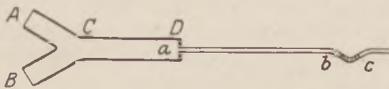
<sup>2)</sup> Einführung in die Elektrizitätslehre, I. Teil, Fig. 5.

## Berichte.

### 1. Apparate und Versuche.

Ein Versuch über den Schalldruck und die Erzeugung von Differenztönen. In theoretischen Untersuchungen über den Schalldruck, den eine stehende Schallwelle nach Rayleigh auf eine vollkommen reflektierende Wand ausübt, hat E. WAETZMANN gezeigt, daß bei zwei solchen Wellen gleichzeitig mit dem Schalldruck neue Töne entstehen müssen, die in den primär gegebenen Schwingungen nicht enthalten sind, im einfachsten Fall Differenztöne. Läßt man zwei Stimmgabeln mit den Schwingungszahlen  $p$  und  $q$  auf eine schwingungsfähige Platte wirken, die für sich einem linearen Kraft- und Dämpfungsgesetz gehorcht, so zeigt die Platte einen Differenzton  $p-q$  an, wenn die Verhältnisse so liegen, daß der Schalldruck merklichen Einfluß erhält. Der Differenzton tritt auf, obwohl die Helmholtzsche Bedingung der unsymmetrischen Schwingung nicht erfüllt ist. Die Erscheinung wird besonders deutlich, wenn man einerseits die Stöße hört und andererseits die objektive Schwingung  $p-q$  beobachtet. Als Druckanzeiger und zugleich Schwingungsanzeiger wurde ein Manometer von viel gebrauchter Form gewählt, bestehend aus einem horizontal liegenden, ein wenig durchgebogenen Glasrohr von wenigen Millimetern Durchmesser, in dem sich ein kurzer Alkoholfaden befand. Der Faden hat eine sehr langsame Eigenperiode und die Eigenschaft, nur langsame Druckschwankungen anzuzeigen. Als Schallquellen dienten zwei Stimmgabeln von 256 Schwingungen, von denen die eine durch ein Laufgewicht verstimmt werden konnte. (Noch geeigneter sind Stimmgabeln von höherer Schwingungszahl, da die Größe des Schalldrucks mit dem Quadrat der Schwingungszahl wächst.)

Die Stimmgabeln werden vor die Enden  $A$  und  $B$  eines Gabelrohrs aus Zinkbleck von rund 40 mm Durchmesser gestellt, ihre Resonanzkästen ein wenig über die Rohrenden geschoben. Die



Gesamtlänge  $AC + CD$  beträgt etwa  $\frac{1}{4} \lambda$  des Tones 256. Das Rohr ist am anderen Ende  $D$  durch eine feste Wand (einen gut schließenden Kork) verschlossen, so daß hier ein Knoten der Bewegung entsteht. Das eine Ende  $a$  des Manometerrohrs ist durch den Kork hindurchgeführt, so daß seine Öffnung in dem Schwingungsknoten des Hauptrohres liegt. Die Länge des Manometerrohrs  $ab$  bis zum Alkoholfaden beträgt eben-

falls  $\frac{1}{4} \lambda$ . Wird jetzt eine der beiden Stimmgabeln kräftig mit dem Bogen angestrichen, so gibt der Alkoholfaden einen den Überdruck anzeigenden Ausschlag. Tönen beide Stimmgabeln gleichzeitig, so pendelt der Alkoholfaden im Tempo der Schwebungen  $p-q$  mit. (Zur objektiven Demonstration wird der Faden gefärbt und auf einen Schirm projiziert.) „Da der Alkoholfaden weder auf  $p$  für sich, noch auf  $q$  mit-schwingt, kann er auch die Schwebungen  $p-q$  nicht anzeigen, also beweist sein Mitschwingen die Existenz einer sinusförmigen Druckkomponente von der Periodenzahl  $p-q$ . Das Manometer mißt übrigens nicht den Druck in  $D$ , sondern in  $C$ ; daraus ist verständlich, daß  $ab$  ungefähr  $\frac{1}{4} \lambda$  lang sein muß.

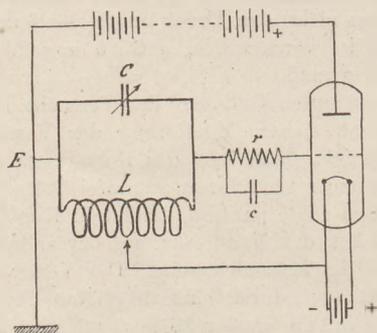
Zum guten Gelingen des Versuchs ist eine feste und sichere Montierung der Vorrichtung erforderlich. Man setzt das Rohrsystem auf ein gemeinsames Grundbrett mit zwei Stützen. Auf der einen ruht, passend durch ein Kugelgelenk verbunden, das Hauptrohr, auf der anderen das Ende  $C$  des Manometerrohrs. Der Verschluß bei  $D$  kann auch durch eine aufgelötete Platte bewirkt sein, die in der Mitte durchbohrt ist und ein an das Manometerrohr angeschlossenes kurzes Metallröhrchen trägt. Weniger zuverlässig ist eine Vereinfachung; die darin besteht, daß man in jedem der beiden Resonanzkästen bis nahe an den Schwingungsknoten ein Glasrohr von einigen Millimetern Weite einführt und beide durch Schlauchstücke an ein gabelförmiges Verbindungsstück anschließt; dieses läuft in ein schwach gebogenes kurzes Rohr mit einem Alkoholfaden aus, dessen Abstand von den Rohrenden wieder  $\lambda/4$  beträgt. (*Physikal. Zeitschr.* 21, 449; 1920.)

P.

**Der Röhrensender als Tonerzeuger und als Normaltonskala.** Der Röhrensender (Glühkathodenröhre) bietet ein Mittel, um ungedämpfte elektromagnetische Schwingungen von außerordentlicher Konstanz hervorzubringen. Schließt man an eine solche Röhre ein schwingungsfähiges System, bestehend aus Selbstinduktion  $L$  und Kapazität  $C$  an<sup>1)</sup>, so erhält man ungedämpfte Schwingungen, deren Frequenz durch die Thomsonsche Formel  $T = 2\pi\sqrt{LC}$  gegeben ist. Läßt man die Schwingungen eines derartigen Schwingungskreises  $K_1$  mit der Schwingungszahl  $n_1$  induzierend wirken auf ein zweites analoges System  $K_2$  mit der Schwingungszahl  $n_2$ , so erhält man

<sup>1)</sup> Vgl. Fig. 1 ohne das Zwischenstück  $v||c$  und ohne die Ableitung zur Erde.

Schwabungen von der Zahl  $n_1 - n_2$ , die in einem passend eingeschalteten Telephon hörbar werden. Ist z. B.  $n_1 = 1\,000\,000$ ,  $n_2 = 1\,001\,000$ , so erhält man 1000 Schwabungen in der Sekunde, die im Telephon als Ton 1000 gehört werden. Schlägt man eine Stimmgabel von der Schwingungszahl 1000 an, so erhält man zwischen beiden Tönen keine Schwabungen, ändert sich aber  $n_1$  um eine Schwingung, erhöht sich z. B. auf 1\,000\,001, so wird im Telephon eine Schwabung in der Sekunde hörbar. J. HERWEG gründete hierauf eine Methode zur Messung sehr kleiner Kapazitätsänderungen. (*Berichte d. D. Phys. Ges.* 1919, 572.) Die Frequenz des Senders blieb während einiger Minuten auf  $1 \cdot 10^6$  konstant.



E. GRÜNEISEN und E. MERKEL benutzen dieselbe Vorrichtung zur Herstellung einer kontinuierlich veränderlichen Normaltonskala (*Zeitschrift f. Physik*, 2. Bd. 1920, S. 277). Sie verbanden zwei Systeme der beschriebenen Art, indem sie mit ihnen zwei Spulen lose koppelten und diese in Reihe an einen Niederfrequenzlautverstärker mit Schuchhardtschem Telephon anschlossen. Der Lautverstärker (vgl. M. WIEB in *Jahrb. f. drahtl. Telegr.* 14, 608; 1919) hat die Eigenschaft, bei Überlagerung zweier Wechselströme nicht nur eine große Menge von Oberschwingungen, sondern auch deren Differenztöne herauszuarbeiten. Mit Hilfe der Schwabungen, die zwischen solchen Differenztönen entstehen, kann man zwei Klänge auch dann leicht abstimmen, wenn das Verhältnis der Frequenzen ein Bruch ist. Das Ohr nimmt tatsächlich nicht alle theoretisch möglichen Differenztöne wahr,

sondern nur die von niedrigster Frequenz. Man kann auf diese Art einen veränderlichen Normalkreis mit einem konstant gehaltenen Vergleichskreis leicht abgleichen, indem man die Kondensatoreinstellung ändert. Die Konstanz der Frequenz wurde namentlich dadurch gesichert, daß man mit der Heizstromstärke der Glühkathode hinreichend unter der für sie normalen Stromstärke blieb; dies wurde durch Einschalten einer Kombination  $v|c$  (Figur) erreicht, die als Ventil wirkt, indem sie ein zu starkes Anwachsen des Gitterstromes hindert. Ferner diente ein parallel zu  $C$  geschalteter „Zusatzkondensator“ von kleiner aber veränderlicher Kapazität, der nicht geeicht zu sein braucht, zur Einregulierung des Kondensators  $C$  für jede Temperatur und jede Röhre, derart, daß etwaige Änderungen der Spulenkapazität gerade kompensiert wurden.

Zur genauen Berechnung der Frequenz bedarf die Thomsonsche Formel noch einer Korrektur mittelst eines Zusatzgliedes  $K$  zur Größe  $C$ , so daß sie die Gestalt annimmt  $T = 2\pi\sqrt{(C+K)L}$ . Der Wert von  $K$  wurde durch eine Reihe von Versuchen ermittelt. Auf dieser Grundlage wurde zunächst eine relative Eichung des Tonsenders im Normalzustand vorgenommen. Zur absoluten Eichung wurden dann die harmonischen Obertöne eines Wechselstromes benutzt, der durch Transformierung eines mittelst des GIEBESCHEN Tourenreglers (*Zeitschr. f. Instr.-K.* 29, 205, 1909) sehr regelmäßig unterbrochenen Gleichstroms in einem anderen Gebäude erzeugt war und dessen Frequenz mittelst Zählwerk und Chronograph auf weniger als  $1/10000$  genau gemessen wurde. Der Vergleich mit einigen Stimmgabeln, darunter die Normalgabel  $a$  der Reichsanstalt ergab Differenzen, die meist kleiner waren als die zugelassenen Fehler bei den geeichten Gabeln, deren Schwingungszahlen den Bereich von 435 bis 12000 umfaßten. Durch wahlweises Einsetzen dreier Wechselstromnormalen in den gleichen Sender wurden drei Schwingungskreise gebildet, die für Bereiche der Schwingungszahl von 700 bis 1700, 1600 bis 8600 und 6000 bis 46000  $\text{sec}^{-1}$  brauchbar waren. Der Tonsender kann sonach als kontinuierlich veränderliche Frequenznormale für akustische und langsame elektrische Schwingungen dienen.

P.

## 2. Forschungen und Ergebnisse.

Zur Theorie der Serienspektren der Elemente. Originalbericht von A. WENZEL in Brandenburg a. H.

1. In einem früheren Bericht (1)<sup>1)</sup> wurden die Quantentheorie und einige ihrer damaligen Ergebnisse entwickelt und zum Schluß auch auf

ihre Bedeutung für die Theorie der Serienspektren hingedeutet. Neben der Balmerischen Serienformel für die Spektralserie des Wasserstoffs stimmt nämlich die Spektralserientheorie von N. BOHR mit den experimentellen Ergebnissen besonders gut überein. Sie geht von der Betrachtung eines Wasserstoffatommodells aus. Unter den brauchbaren Atommodellen nahm

<sup>1)</sup> Literaturübersicht am Schluß des Berichts.

längere Zeit das Thomsonsche (*ds. Zeitschr.* 29, 269; 1916) eine besondere Stellung ein, da mit ihm die Erscheinungen der Dispersion, Absorption und der magnetooptischen Effekte von Drude, Voigt, Planck und H. A. Lorentz in guter Übereinstimmung mit den Tatsachen vorausgerechnet waren. Die Seriengesetze der Spektren daraus abzuleiten war aber nicht möglich, auch lieferte es nicht den beobachteten Starkeffekt, d. h. die Aufspaltung der Spektrallinien in elektrischen Felde; ebenso fehlte die Möglichkeit, die starke Ablenkung der  $\alpha$ -Strahlen beim Durchgang durch dünne Metallschichten zu erklären. Das veranlaßte Rutherford (2), das Atombild so umzugestalten (*ds. Zeitschr.* 30, 40; 1917), daß der positiv elektrische Kern nur einen sehr kleinen Raum einnimmt; seine Ladung  $E$  ist bestimmt durch  $z$  Elementarladungen  $e$ , wobei  $z$  die Ordnungszahl des Elements im periodischen System ist, also  $z=1$  für  $H$ ,  $z=2$  für  $He$ ,  $z=3$  für  $Li$  usw. Um diesen Kern beschreiben  $z$  Elektronen Planetenbahnen. Dieses Modell erwies sich aber theoretisch als unfähig, homogene Spektrallinien zu emittieren.

Um diesen Fehler zu beseitigen, hat N. Bohr (3) angenommen, daß die Elektronen sich nur auf bestimmten stationären Bahnen bewegen, so lange das Atom keine Energie (Strahlung) aussendet. Gegen diese Hypothese, die mit der klassischen Maxwell'schen Theorie im Widerspruch steht, erhebt J. Stark (4) in seinem Nobelvortrag Bedenken, die sich vor allen Dingen gegen die Annahme der energie-losen sog. statischen Bahnen der Elektronen wenden. Auch vernagt er nicht einzusehen, inwiefern diese strahlungsfreien Bahnen von den übrigen Bahnen um den Kern ausgezeichnet sind, Fragen, die noch der endgültigen Beantwortung harren. Daß solche strahlungsfreien Bahnen im Atom wahrscheinlich vorkommen, dafür spricht die Konstanz der magnetischen Momente para- und ferromagnetischer Körper, die nach Einstein und de Haas durch kreisende Elektronen erzeugt werden. Die Bewegungen der Elektronen werden durch die Keplerschen Gesetze bestimmt, zu denen sich noch das Quantengesetz gesellt; das Verhältnis der beim Umlauf vom Radiusvektor überstrichenen Fläche zu der dazu gebrauchten Zeit ist ein ganzzahliges Vielfaches einer bestimmten Größe  $\frac{h}{4\pi m v}$ , worin  $m$  die bekannte Masse des Elektrons und  $h$  das Plancksche Wirkungsquantum ist, das nach den neuesten Messungen von E. Wagner (5)  $h=6,53 \cdot 10^{-27}$  Erg.sec. beträgt.

2. Nur beim Übergang von einer statischen Bahn zur anderen kann das Elektron Strahlung aussenden. Bezeichnet man die Energie der

Anfangsbahn mit  $A_m$ , die der Endbahn mit  $A_n$ , so ist die Schwingungszahl  $\nu$  der ausgesandten Strahlung gegeben durch die sog. Bohrsche Frequenzbedingung:  $c \cdot h \cdot \nu = A_m - A_n$ , worin  $c$  die Lichtgeschwindigkeit und  $h$  das Plancksche Wirkungsquantum ist. Diese Hypothese gibt auch eine zwanglose Deutung der Gruppen (Termen), aus denen Ritz (1908) sein Kombinationsprinzip aufbaute, wonach jeder der beiden Termen  $A_m$  und  $A_n$ , deren Differenz die Schwingungszahl  $\nu$  einer bestimmten Linie ergibt, mit einem der anderen Linie entsprechenden Term kombiniert, wieder eine Spektrallinie ergibt.

Bekanntlich wird die Serie des Wasserstoffspektrums durch die Balmer'sche Formel

$$\nu = N \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (1)$$

gut dargestellt, worin  $N$  ein Zahlenfaktor,  $n=2$  und  $m$  eine Laufzahl ( $m=3, 4, 5, \dots$ ) ist. Dieser Formel analog gebaut sind die von Rydberg und vor allem die von Bohr (s. o.). Das Wesentlichste liegt in dem Bau des Terms, der bei Balmer  $\frac{N}{m^2}$ , bei Rydberg und Ritz

$\frac{N}{(m+a)^2}$  lautet. Je nach dem Term unterscheidet man Haupt- und Nebenserien. Die Seriengrenzen der letzteren fallen beim Wasserstoff zusammen. Treten die Spektrallinien in Doublets oder Triplets auf, so haben diese in den beiden Nebenserien gleiche und konstante Schwingungsdifferenz (6). Die Schwingungsdifferenzen der Hauptserie nehmen mit wachsender Gliedzahl ab, weshalb die Linien nach dem Violetten immer enger zusammenrücken.

Der Erfolg der Bohrschen Theorie liegt nicht allein in der Herleitung der Balmer'schen Formel, sondern auch vor allem in der physikalischen Deutung und zahlenmäßigen Berechnung der sog. Rydberg-Ritzschen Konstanten  $N$ , die nach Bohr für Wasserstoff lautet:

$$N = \frac{2\pi^2 m_0 e^4}{h^3 c}, \quad (2)$$

worin  $m_0$  die Masse des Elektrons,  $e$  die elektrische Elementarladung,  $h$  das Plancksche Wirkungsquantum ist. Unter Verwendung der

Daten:  $e = 4,77 \cdot 10^{-10}$ ,  $\frac{e}{m_0} = 1,77 \cdot 10^7$  und  $h = 6,53 \cdot 10^{-27}$  erhält man nach Sommerfeld (7)  $N = 1,09 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-1}$ , ein Wert, der mit dem aus der Erfahrung gewonnenen gut übereinstimmt. Eine Umkehrung der Formel (2) führt zu dem neuen Problem, aus spektroskopischen Daten mit

großer Genauigkeit die Werte von  $h$ ,  $\frac{e}{m_0}$  und  $e$  zu berechnen.

Nun ist nach der klassischen Mechanik anzunehmen, daß der Atomkern und das Elektron um ihren gemeinsamen Schwerpunkt kreisen. Berücksichtigt man dies, dann wird die Konstante  $N$  verkleinert im Verhältnis  $\left(1 + \frac{m_0}{M}\right)$ : 1, worin  $M$  die Masse des Atomkerns bedeutet. Gilt (2) unter Annahme eines ruhenden Kerns, so wird jetzt für Wasserstoff und Helium:

$$N_{\text{H}} = N \cdot \left(1 + \frac{m_0}{M_{\text{H}}}\right)$$

und  $N_{\text{He}} = N \cdot \left(1 + \frac{m_0}{4 M_{\text{H}}}\right)$  (3)

Der hiernach zu erwartende Unterschied in den Schwingungszahlen der Linien des He und des He-Spektrums läßt sich experimentell nachweisen. Die Messungen von F. Paschen (8) geben für die Heliumlinien und die benachbarten Balmerlinien des Wasserstoffs wirklich die theoretisch geforderte Violettverschiebung. Dies scheint aber ein sicheres Zeichen für die Mitbewegung der Kerne bei den stationären Bewegungsformen des Atoms zu sein.

3. Wasserstoff war bisher der bevorzugte Stoff, da er nur ein Serienspektrum, das Balmersehe zeigt, dessen tatsächliche Linien nach Messungen von Hartmann (9) mit den aus der Theorie berechneten sehr gut übereinstimmten. Ebenso verhalten sich das ionisierte Helium und das ionisierte Lithium. Beim neutralen He und Li wie auch bei den übrigen Gasen herrscht nicht mehr das reine Coulombsche Feld der Kernladung  $Z_0$ , das Bohr in seiner Theorie heranzieht, sondern man muß noch ein kernferneres äußeres Elektron annehmen, das um die  $Z-1$  inneren Elektronen und den Kern rotiert. Daher geht die Balmersehe Formel über in folgende Funktion:

$$\nu = \varphi(n, n') - \varphi(m, m'). \quad (4)$$

Wie leicht ersichtlich entstehen jetzt mit der größeren Zahl von Laufzahlen Seriensysteme. Untersucht man das Feld des Kerns und der Elektronen, so ergibt sich als 1., 2. und 3. Annäherung für  $\varphi(n, n')$  die Balmersehe, Rydbergsehe und Ritzsche Form des Serienterms.

Über den Aufbau des neutralen Heliumatoms hat man sich bestimmte Vorstellungen gebildet. Nach Landé (10) durchlaufen die beiden Elektronen verschiedene kreisähnliche Bahnen, deren innere von der äußeren exzentrisch zur Seite gedrängt ist. Gerade dieses Landésche Modell gibt das Heliumspektrum, dessen Hauptserie man früher wegen ihres analogen Baues für eine Nebenserie des Wasser-

stoffs hielt, im sichtbaren Spektrum gut wieder. Für die Erklärung der Ionisierungsenergie aber, d. h. der Arbeit, die zur Ablösung eines Elektrons aus dem Atomverbande nötig ist, reicht es nicht aus. Diese Energie kann als Energiedifferenz der im Unendlichen liegenden Quantenbahnen gegen die erste im Endlichen angesehen werden und steht daher im Zusammenhang mit der ultravioletten Grenze des Spektrums durch den Quantensatz;

$$Q = \nu_1 \cdot h, \quad (5)$$

worin  $\nu_1$  die Grenzfrequenz ist. Diese Abtrennungsenergie  $Q$  haben Franck und Hertz (11) und ihre Nachfolger direkt durch Versuche über Anregung von Spektrallinien und Ionisation des Dampfes von Quecksilber und anderer Metalle und Gase durch Elektronenstoß zu messen gelehrt. Durch die Anregungsspannung wird ein Elektron aus seiner stabilsten Bahn herausgerissen, durch die Ionisierungsspannung gänzlich aus dem Atomverbande entfernt. Es ergab sich dabei als Ionisierungsspannung des Hg-Dampfes 10,4 Volt, während die Anregungsspannung der Hg-Linie 253,6  $\mu\mu$  bei 4,9 Volt liegt. Berechnet man nach (5) für Natrium- und Kaliumdampf die Anregungs- und Ionisierungsspannungen ihrer ersten Serienlinien (Na: D-Linien Anreg. 2,12 Volt, Ionis. 5,13 Volt; K: (766,5  $\mu\mu$ ) Anreg. 1,55 Volt, Ion. 4,1 Volt) aus den spektroskopischen Beobachtungen, so erhält man dieselben Werte, die Tate und Foote (12) experimentell gefunden haben. Mit Bohr (3) kann man in den Resultaten all dieser Versuche einen direkten unabhängigen Beweis für die Realität ausgezeichneter stationärer Zustände im Atom sehen, die von Stark (4) allerdings immer noch angezweifelt werden, obwohl ihre Annahme für die Betrachtung der Spektralserien so fruchtbar war.

4. Fortgeführt hat F. Tank (13) die Bohrsche Theorie. Unter Beibehaltung der in der Quantenspektroskopie bisler üblichen Ansätze und Verallgemeinerungen der Vorstellungen vom Atombau versuchte er in Anlehnung an Sommerfelds Arbeiten (14) den Bau der allgemeinen Serienterme für alle Elemente darzustellen und physikalisch zu deuten. Dabei nimmt er mit Sommerfeld für die Serien im optisch sichtbaren Gebiet an, daß ein „Serienelektron“ sich außerhalb der übrigen Elektronen des Atoms in statischen Bahnen bewegt. Diese Anschauung führt in großer Allgemeinheit zu Serientermen vom Ritzschen Typus, wodurch die allgemeine Anwendbarkeit der Ritzschen Serienformel auf alle Elemente des periodischen Systems erklärlich wird. Die Durchführung spezieller Modellvorstellungen ergibt für die

Hauptserienterme des Parheliums, Heliums und Lithiums bemerkenswerte Übereinstimmung mit der Erfahrung. Dabei scheint es sehr wesentlich zu sein, daß die Elektronen nicht in komplanaren Ringen laufen, sondern daß ihre Bahnen gegeneinander geneigt sind. Hierauf werden wir noch zurückkommen.

Die Zahl der nach dem Kombinationsprinzip vorausgerechneten Spektrallinien stimmt nicht mit den tatsächlich beobachteten überein. Daß man sich bei der Verwendung des Kombinationsprinzips Beschränkungen auferlegen muß, folgt nach Bohr (3) aus der Korrespondenz zwischen dem Spektrum eines Elements und der Bewegung des Atoms. Berücksichtigt man, daß die Elektronen sich wahrscheinlich auf Ellipsen nach den Keplerschen Gesetzen bewegen, so geht die Quantenbedingung, daß der Inhalt der stabilen Ellipsen  $= n \cdot h$ . sein soll, über in

$$\int_0^{2\pi} r_{\varphi} d\varphi = n \cdot h. \quad (6)$$

Wendet man diese sog. „azimutale“ Quantenbedingung auf das Problem der Kombinationslinien an, so geht das Ritzsche Prinzip über in die Sommerfeldsche (7) Form. Jeder Serienterm kann normalerweise mit jedem anderen kombiniert werden, dessen azimutale Quantenzahl  $n$  sich von der des ersteren um nicht mehr als eine Einheit unterscheidet; Kombinationen, die dieser Einschränkung widersprechen, sind zwar prinzipiell nicht ausgeschlossen, verlangen aber besondere Anregungsbedingungen (Auswahlprinzip). Gerade hierin liegt eine unmittelbare Erklärung der interessanten Entdeckungen von Stark und seinen Mitarbeitern (15), daß in den Spektren von mehreren Elementen gewisse neue Serien von Kombinationslinien, die sonst nicht beobachtet werden, mit beträchtlicher Intensität auftreten, wenn die leuchtenden Atome einem starken elektrischen Felde unterworfen werden. Man muß annehmen, daß, durch die äußere Kraft veranlaßt, im Atom neue harmonische Schwingungen entstehen, die ohne Kraftwirkung nicht vorhanden sind. Mittels einer Abschätzung der Amplituden dieser Schwingungen in den zu den betreffenden Linien gehörenden Anfangs- und Endzuständen des strahlenden Atoms kann man sogar eine Erklärung für die verschiedene Leichtigkeit geben, mit der die einzelnen Kombinationslinien durch das äußere Feld hervorgerufen werden.

Wie Sommerfeld (16) betont, liegt die Hauptaufgabe der Serienspektroskopie nicht allein darin, die Differenzen der Terme, d. h. die Energiedifferenzen zwischen zwei Elektronenbahnen im Atom festzustellen, als viel-

mehr darin, die Terme selbst kennen zu lernen, d. h. die Energiestufen, in die sich die Schwingungszahlen der Linien nach dem Kombinationsprinzip zerlegen lassen. Diese charakterisieren die Atomzustände und sind die Träger aller weiteren Gesetzmäßigkeiten. Daß aber für die Elemente höherer Atomnummer die Terme der Ritzschen Formel die Beobachtungen nicht hinreichend genau wiederzugeben vermag, zeigt E. Fues (17) Durch ein Zusatzglied zur Ritzschen Formel gewinnt er einen Ausdruck, der für die Schwingungszahlen der Spektralserien der Alkalien und Erdalkalien Werte liefert, die mit den Tatsachen im Einklang stehen. Sodann bestätigen seine Untersuchungen den sog. „Verschiebungssatz“ von Sommerfeld und Kossel (18). Aus dem Bau des Atommodells schließt dieser Satz, daß ein Element mit seinem spektralen Verhalten in die vorübergehende Spalte des periodischen Systems der Elemente aufrückt, wenn ihm durch Ionisation ein Elektron aus der äußeren Hülle entzogen wird, es also sein Funkenspektrum aussendet. Für diesen Fall gilt das erweiterte Term von der Form

$$\begin{aligned} (m, p_i) &= \frac{4N}{(m + p_i + \pi_i(m, p_i) + \dots)} \\ i &= \begin{cases} 1; 2 \text{ für Dublettsysteme} \\ 1; 2; 3 \text{ für Triplettsysteme} \end{cases} \quad (7) \end{aligned}$$

worin  $m$  die Laufzahl,  $\pi_i, p_i$  usw. Konstanten des durch die Ionisation veränderten Atomfeldes sind.

5. Durch den Ausbau der Quantentheorie für bedingt periodische Systeme ist nämlich eine Grundlage geschaffen, in die charakteristischen Wirkungen äußerer Kraftfelder auf das Wasserstoffspektrum, den Zeemann- und den Starkeffekt, einzudringen. Namentlich die Berechnung der Komponenten des Stark-effektes ist mit Hilfe der Quantentheorie gleichzeitig K. Schwarzschild (19) und P. Epstein (20) unter Anwendung parabolischer Lagenkoordinaten gelungen. Der wesentliche Unterschied der Theorie dieser Erscheinungen und der der Serienlinien ohne äußeren Kraft-einfluß liegt darin, daß es dort auf die Ebene, in denen die Elektronenbahnen liegen, nicht ankommt, während jetzt die Bewegung der Elektronen auf einer Raumkurve vor sich geht. Durch Verwendung der Differentialgleichungen von Jakobi-Hamilton werden diese statischen Bahnen berechnet und es ergibt sich, daß das Elektron Librationsbewegungen, d. h. periodische Bewegungen im Raume zwischen festen räumlichen Grenzen ausführt. Diese Theorie ist in so vollkommener Übereinstimmung mit den Beobachtungen von Stark (15), daß an ihrer

Richtigkeit kein Zweifel mehr bleibt. Während die klassische Theorie hier versagt, gibt die Quantentheorie alle die reichhaltigen Einzelheiten der Beobachtungen, sogar einschließlich der Polarisationsfragen (7) wieder. Auch die Frage nach den Intensitäten der Komponenten sind mit in die Theorie aufgenommen worden, so namentlich von Bohr (21), Epstein (22) und Kramers (23). Bohr geht dabei von dem Postulat aus, daß im Gebiet großer Wellenlängen die Ergebnisse der Quantentheorie und der Elektrodynamik in Übereinstimmung sein müssen. Unter Vereinigung dieses Postulats mit der Bohrschen Frequenzbedingung kommt Epstein schließlich durch Verwendung des Auswahlprinzips für die Lichtstärke und die Polarisationsverhältnisse in den Komponenten der Balmerreihe des Wasserstoffatoms und der Fowlerserie des Heliumatoms zu Ergebnissen, die mit den Beobachtungen harmonieren.

Gerade durch diese Theorie des Starkeffekts mit all ihren Einzelheiten ist eine Brücke zwischen der alten Wellentheorie und der Quantentheorie geschlagen, zwei Gebiete, die sich bis dahin völlig fremdartig gegenüberstanden. Ermöglicht wurde dies erst durch den Gedanken von Rubinowicz (24) und Bohr (21), neben der Energie Impuls und Impulsmoment der Strahlung zu betrachten und mit den entsprechenden Größen im Atom zu vergleichen.

Es soll aber nicht unerwähnt bleiben, daß Stark (4) trotz der großen Erfolge der Bohrschen Theorie gerade auf dem Gebiet des Starkeffekts doch auf Grund seiner Bedenken gegen die Voraussetzungen der Bohrschen Hypothese diese Theorie nicht für die endgültige hält. Er weist u. a. darauf hin, daß diese Theorie noch nicht restlos alle Besonderheiten in der Veränderung der Spektra durch das elektrische Feld wiedergibt. Es fehlt u. a. noch eine Erklärung für die scheinbare Polarität des Wasserstoffions im elektrischen Felde längs der Feldachse.

Die Aufspaltung der Spektrallinien im magnetischen Felde — den anomalen Zeemaneffekt — hat Sommerfeld (16) mit der Bohrschen Theorie unter Heranziehung des Kombinations- und des Auswahlprinzips in Einklang zu bringen versucht. Nach Runge ist die Schwingungsdifferenz  $\Delta\nu$  zweier Spaltungskomponenten einer Linie gegeben durch:

$$\Delta\nu = \frac{q}{r} a \cdot H, \quad (8)$$

worin  $H$  die Stärke des Magnetfeldes,  $r$  eine für den betreffenden Aufspaltungstyp feste und charakteristische Zahl, der sog. Rungesche

Nenner,  $q$  eine innerhalb des Aufspaltungsbildes veränderliche ganze Zahl, die von Komponente zu Komponente wechselt, der sog. Rungesche Zähler. Stellt man die gleichen Ausdrücke  $\Delta\nu_1$  und  $\Delta\nu_2$  für die beiden Terme auf, wobei  $\Delta\nu_2$  die Energieänderung der Anfangsbahn,  $\Delta\nu_1$  die der Endbahn des Elektrons durch die magnetische Beeinflussung bedeutet, so ergibt sich:

$$r = r_1 \cdot r_2, \quad (9)$$

woraus Sommerfeld einen magneto-optischen Zerlegungssatz herleitet: Der beobachtbare Rungesche Nenner der Termkombination zerlegt sich in den Rungeschen Nenner des ersten und zweiten Terms. Dieser Satz bestätigt sich sehr gut an dem erst kürzlich von Paschen (25) entwirrtene Neonspektrum mit seinen außerordentlich vielfachen Termen, deren Gesetzmäßigkeiten nach W. Grotrian (26) der Bohrschen Theorie der Kombinationen folgen.

6. Ein weiterer Ausbau der Quantentheorie läßt sich auf Grund relativistischer Betrachtungen gewinnen. Nach der Relativitätstheorie ist die Masse  $m$  mit der Geschwindigkeit  $v$  gegeben durch

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \quad (10)$$

worin  $m_0$  die Ruhmasse und  $c$  die Lichtgeschwindigkeit ist. Wendet man diesen Ausdruck auf die Keplerellipsen der Elektronen im Atom an, was Sommerfeld (7) schon vor dem Ausbau der allgemeinen Quantentheorie tat, so erhält man für die Schwingungszahl  $\nu$  folgende Form:

$$\nu = \frac{2N}{\alpha^2} \left[ \left\{ 1 + \frac{\alpha^2}{(n' + \sqrt{n'^2 - \alpha^2})^2} \right\}^{-1/2} - \left\{ 1 + \frac{\alpha^2}{(n + \sqrt{n^2 - \alpha^2})^2} \right\}^{-1/2} \right] \quad (11)$$

worin  $m'$  und  $m$  die Quantenzahlen der Anfangsbahn des Elektrons und  $n$  und  $n'$  die der Endbahn sind und  $\alpha$  die Geschwindigkeit des Elektrons auf seiner Bahn im Verhältnis zur Lichtgeschwindigkeit gegeben ist durch:

$$\alpha = \frac{2\pi e^2}{h \cdot c} \quad (12)$$

Diese Formel (11) stellt alle möglichen spektralen Äußerungen des Wasserstoffatoms dar. Für das wasserstoffähnliche ionisierte Helium wird

$$\alpha_1 = \alpha \cdot \frac{E}{e} \quad (13)$$

Nun ist beim Wasserstoff die durch die relativistische Korrektur zu erwartende Aufspaltung der Linien sehr klein. Beim ionisierten Helium, dessen Linien schärfer als die des Wasser-

stoffs sind, vermochte Paschen (8) mittels Funkenspektrum sowohl in der Fowlerserie, die ehedem fälschlich dem Wasserstoff zugeschrieben war, für die Liniengruppen  $468,6 \mu\mu$  und  $320,3 \mu\mu$  wie auch für die Linien der Pickeringserie die Aufspaltung mit aller gegenwärtig möglichen Genauigkeit nachgewiesen worden. Berechnet man rückwärts aus den gemessenen Differenzen in der Feinstruktur der Heliumlinien die Differenz  $\Delta \nu_H$  der Schwingungszahlen in der analogen Feinstruktur der Wasserstofflinien der Balmerserie, so ergibt sich  $\Delta \nu_H = 0,3645 \pm 0,0045$  als der beste mit der Theorie übereinstimmende Wert.

Unabhängig von Sommerfeld beschreibt A. Kramers (27) in Anlehnung an die Bohrsche Methode, gestörte periodische Systeme quantentheoretisch zu behandeln, einen Weg, der zu einer Theorie des Problems des relativistischen Starkoeffekts der Wasserstofflinien führt. Es zeigt sich, daß die Komponenten der Feinstruktur einer Linie bei Anwesenheit einer schwachen elektrischen Kraft sich in eine oder mehrere scharfe, polarisierte Komponenten aufspalten, die ursprünglich proportional dem Quadrat der Kraft verschoben sind. Die Intensitäten der dabei neu auftretenden Komponenten wachsen mit dem Quadrat oder einer höheren Potenz der elektrischen Kraft an. Nimmt die Feldintensität zu, so bleiben die Komponenten zwar scharf und polarisiert, gehen aber in die aus der Theorie des unrelativistischen Starkoeffekts bekannten Komponenten über, deren Abstände von der unzerlegten Linie proportional der ersten Potenz der Feldintensität anwachsen (28).

Während die Differenz der Wellenlängen der einzelnen Feinstrukturlinien beim Wasserstoff sehr klein, beim ionisierten Helium schon vergrößert sind treten sie bei den Röntgenspektren der Elemente um das  $(x - 7,4)^4$ -fache vergrößert auf, worin  $x$  die Kernladung bezeichnet. Die Röntgenspektren lassen sich hier deswegen gut heranziehen, da die bekannten Röntgenlinien  $K_\alpha$ ,  $L_\alpha$  und  $M_\alpha$ , wie auch E. Gehrecke (29) zeigte, wasserstoffähnlich sind nur mit der kleinen Modifikation, daß nicht wie bei der Balmerserie und beim ionisierten Helium die ganze Kernladung wirksam ist, sondern ein Teil derselben ist durch die im Atomverbände kernnäheren  $z - 1$  Elektronen abgeschirmt. Diese Linien sind, wie M. Siegbahn (30) zeigen konnte, in Dubletts zerlegt. Das bei jedem Element beobachtete Dublett  $L_\alpha$  zeigt eine Schwingungsdifferenz, die mit der des Wasserstoffs in dem theoretisch geforderten richtigen Verhältnis

$$\Delta \nu = (x - 7,4)^4 \cdot \Delta \nu_H \quad (19)$$

steht. Hierbei ist die Wasserstoffähnlichkeit, die theoretisch ein doppeltes Dublett erwarten läßt,

nur beschränkt; vollständig ist sie bei der  $K_\alpha$ -Linie. Diese Tatsache der Feinstruktur der Röntgenlinien läßt sich durch das ganze System der Elemente verfolgen. Nur stimmen Theorie und Messungsergebnisse numerisch für die Elemente höherer Atomnummer nach N. Sten-son (31) nicht genau überein. Aus dem genannten Zusammenhang scheint aber nach Sommerfeld (7) hervorzugehen, daß der Atom- aufbau innerhalb der Reihe  $z = 41$  ( $Nb$ ) und  $z = 92$  ( $U$ ) in seinen innersten Teilen einheitlich und nach demselben System angelegt ist.

Um auch die Theorie des  $L$ -Dubletts aufstellen zu können, nimmt Sommerfeld (7) an, daß die Elektronen auf mehreren Ellipsen kreisen, die zusammen ein regelmäßiges Polygon mit dem Kern als Zentrum bilden. Doch wies J. M. Burgers (32) nach, daß die Elektronen sich gegenseitig stören würden, wenn ihre Bahnen in einer Ebene liegen. Sommerfeld ist auf Grund von Stabilitätsberechnungen daher dazu geneigt, die Ellipsenbahnen räumlich anzunehmen, ein Gedanke, auf den Born (33) und Landé (34) aus anderen Gründen schon hingewiesen haben. Auch deuten Untersuchungen von Reiche und Smekal (35) über den Ursprung der  $K_\alpha$ -Linie darauf hin.

Sommerfeld untersuchte die Feinstruktur auch nach der Absoluttheorie. Er kommt dabei aber in seinem Buche (7) S. 376 zu dem bemerkenswerten Resultat, „daß die Absoluttheorie an den spektroskopischen Tatsachen Schiffbruch leidet und den von ihr früher behaupteten Platz endgültig an die Relativitätstheorie abgeben muß.“ Erwähnt sei, daß in der Theorie der Spektrallinien die spezielle Relativitätstheorie verwendet ist.

7. Bezüglich der sog. Viellinienspektren, die sich den Serien nicht einfügen lassen, wie z. B. das Viellinienspektrum und Schumannspektrum des Wasserstoffs, hat Wolfke (36) versucht, unter Anwendung der Bohrschen Quantensätze auf die Atomkerne eine Theorie aufzustellen, deren Ausbau auch wohl bald Erfolge aufweisen wird.

Erwähnt sei schließlich noch, daß A. Korn (37) eine mechanische Theorie der Serienspektren in Angriff genommen hat. Als Ursache der Lichtemission wird ein elektromagnetisches Feld angenommen, das durch mechanische Schwingungen elektrischer Teilchen hervorgerufen ist. Die Quantentheorie wird nicht verwendet; es können aber verschiedene Ergebnisse von Bohr in diese Theorie eingeordnet werden. Korn kommt zu einer Formel für die Spektralserie, die der Kayser-Rungeschen Formel analog gebaut ist. Sie ist bisher noch nicht geprüft worden.

## Literaturübersicht.

1. Diese Zeitschr. 29, 323–328, 1916. Vgl. auch M. Planck, Die Entstehung und bisherige Entwicklung der Quantentheorie, Nobelvortrag. Leipzig 1920.
- 1a. Ebenda 29, 269, 1916.
2. Phil. Magazine. 11. 166. 1906 u. 27. 494, 1914.
- 2a. Ebenda 30, 40, 1917.
3. Ebenda, 26. 1 u. 476. 1913 und Zeitschr. f. Physik. 2. 423 ff. 1920.
4. J. Stark, Änderungen der Struktur und des Spektrums chemischer Atome. Nobelvortrag. Leipzig 1920.
5. Phys. Zeitschr. 21. 621, 1920.
6. Vgl. u. a. Gehrcke u. Laue, Phys. Zeitschr. 21. 634, 1920.
7. A. Sommerfeld, Atombau und Spektrallinien. Braunschweig 1920.
8. Ann. d. Phys. 50. 901, 1916.
9. Phys. Zeitschr. 18. 429, 1917.
10. Phys. Zeitschr. 20. 228, 1919; 21. 114 u. 226, 1920. Vgl. auch Sommerfeld, Phys. Zeitschr. 21. 620, 1920.
11. Phys. Zeitschr. 17. 409, 1916 u. 20. 132, 1919. (Zusammenfassender Bericht mit Literaturverzeichnis.)
12. Phil. Mag. Juli 1918
13. Ann. d. Phys. 59. 293, 1919.
14. Münch. Ber. 1916. 131.
15. Jahrb. d. Rad. u. Elektr. 14. 139, 1917.
16. Ann. d. Phys. 63. 221, 1920.
17. Ebenda, 63. 1, 1920.
18. Verh. d. D. Phys. Ges. 20. 240, 1919.
19. Berl. Berichte d. Kgl. Pr. Akad. d. Wissenschaft. 1916.
20. Ann. d. Phys. 50. 489, 1915.
21. Kgl. Danske Vidensk. Selsk. Naturvidensk. Afd. 8. R. IV. 1. 1918.
22. Ann. d. Phys. 58. 553, 1919.
23. Skrifter, Kopenhagen (8). 3. 285, 1919. Vgl. auch Phys. Ber. 1. 1347, 1920.
24. Phys. Zeitschr. 19. 445 u. 465, 1918.
25. Ann. d. Phys. 60. 405, 1919.
26. Phys. Zeitschr. 21. 639, 1920.
27. Zeitschr. f. Phys. 3. 199, 1920.
28. Vgl. auch J. Franck, Zeitschr. f. Phys. 1. 2, 1920.
29. Phys. Zeitschr. 21. 378, 1920.
30. Jahrb. d. Rad. u. Elektr. 13. 296, 1916. Vgl. auch d. zusammenf. Bericht v. E. Wagner, Phys. Zeitschr. 18. 495, 1917. Kossel, Zeitschr. f. Phys. 1. 119, 1920 und Sommerfeld, ebenda, S. 135.
31. Zeitschr. f. Phys. 3. 60, 1920.
32. J. M. Burgers, Het Atommodel van Rutherford-Bohr. 161. Haarlem. 1918.
33. Verh. d. D. Phys. Ges. 20. 230, 1919.
34. Ber. d. Kgl. Pr. Akad. d. Wissenschaft. Berlin 1919.
35. Ann. d. Phys. 57. 43, 1918.
36. Phys. Zeitschr. 21. 407, 1920.
37. Ebenda, 20. 491, 1919 u. 21. 97, 1920.

## 4. Unterricht und Methode.

**Didaktik und Methodik des Chemie-Unterrichts in Baumeisters „Handbuch der Erziehungs- und Unterrichtslehre für höhere Schulen“.** Von E. Löwenhardt<sup>1)</sup>. Der Verfasser war vor die dankbare Aufgabe gestellt, den von R. Arendt verfaßten Chemischen Abschnitt in dem bekannten Baumeisterschen Handbuch neu zu bearbeiten. Die Bearbeitung ist aber keine bloße Verbesserung und Ergänzung der Arendtschen Ausführungen, sondern eine durchaus selbständige Leistung, in der der Verfasser seine eigene Auffassung eingehend darlegt, Diese Auffassung trägt den Fortschritten, die die chemische Methodik seit dem Erscheinen der Arendtschen Arbeit gemacht hat, weitgehend und gewissenhaft Rechnung. Immerhin kommt in der vorliegenden Arbeit Arendtscher Geist noch genügend zur Geltung, doch werden auch gewisse Mängel seiner Methodik nicht verschwiegen.

Nach treffenden Bemerkungen über „Bedeutung und Ziel des Unterrichts“, in denen besonders der erzieherische und induktive Wert des Chemieunterrichts überzeugend erörtert wird, legt der Verfasser seine Ansichten über „Die Behandlung des Lehrstoffes“ (S. 9/64) und „Die Schülerübungen“ (S. 65/94) dar — die beiden inhaltreichsten Abschnitte der wertvollen Schrift. Hier wird der Lehrgang von R. Arendt genau gekennzeichnet und zunächst die von F. Wilbrand und von O. Ohmann in ihren Hauptzügen angeschlossen. Dabei wird auch die wichtige Frage erörtert, ob es zweckmäßig ist, bei der Einführung in die Chemie von der atmosphärischen Luft oder von einem anderen Körper auszugehen. Weiterhin werden noch andere Lehrgänge, besonders von

Lüpke, Scheid und Bräuer, kritisch besprochen und alles in einer Weise dargelegt, daß im ganzen ein vorzügliches Bild von den Ergebnissen der neueren methodischen Bestrebungen entsteht. In dem Unterabschnitt „Die Behandlung der Theorien“ (S. 45/53) wird W. Ostwalds Ausspruch, daß „die Allgemeine und Physikalische Chemie die gegebene Grundlage jeder wirklichen chemischen Bildung und damit des chemischen Unterrichts von seinen allerersten Anfängen an“ sei, herangezogen und dementsprechend mit Recht auch die Notwendigkeit der Durchnahme der Ionentheorie betont. Hinsichtlich der hohen Wertschätzung der „Organischen Chemie“ (S. 54/63) kommt der Verfasser mit seinem Gewährsmann R. Arendt völlig überein. Löwenhardt legt hier seinen, schon 1896 in einer Programmabhandlung entworfenen Lehrgang ausführlich dar. Zu dem dortigen ersten Satz (S. 56): „Begriff der organischen Chemie. Darstellung des Harnstoffes durch Fr. Wöhler (Göttingen 1828)“ sei bemerkt, daß diese viel genannte Entdeckung in den denkwürdigen Berliner Aufenthalt Wöhlers fällt (vgl. diese Ztschr. 26, S. 48 u. 54). Das Ausgehen von den Kohlenwasserstoffen wird bevorzugt, doch wird auch das Verfahren von Scheid, der von Äthylalkohol ausgeht, geschildert.

In seinem eigensten Arbeitsgebiet bewegt sich der Verfasser im Abschnitt „Schülerübungen“. Er wird nicht müde, den hohen Wert dieser Übungen für den ganzen Chemieunterricht immer von neuem zu betonen. Ausführlich werden die verschiedenen Verfahren der Eingliederung dieser Übungen in den Gesamtunterricht dargelegt. Die Frage, ob die Übungen wahlfrei oder verbindlich sein sollen, wird durchaus zugunsten der letzteren entschieden. Art und Wesen der einge-

<sup>1)</sup> München, C. H. Beck, 1920. 115 S.

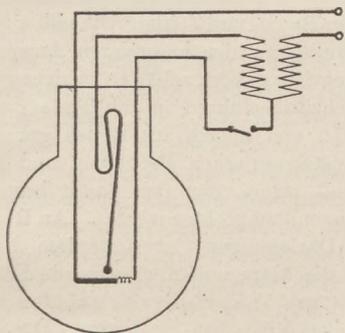
gliederten (verwebten) Schülerübungen legt der Verfasser, auf Grund seines „Leitfadens f. d. chem. Schülerübungen“ (Leipzig, Teubner), treffend dar an dem Beispiel der „Kohlensäure“, die von den physikalischen Eigenschaften an bis zur Synthese und Reduktion verfolgt wird. Daß bei einer solchen Auffassung von den Übungen ihr Wert gerade auch für die erste Einführung erkannt wird, ist einleuchtend, und wir sind dem Verfasser dankbar, daß er das Wort geprägt hat: „Nirgends sind die chemischen Schülerübungen unentbehrlicher als im Anfangsunterricht.“

In den Schlußabschnitten behandelt der Verfasser die „Technologie“, deren Berücksichtigung ihm eine „nationale Pflicht“ ist, nebst den Lehr-

ausflügen. Grundsätzlich wichtig sind noch die Ausführungen über „die Bedeutung geschichtlicher Gesichtspunkte“ sowie über „Schülervorträge und schriftliche Arbeiten“, wobei er sich weitgehend auf die vielseitigen treffenden Darlegungen von R. Winderlich stützt. Bezüglich aller Einzelheiten müssen wir auf die Arbeit selbst verweisen. Sie ist ein ausgezeichnete Niederschlag der gegenwärtigen didaktischen Bestrebungen und bietet Belehrungen und Anregungen in reichem Maße. Insbesondere erhoffen wir von ihr einen weiteren Gewinn für die Ausbreitung und den Ausbau der chemischen Schülerübungen, zu deren hervorragendsten Vorkämpfern der Verfasser gehört. (O. Ohmann.

### 5. Technik und mechanische Praxis.

**Eine Bogen-Glühlampe.** Während der letzten Jahre hat die Ediswan-Gesellschaft in Amerika eine Lampe entwickelt, die für mikrographische Arbeiten äußerst bequem und vorteilhaft ist. Die kleinste Form von 100 Kerzen Stärke hat folgende Einrichtung. In eine Glas- kugel von etwa 6 cm Durchmesser sind drei Zuleitungen eingeschmolzen. Die mittlere führt über eine doppelt gebogene Blattfeder zu einem



2 mm großen Wolframkügelchen, die beiden anderen sind dicht unter dem Kügelchen verbunden durch eine Brücke, die zu zwei Dritteln aus einem etwa millimeterstarken Draht, zum Rest aus einem eng aufgewickelten dünnen Draht besteht. Die Lampe wird, wie die Figur zeigt, mit einem äußeren und dem mittleren Draht über Widerstand ans Netz geschaltet. Nachdem das indifferente Gas, mit dem die Lampe gefüllt ist, ionisiert ist, bildet sich zwischen dem Kügelchen und dem Draht darunter ein schwachleuchtender Lichtbogen, der das Wolframkügelchen zu heller Weißglut erhitzt. Die Ionisierung wird durch die Spirale dünnen Drahtes bewirkt, indem man sie durch kurzen Schluß des Schalters zum Glühen bringt und wieder ausschaltet, sobald der Lichtbogen sich gebildet hat. Dabei steht das Kügelchen zunächst über der Heizspirale und wandert

erst, wenn seine Zuleitung vom Stromdurchgang erwärmt wird, in die Lage, die in der Zeichnung dargestellt ist. Die Blattfeder besteht also wohl, wie ein Metallthermometer, aus einem Doppelblatt.

Die Anodenspannung soll 15 Volt, die Kathodenspannung 2 Volt sein, die Zündspannung über 60 Volt. Durch Belegen der Heizspirale mit Oxyden soll die Zündspannung bis auf 24 Volt herabgesetzt werden können. Das Licht ist vollkommen ruhig, die Flächenhelligkeit etwa 5 mal so groß, als bei Halbwattlampen, steht also gegen Kohlenbogenlicht noch beträchtlich zurück, ist ihm aber für viele Arbeiten wegen seiner vollkommenen Unveränderlichkeit vorzuziehen. Für eine Kerze werden 0,7 Watt verbraucht (bei der 1000-Kerzenlampe, deren Einrichtung nicht so einfach ist, nur 0,47 Watt). Die Lebensdauer wird auf 700 Stunden angegeben. Bei Überlastung soll sich die Helligkeit bis aufs Dreifache steigern lassen. Der Preis ist leider sehr hoch, wenigstens für unser Geld. W. Vn.

**Neon-Glimmlampe und Gleichrichter.** Die Pintsch-Glühlampenfabrik brachte vor einiger Zeit eine Glühlampe in den Handel, die im Prinzip eine Geißleröhre ist, welche schon bei 160 Volt anspricht. Sie hat 5 Watt Verbrauch und ein so mildes Licht, daß durchaus keine Blendung eintritt, wenn man die Lampe anblickt. Aus diesem Grunde eignet sie sich vorzüglich als Signallampe. Für die Schule ist sie eine vortreffliche Lichtquelle zum Prüfen von Spektralapparaten und zur Demonstration eines reichen Linienspektrums. Bei Wechselstrom gibt sie intermittierendes Licht und kann dadurch unmittelbar zum Prüfen von Momentverschlüssen dienen.

Der Gleichrichter ist im wesentlichen eine große Form der Glimmlampe, nur sind die beiden Elektroden von sehr verschiedener Größe. Er gibt 0,2 Amp. Gleichstrom und muß mit einem

diese Stromstärke begrenzenden Widerstand verwendet werden (die Glühlampen haben den Widerstand im Sockel). Für unmittelbaren Gebrauch ist ja dieser unterbrochene Gleichstrom meist zu schwach, man kann bei 220 Volt aber 20 hintereinander geschaltete Bleisammler gleichzeitig aufladen. Bei dem unerschwinglichen Preis von Umformermaschinen ist dieser billige Gleich-

richter eine doppelt wertvolle Hilfe für die Schulen. Glühlampe und Gleichrichter werden von der Fabrik nicht einzeln abgegeben, sind also durch die bekannten Handlungen physikalischer Apparate zu beziehen. Der Preis der Glühlampe ist etwa der einer Glühlampe, der des Gleichrichters beträgt etwa das Fünffache.

W. Vn.

## Neu erschienene Bücher und Schriften.

**Die Mechanik in ihrer Entwicklung** historisch-kritisch dargestellt von Dr. ERNST MACH. Mit 257 Abbild. Achte, mit der siebenten gleichlautende Auflage. Mit einem Anhang: „Das Verhältnis der Machschen Gedankenwelt zur Relativitätstheorie“ von JOSEPH PETZOLDT. 524 S. Leipzig, F. A. Brockhaus 1921. Geb. M. 44,—.

Die Mechanik MACHs ist mehr als eine historisch-kritische Darstellung, sie hat sich immer mehr als ein klassisches, neue Fundamente legendes und in die Zukunft weisendes Werk erwiesen. Die Darlegungen MACHs rühren auch schon an das Problem der jüngsten Zeit, an die Relativitätstheorie; seine Auffassung von der Relativität der Rotation spricht dafür, daß er selbst der allgemeinen Relativitätstheorie zugestimmt hätte — weniger vielleicht hätte er sich mit der Forschung der Invarianz der Naturgesetze befreundet, der doch ein gewisser dogmatischer Charakter anhaftet, wenn auch der Ausgangspunkt auf dem experimentellen Gebiet liegt. Der Herausgeber sagt sogar in seinem Nachwort, daß die von MACH in der Schrift über die „Geschichte und Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit“ und in der „Mechanik“ niedergelegten Untersuchungen seit ihrer ersten Veröffentlichung im Jahre 1883 die Atmosphäre geschaffen haben, ohne die die Einsteinsche Relativitätstheorie nicht möglich gewesen wäre. Er bezeichnet MACHs Weltanschauung geradezu als relativistischen Positivismus, der indessen mit dem PETZOLDTschen Positivismus keineswegs durchweg identisch ist. Während MACH die Annahme eines den Wahrnehmungen zugrunde liegenden Dinges ablehnt, weil sie in den Empfindungstatsachen nicht fundiert ist, bezeichnet PETZOLDT sie geradezu als sinnlos. Eine solche Auffassung ist selbst Metaphysik. Der extreme Standpunkt PETZOLDTs kommt auch in seiner Polemik gegen Dingler zum Ausdruck, von dem MACH sich einst wesentliche Fortschritte in bezug auf die logische Seite der Mechanik versprach (vgl. auch *ds. Zeitschr.* 1920, S. 190). Warum nicht MACH selber schon den Schritt zur Relativitätstheorie vollzogen hat, setzt PETZOLDT in besonders interessanten Darlegungen auseinander.

P.

**Relativitätstheorie und Erkenntnis a priori.** Von H. REICHENBACH. V u. 110 S. 8°. Berlin, Julius Springer, 1920. M. 14,—.

**Zur Einsteinschen Relativitätstheorie.** Erkenntnistheoretische Betrachtungen. Von E. CASSIRER. 154 S. Berlin, Bruno Cassirer, 1920.

Beide Schriften behandeln die philosophische Bedeutung der Relativitätstheorie. Während Reichenbach zu dem Ergebnis kommt, daß die Relativitätstheorie den Kantschen Apriorismus zweifelsohne widerlege, versucht Cassirer zu zeigen, daß Umbildungen der Lehre von Zeit und Raum, wie die Einsteinsche, uns stets nur lehren könnten „die Grenzen zwischen dem, was zur rein philosophischen, zur „transzendentalen“ Kritik der Raum- und Zeitbegriffe selbst und dem, was lediglich zu den besonderen Anwendungen dieser Begriffe gehört, schärfer zu ziehen“ (S. 76). Beide Schriften führen in die Tiefe der durch Einstein von neuem ins Rollen gekommenen erkenntnistheoretischen Probleme, und ihr Studium muß jedem, der sich damit beschäftigen will, dringend empfohlen werden. An Reichenbachs Darlegungen ist außerdem besonders fesselnd die klare und überzeugende Erörterung des modernen Wahrheitsbegriffes auf dem Boden eines kritischen Realismus. Das Resultat Reichenbachs liegt etwa in folgenden Worten (S. 74): „Der Begriff des a priori erfährt . . . eine tiefgehende Wandlung . . . Allerdings gibt es apriore Prinzipien, welche die Zuordnung des Erkenntnisvorgangs erst eindeutig machen. Aber es ist uns versagt, diese Prinzipien aus einem immanenten System [wie Kant es entgegen allen Ablehnungen zu können geglaubt hat. D. Ref.] zu deduzieren. Es bleibt uns nichts, als sie in allmählicher wissenschaftsanalytischer Arbeit aufzudecken, und auf die Frage, wie lange ihre spezielle Form Geltung besitzt, zu verzichten.“

Gemeinsam ist beiden Schriften die uneingeschränkte Anerkennung dessen, daß die Relativitätstheorie in der Tat wesentlich neue Gesichtspunkte für die Erörterung des Raum-Zeit-Problems beigebracht hat. Auch Cassirer bestreitet keineswegs, daß die Kantsche Formulierung sich als reformbedürftig heraus-

gestellt habe. (Erst recht gilt dies nebenbei hinsichtlich des Begriffs der Materie und des Erhaltungssatzes, vgl. Reichenbach S. 75.) Sollte die Relativitätstheorie selbst schließlich durch das Experiment widerlegt werden, so werden die neuen Gesichtspunkte, die sie der Erkenntnistheorie geliefert hat, zweifellos doch ihre große Bedeutung behalten.

*Bavink.*

**Theoretische Mechanik.** Eine einleitende Abhandlung über die Prinzipien der Mechanik. Mit erläuternden Beispielen und zahlreichen Übungsaufgaben. Von A. E. H. LOVE. Autoris. deutsche Übersetzung der zweiten Auflage von Dr.-Ing. Hans Polster. Mit 88 Textfiguren. XIV u. 424 S. 8°. Berlin, Julius Springer, 1920. M. 48,—, geb. M. 54,—.

Die Schrift baut sich nach englischer Tradition auf Newtons Grundgesetzen auf, sie umfaßt nur den elementaren Teil der höheren Mechanik bis zur Bewegung starrer Körper und Körpersysteme, der Bewegung eines Seiles oder einer Kette und der Drehung der Erde. In einem Schlußabschnitt werden die Prinzipien der Dynamik zusammenfassend besprochen. Als die wichtigste Tatsache der ganzen Mechanik wird hervorgehoben, daß das Verhältnis zweier Massen auf Grund des Gravitationsgesetzes und auf Grund der Stoßvorgänge dasselbe sei. Der Versuch der Energetik, die Mechanik auf den Begriffen der Masse und der Energie unter Ausschaltung des Kraftbegriffs aufzubauen, wird wegen der Schwierigkeit, die Masse ohne den Kraftbegriff klar und bestimmt zu veranschaulichen, abgelehnt. Gegenüber der relativistischen Auffassung wird das Fixsternsystem und ein korrigiertes Erdenzeitsystem für ausreichend angesehen. Eine große Anzahl von Übungsaufgaben, meist den Examensakten von Cambridge entnommen und mit den Resultaten versehen, dient dem Buch zur besonderen Empfehlung.

*P.*

**Atombau und Spektrallinien.** Von ARNOLD SOMMERFELD, Professor der theoretischen Physik an der Universität München. 2. Auflage. Mit 109 Abbild. 583 S. Braunschweig, Fr. Vieweg u. Sohn, 1921. M. 38,—, geb. M. 45,—.

Schon binnen Jahresfrist ist eine neue Auflage dieses ausgezeichneten Werkes erschienen, das nicht nur eine Übersicht über die neuesten Ergebnisse auf diesem ungemein interessanten Gebiet liefert, sondern zugleich den Leser mitten hinein in den Strom der rasch vorwärtsdringenden Forschung führt und die Probleme aufzeigt, deren Lösung schon von der nächsten Zukunft zu erwarten ist, so das Problem der Umwandlung von Wellenstrahlung in korpuskulare Strahlung, das Problem der Anordnung der Elektronen im Atom und vor allem das Problem des Aufbaus der Atomkerne, die sogenannte Kernphysik. Wenn

in der Besprechung der ersten Auflage (*ds. Zeitschrift* 33, 73) die Darstellung als stark subjektiv gefärbt bezeichnet worden ist, so dürfte dies mindestens insofern berechtigt erscheinen, als der Verfasser selbst im Vorwort der neuen Auflage zugesteht, daß ihm manche Sachen schon bei der ersten Auflage bedenklich erschienen die seither durch die Entwicklung überholt worden sind. Aber gerade dieses subjektive Element ist ungemein reizvoll, weil es unmittelbar in die Gedankenwerkstatt des Forschers hineinzublicken gestattet, in der manches Werkstück verworfen, anderes wiederholt umgeformt werden muß, ehe der Prozeß der Anpassung der Gedanken an die Tatsachen zu einem gewissen Abschluß gekommen ist. Die Heranziehung der Relativitätslehre wie der Quantentheorie zeigt zugleich, wie innig die hier behandelten Gegenstände mit anderen heute im Vordergrund stehenden Forschungsgebieten verknüpft sind. Das beständige Ineingreifen von theoretischem und experimentellem Vorgehen ist auf diesem modernsten Gebiete besonders eindrucksvoll, es führt zu so erstaunlichen Ergebnissen wie die Erklärung der Feinstruktur der Linienspektren u. a. m. Sowohl wegen seines reichen und fesselnden Inhalts als auch wegen der dargebotenen Einsicht in das Verfahren wissenschaftlicher Untersuchungen können wir das Werk unseren Fachgenossen nur aufs nachdrücklichste zur Kenntnisnahme und zum Studium empfehlen.

*P.*

**Schwankungserscheinungen in der Physik.** Von Dr. REINHOLD FÜRTH. (Sammlung Vieweg: Die Wissenschaft, Heft 48.) VI und 93 Seiten. 1920. Verlag Fr. Vieweg & Sohn, Braunschweig. M. 4,50 + T.-Z.

Die Schwankungserscheinungen spielen in so vielen Einzelgebieten der Physik eine wichtige Rolle, daß eine zusammenhängende Darstellung zu begrüßen ist. Der Verfasser behandelt in sieben Kapiteln: 1. Die Schwankungen vom Standpunkt der Wahrscheinlichkeitsrechnung, 2. Die Kolloidstatistik, 3. Die thermodynamische Statistik, 4. Schwankungen des elektrischen und magnetischen Zustandes, 5. Chemische Schwankungen, 6. Radioaktive Schwankungen, 7. Strahlungsschwankungen.

*E. Gehrecke.*

**Die Prinzipie der Dynamik.** Von CLEMENS SCHAEFER. Vereinigung wissenschaftlicher Verleger, Berlin und Leipzig 1919. 76 Seiten. M. 8,50.

Die Schrift behandelt die mathematischen Prinzipie der Mechanik und legt ihre gegenseitigen Abhängigkeiten dar. Anfangend vom Prinzip der virtuellen Verrückungen kommt man, um nur einige Etappen der Darstellung zu nennen, über das Prinzip von d'Alembert und Hamilton bis zur Gibbs-Appelschen Form der Bewegungsgleichungen.

*E. Gehrecke.*

**Das moderne Spiegelteleskop.** Von EUGEN VON KRUDY. 84 S. 53 Fig. 2 Tafeln. Leipzig 1919. Eduard Heinrich Mayer. M. 7,50, geb. M. 10,50.

Das Spiegelteleskop hat vor dem Linsenfernrohr einige Vorteile voraus, die ihm, nachdem es Jahrzehnte hindurch wenig Beachtung gefunden hat, neuerdings wieder besondere Wertschätzung eingebracht haben. Der Verfasser setzt dies auseinander und gibt dann einen Abriß der Geschichte des Spiegelteleskopes, dabei zugleich die älteren Instrumente nach ihrer Beschaffenheit wertend. Dann gibt er auf Grund persönlicher Erfahrung eine Anleitung zur Herstellung eines Sechszöllers. Der Schliff des Spiegels geschieht ohne Schleifschalen, indem planmäßig von einer Erscheinung Gebrauch gemacht wird, die nur zu leicht beim Schleifen von Planflächen als Störung auftritt. Das Schleifen, Polieren, Vorprüfen, Parabolisieren, Nachprüfen und Berichtigen des Spiegels ist sehr eingehend und anschaulich geschildert. Als Öffnungsverhältnis ist 1:6 gewählt. Unter Anleitung des Verfassers ist in Basel bereits eine Anzahl derartiger Instrumente mit gutem Erfolg angefertigt worden. Auch erklärt sich der Verfasser bereit, allen, die beim Arbeiten nach seiner Anleitung auf Schwierigkeiten stoßen, schriftlich weiteren Rat zu geben. Da v. KRUDY auf der von ihm geleiteten Flammarionsternwarte in Luzern über mehrere gute Spiegelfernrohre bis zu 20 Zoll verfügt, kann man wohl erwarten, daß er die erlangten Ergebnisse nicht überschätzt.

W. Vn.

**Die Selbsterstellung eines Spiegelteleskopes.** Von A. MIETHE. 89 S. 25 Abb. Stuttgart, Franckh 1920. M. 6,60, geb. M. 9,80.

Zu alten Jugendneigungen zurückkehrend, hat der bekannte Leiter des photochemischen Laboratoriums der technischen Hochschule Berlin-Charlottenburg sich mit der Selbstanfertigung von Spiegelteleskopen beschäftigt. Langjährige Erfahrung als Leiter bedeutender optischer Werkstätten, alte Liebe zur Astronomie und persönliche Geschicklichkeit in allerlei Handwerk kommen hier glücklich zusammen. Daß auch die erlangten Ergebnisse nicht überschätzt werden, dafür sorgt außer dem Verfasser auch das vortreffliche Spiegelteleskop von 30 cm Öffnung, das seit einigen Jahren zu seiner Verfügung steht. MIETHE leitet also unter eingehender Begründung seiner Vorschläge zum Bau eines Spiegelfernrohres von 13 cm Durchmesser und 1,5 m Länge an. Die Hauptschwierigkeit liegt in der Politur des Spiegels, deshalb wird auf ein besonders sicheres Polierverfahren der größte Wert gelegt. Im übrigen ist natürlich darauf Bedacht genommen, überall mit geringen Kosten auszukommen; der

Verlag besorgt alle erforderlichen Rohstoffe und Hilfsmittel zu mäßigen Preisen. W. Vn.

**Technisches Denken und Schaffen.** Eine gemeinverständliche Einführung in die Technik. Von Prof. G. VON HANFSTENGL. Dipl.-Ing. Zweite, durchgesehene Auflage. Mit 153 Abb. 212 S. Berlin, Julius Springer, 1920. Geb. M. 20,—.

Der ersten in ds. Zeitschr. 33, 117 überaus rühmend besprochenen Auflage ist sehr rasch diese zweite gefolgt. Wie im Vorwort erwähnt, hat das treffliche Buch nicht nur bei Lehrern, Studierenden und Schülern sowie bei Technikern, sondern auch in kaufmännischen und juristischen Kreisen und selbst bei Frauen Beifall gefunden. Besonders bemerkenswert sind Mitteilungen des Verfassers über Äußerungen des nordamerikanischen Staatssekretärs Franklin S. Lane, in denen der technische Geist als die Fähigkeit bezeichnet wird, festbegründete Entwürfe zu machen, und auf der sicheren Grundlage von Tatsachen vorauszu denken. Dieser Geist müsse auch in der Staatsverwaltung maßgebend werden, wenn fruchtbare Arbeit geleistet werden solle. Ähnlich ist auch in einem Aufsatz von K. Radunz ausgeführt worden, daß der Reichtum der Kulturarbeit vor allem in dem Besitz von technischen Ideen bestehe und daß dieser Besitz den an Gütern unendlich übertreffe. Von diesem Gesichtspunkt aus können wir das Werk nur von neuem der Beachtung unserer Leser empfehlen. P.

**Die wissenschaftlichen Grundlagen der Elektrotechnik.** Von Prof. Dr. GUSTAV BENISCHKE. 5. verm. Auflage mit 602 Abbildungen. 656 S. gr. 8°. Berlin, Julius Springer, 1920. M. 66,—, geb. M. 76,—.

Als wissenschaftliche Grundlagen der Elektrotechnik sind fast die gesamten Lehren von der Elektrizität und dem Magnetismus anzusehen, das Buch gibt daher eine ziemlich vollständige Darstellung dieses Gebietes vom elektrotechnischen Gesichtspunkte aus und ist dadurch besonders reizvoll auch für den wissenschaftlichen Fachmann: Selbst in die Elektronik reicht wegen der Glühkathodenröhren das Stoffausmaß hinein. Von Interesse ist auch, daß der Verfasser die symbolische Schreibweise der mathematischen Formeln ablehnt, da er in ihnen keine Erleichterung sieht und an ihrer physikalischen Undurchsichtigkeit Anstoß nimmt. „Wer nicht nur formalistisch rechnen, sondern die Rechnungen mit physikalischen Vorstellungen begleiten will — und das ist unbedingt nötig, wenn man neue Erkenntnisse zutage fördern will — muß die natürliche Rechenweise anwenden“. Auch dies ist ein Vorzug für den Physiker, der das Buch studieren will. Nicht bloß in technischer, sondern auch in wissenschaftlicher Hinsicht ist aus dem Buch vieles zu lernen. Erwähnt sei, daß der Verfasser

die Maxwell'sche Hypothese, wonach der fingierte Verschiebungsstrom in einem „Dielektrik“ von magnetischen Kraftlinien und das magnetische Feld eines Wechselstroms von in sich geschlossenen elektrischen Kraftlinien umschlossen sein soll, für unhaltbar erklärt (S. 329). Auch die von H e n d r i c h beobachtete Drehung eines Metall- und eines Glasstäbchens im Innern eines von Wechselstrom magnetisierten geschlossenen Eiseneringes (*ds. Zeitschr.* 26, 181) rühren nicht von in sich geschlossenen elektrischen Kraftlinien her, sondern von solchen, die von der einen Hälfte des stromführenden Leiters ausgehen und auf der anderen Hälfte endigen. P.

**Lehrbuch der anorganischen Chemie.** Von Dr. KARL A. HOFMANN, G.-R., Prof. u. Leiter des anorg.-chem. Lab. d. Techn. Hochsch. Berlin. 3. Aufl. Mit 122 Abb. u. 7 farb. Tf. Braunschweig, F. Vieweg u. Sohn, 1920. XX u. 744 S. M. 36,—, geb. M. 45,—.

Der rasche Absatz auch der 2. Auflage, der schon nach kurzer Zeit eine Neuauflage erforderte, ist der beste Beweis dafür, daß mit dem wunder-vollen Lehrbuche eine vorhandene Lücke ausgefüllt wurde. In der Neuauflage ist der Umfang des Buches derselbe geblieben. Das Lehrbuch ist in hohem Maße berufen, zur Hebung der Chemie in Deutschland beizutragen.

O. Ohmann.

**Lehrbuch der Chemie und Mineralogie** für den Unterricht an höheren Lehranstalten. Von Dr. A. LIPP, weil. Professor an der Technischen Hochschule in München. II. Teil. Mit 68 in den Text gedruckten Abbildungen und einer Spektraltafel. Siebente, umgearbeitete Auflage von Prof. Dr. J. Rubenbauer an der Oberrealschule in Augsburg. Stuttgart und Berlin, Fr. Grub, 1919. IV und 275 S.

Die Neubearbeitung des I. Teiles hatte nach dem Tode des Verfassers J. Reitingers ausgeführt (vgl. *ds. Zeitschr.* 32, S. 213, 1919). Nunmehr liegt auch die des II. Teiles durch J. Rubenbauer vor. Sie bringt die anorganische und die organische Chemie in einem Umfange, wie er an Oberrealschulen und Realgymnasien wohl bewältigt werden kann; von einem besonderen mineralogischen Abschnitt konnte wegen der Behandlung der Mineralogie im I. Teile abgesehen werden. Der Stoff ist systematisch geordnet; der erste Abschnitt enthält „allgemeine Begriffe und Gesetze“. Die übrigen Abschnitte sind überschrieben „Metalloide, Einteilung der Metalle (worunter die ganze Chemie dieser zu verstehen ist), das periodische System der Elemente und organische Chemie“. Die physikalische Chemie sowie neuere Ergebnisse sind ausreichend berücksichtigt, ebenso befriedigen die geschichtlichen Angaben. Für die technische Chemie wird vielleicht mancher

Lehrer in einigen Kapiteln — beispielsweise beim Schwefelsäure-Kontaktverfahren und bei der Verwertung des Luftstickstoffs — größere Ausführlichkeit wünschen. Anleitungen zu Schülerübungen sind nicht beigelegt. Das Sachregister am Schlusse ist nicht frei von Lücken, so sucht man in ihm Schwefelsäure, die Edelgase und anderes, was in Texten behandelt ist, vergeblich. Auch manche Ungenauigkeit in den chemischen Gleichungen und gewisse eigentümliche Ausdrücke — das CN benimmt sich wie ein Element u. dergl. — wären für die Zukunft zu verbessern. J. Schiff.

**Anleitung zur qualitativen Analyse** von ERNST SCHMIDT. Achte Auflage. Berlin, Julius Springer, 1919. IV u. 104 S. kl. 8°. M. 5,—.

Das Büchlein, dessen ältere Auflagen in dieser Zeitschr. nicht besprochen worden sind, ist für den Hochschulunterricht bestimmt. In der Einleitung findet namentlich die Ionentheorie eine gründliche Erläuterung. Der erste Abschnitt bringt die Reaktionen der wichtigeren Basen (Kationenbildner) und wichtigeren Säuren (Anionenbildner) und erläutert sie durch die Reaktionsgleichungen. Im zweiten Abschnitt folgen in üblicher Weise die Methoden der Vorprüfung und die eigentliche Analyse. Ein Anhang handelt von den Reaktionen einiger seltenen Elemente, einiger organischen Säuren und von den Grundzügen der Analyse entsprechender Substanzen. Das Schriftchen, das durch vorzügliche Klarheit und Übersichtlichkeit ausgezeichnet ist, sei den Chemielehrern der höheren Schulen zur Beachtung warm empfohlen. J. Schiff.

**Chemisch-mineralogischer Kursus.** Leitfaden der Chemie und Mineralogie für höhere Lehranstalten. Nach aufbauendem Lehrverfahren bearbeitet von OTTO OHMANN. 7. durchgearbeitete Auflage. Mit 162 Figuren und einer Spektraltafel. Berlin 1921, Winkelmann & Söhne. VIII und 212 S. M. 9,— einschl. T.-Z.

Dem Buche kann nachgerühmt werden, daß es die besondere Bedeutung der Chemie für Ausbildung des Beobachtungs- und Denkvermögens zu vollem Ausdruck bringt und einen hohen Rang in der einschlägigen Literatur einnimmt (vgl. auch *ds. Zeitschr.* 29, S. 337, 1916). Die neue Auflage zeigt eine Reihe von Verbesserungen, insbesondere durch Berücksichtigung der Forschungsergebnisse, zweckmäßige Ausgestaltung der Schülerübungen und maßvolle Vermehrung der geschichtlichen Angaben. Beispielsweise sei auf die höchst lehrreiche Besprechung der radioaktiven Elemente und auf die kurze, aber inhaltreiche Würdigung der Phlogistontheorie vom energetischen Standpunkt aus hingewiesen. Auch den wertvollen Anregungen, die neuerdings Alfred Stock (vgl. *ds. Zeitschr.*

32, S. 62 ff., 1919) gegeben hat, trägt der Verfasser durch Einfügung statistischer Daten und Hinweise auf die wirtschaftliche Bedeutung der Chemie sowie bezüglich der Nomenklatur Rechnung. Möge das bewährte Buch immer weitere Verbreitung — ganz besonders auch durch die zu erwartende Verstärkung des Chemieunterrichts am humanistischen Gymnasium — finden.

J. Schiff.

**Leitfaden für den Arbeitsunterricht der Chemie und Mineralogie.** Für die IV. Klasse der (österreichischen) Realschulen. Von Dr. JOSEF HOFFMANN, Direktor der Staatsstiftungsrealschule in Wien III. Mit 75 Abb. Wien, F. Deuticke 1918. 110 S. K. 4.

— Desgl. für die V. Klasse. I. Teil: Fragen und Vorarbeiten für den Lehrstoff. II. Teil: Zusammenfassung und Erweiterung des Unterrichtsstoffes. Mit 33 und 49 Abb. sowie 1 Spektraltafel. Wien, F. Deuticke 1919. 61 + 176 S. Kart. K. 8.

Der Lehrstoff ist so behandelt, daß im ersten Teil beider Leitfäden (S. 1/30 bzw. 1/61) gestellte Fragen die Hauptsache bilden — und zwar Fragen, die vom Schüler, möglichst auf Grund von Schulübungen, zu lösen sind —, während in einem zweiten Teil (S. 31 bis 110, bzw. S. 1 — also unzweckmäßigerweise wieder von vorn beginnend, ohne daß etwa die Seitenzahlen kursiv gedruckt wären — bis 176) nominell die „Zusammenfassung und Erweiterung des Unterrichtsstoffes“, dabei aber auch die Auflösung jener Fragen, wenigstens im großen und ganzen, geboten wird. Wir halten dieses Verfahren nicht gerade für eine glückliche Neuerung.

Wird im Lehrbuch, d. h. in dem Teil, mit dem sich der Schüler gerade zuerst zu beschäftigen hat, der Unterrichtsstoff in lauter Fragen — die keineswegs immer eindeutig oder leicht zu lösen sind — aufgelöst oder wenigstens mit solchen Fragen so stark durchsetzt wie hier, so muß dies in dem das Lehrbuch gewissenhaft benützenden Schüler ein Gefühl der Unsicherheit und der Unbefriedigung hervorrufen, das das Gegenteil von dem bewirkt, was der Verfasser — in anerkennenswerter Begeisterung für den Unterrichtsgegenstand — mit seinem Vorgehen sicher beabsichtigt. Bei dem hier vorliegenden Verfahren, befürchten wir, wird der Schüler die Fragestellung meist nicht selbst durchdenken, sondern wird weiter blättern und zu der im zweiten Teil befindlichen, nummerweise korrespondierenden Lösung greifen. Wie steht es nun mit der methodischen Stoffbehandlung selbst, zumal mit der grundlegenden ersten Einführung in das neue Gebiet? Auf diese wird ja immer, mag sonst ein Lehrgang gestaltet sein wie er will, sehr viel ankommen. Hier versagt aber der

erste Leitfaden ganz. Es wird — wie leider noch meist üblich — mit der atmosphärischen Luft begonnen. Der allerersten Fragestellung „Wie können wir annähernd das Gewicht von 1 l Luft bestimmen?“ folgt in sechs Zeilen als Nr. 2 die nähere Anweisung zu dem Versuch des Verbrennens einer Kerze in einem unten durch Wasser abgeschlossenen Luftraum; „beobachte, was weiter geschieht! ziehe daraus Schlüsse!“ Damit ist das „1. Arbeitsgebiet“ erledigt (was sonst in den Lehrbüchern als Abschnitt oder Paragraph zusammengefaßt wird, ist hier immer mit „Arbeitsgebiet“ bezeichnet). Hierzu heißt es dann im Teil II unter Nr. 2 wörtlich „der übrig gebliebene Teil der Luft, der das Verbrennen nicht mehr unterhält, vielmehr die Flamme erstickte, heißt Stickstoff, jener, der zur Verbrennung des Kerzens nötig war, Sauerstoff. (In Fettdruck:) Es besteht somit die Luft aus einem Gemenge von  $\frac{4}{5}$  Stickstoff und  $\frac{1}{5}$  Sauerstoff. Wir haben hiermit die Luft in ihre Bestandteile zerlegt oder analysiert (!). Reinen Sauerstoff und Stickstoff können wir mit unsern Mitteln nicht weiter zerlegen; wir nennen sie daher Grundstoffe oder Elemente“. Aus einem längst als unzulänglich erwiesenen Versuche wird also, an unsichtbaren Gasen, ein Fundamentalbegriff abgeleitet, der bei seiner durchgreifenden Bedeutung erst ganz allmählich zu erarbeiten ist. Die große didaktische Kraft, die in einer geordneten Luftuntersuchung steckt, wird auf diese Weise völlig verflüchtigt. Auf derselben ersten Seite wird dem Schüler metallisches Natrium und „rotes Präzipitat“ eingehändigt; auf der zweiten wird ihm der Gebrauch des Blechgasometers gelehrt, auf der dritten wird mit dem elektrischen Strom „angesäuertes Wasser“ zerlegt, wird ihm Kupfervitriol und dann bald Kaliumhydroxyd, Pottasche und andere Fremdkörper eingehändigt — kurz, alle didaktischen Fehler, die man infolge der methodischen Bemühungen der letzten Jahrzehnte für überwunden glaubte, tauchen hier von frischem auf. Weiterhin ist die Stoffbehandlung etwas besser, geht aber meist nicht einfach genug vor und bringt zu vielerlei durcheinander. Der Raum verbietet leider, dies im einzelnen zu belegen.

Im zweiten, die anorganische Chemie zum Abschluß bringenden Leitfaden finden wir viel Licht aber auch sehr viel Schatten. So sehr wir auch das Bestreben, alles möglichst praktisch erarbeiten zu lassen, anerkennen wollen, können wir uns mit der Art, wie dies hier geschieht, zumeist nicht einverstanden erklären. Das Fortschreiten ist viel zu unruhig, es werden auf der einzelnen Seite, besonders im Bereich der „Arbeitsgebiete“, zu viel heterogene Dinge zusammengebracht, so daß nur selten im Schüler ein klares

Bild erzeugt werden wird; desgleichen geht das Buch oft viel zu weit ins Fachwissenschaftliche hinein (z. B. bei den Arsen-, Antimon- und Wismutverbindungen, die sich auf mehr als acht volle Seiten erstrecken). Auch die Fragen sind oft zu unbestimmt. Was soll der beste Schüler mit einer Frage anfangen wie diese: „Wie wirkt Thermit bei Gegenwart von organischen Stoffen auf Ammoniumnitrat, wenn bei der Bildung des Aluminiumoxydes 380 000 Kal. frei werden?“ (voran ging die Entzündung eines Thermitgemisches). Es würde einen wahren Rattenkönig von Beanstandungen geben, wollten wir darlegen, wie der Verfasser diese Frage im II. Teil auflöst, und wollten wir die darin auftretenden Irrtümer klarstellen. Hier ist, wie überall im Buche, die Kalorie unrichtig (groß Kal. statt klein cal.), also um das Tausendfache zu groß, angegeben. Auch noch andere Einzelheiten fallen ins Gewicht; die ziemlich fundamentale Sache vom status nascendi (bei der gerade der Zerfall in die Atome das Wirksame ist) wird hier so erklärt (S. 132): „Man gelangte daher zur Ansicht, daß entstehender Wasserstoff aus einfachen Molekülen bestehe, die sich rasch zu zusammengesetzten (Polymerisation) vereinigen. Letztere sind weniger reaktionsfähig, können aber bei Wärmezufuhr in einfache, chemisch wirksamere überführt werden (Wertänderung der inneren Energie).“ Das klingt alles recht schön und sicher, ist aber doch ganz schief. Ebenso verfehlt ist die Erklärung (in Fettdruck): „Chemische Vorgänge, wie die Verbrennung des Wasserstoffes, die Wärme frei machen, heißen exothermische, zum Unterschiede von endothermischen, wie beispielsweise die Auflösung des Aluminiums durch Schwefelsäure u. a., welche erst bei Wärmezufuhr vor sich gehen“ (S. 12<sub>2</sub>). Nun sind gerade die Metallsulfatbildungen Vorgänge von recht bedeutend positiver Wärmetönung; schlimmer ist aber, daß durch den letzten Relativsatz der Schüler mit seinem Denken in eine ganz falsche Weiche gebracht wird. Der Nachweis der Salpetersäure beruht nicht auf der „Molekularverbindung  $\text{FeSO}_4 \cdot \text{NO}$ “ (S. 28<sub>2</sub>), sondern auf der Bildung des komplexen Ions  $(\text{FeNO})^+$ . Vitriol, d. h. Kupfervitriol, wird als „Ölglas“ etymologisch erklärt; zur Heparprobe mit Schwefelblei heißt es in einer Fußnote „Hepar, gr. = Schwefel“ (S. 71<sub>2</sub>). Andererseits sei aber von neuem betont, daß das Bestreben, das periodische System selbst aufbauen zu lassen, das Heranziehen der figürlich dargestellten Brownschen Molekularbewegung gelegentlich der Erläuterung der Gasnatur, etliches Experimentelle und manches andere, nicht nur von Unterrichtserfahrung, sondern auch von Wissen und Können zeugen. Wir glauben, daß durch eine gründliche Umarbeitung, wobei auch

das, was die praktische Arbeit im chemischen Unterricht zu besagen hat, in weniger aufdringlichem Gewande auftritt, dieser Most doch noch einen klaren Wein geben kann. O. Ohmann.

**Technische Chemie für Maschinenbauschulen.** Von Prof. Dr. S. JAKOBI. 2. Aufl. Mit 101 Abb. Berlin, J. Springer, 1920. 160 S. M. 11.—.

Das Buch hat in seinem einführenden Teile, wie bereits früher (*ds. Zeitschr.* 28, 110) erwähnt, verschiedene methodische Mängel aufzuweisen. Die in die eigentliche Technik einführenden Kapitel haben dagegen eine klare und sachkundige Behandlung erfahren, die in der Neuauflage noch weitere Verbesserungen zeigt. Die vorzüglichen Abbildungen in diesen Teilen sind noch besonders hervorzuheben. O.

**Sammlung Götschen: 1. Lötrohrprobierkunde.** Von Prof. Dr. M. HENGLEIN. Mit 11 Fig. 2. verb. Aufl. 1920: 86 S. M. 4.20. — **2. Allgemeine und Physikalische Chemie.** II. Teil. Von Prof. Dr. H. KAUFFMANN. 2. verb. Aufl. 148 S. M. 1.80. — **3. Chemie. Organischer Teil.** Von Dr. JOS. KLEIN. 5. verb. Aufl. 187 S. M. 4.20. Berlin-Leipzig. Vereinigung wissenschaftl. Verleger Walter de Gruyter & Co.

Nr. 1 ist eine ausgezeichnete Einführung in die Mineraluntersuchung mit Hilfe des Lötrohrs. Es ist gleichzeitig eine für viele Zwecke ausreichende „Qualitative Analyse“. Ammoniak als Masculinum zu bezeichnen, ist ungewöhnlich. Das kleine inhaltreiche Buch ist warm zu empfehlen.

In Nr. 2 finden die Valenzlehre, Thermo-, Elektro- und Photochemie sowie die „Eigenschaften der Atome“ eine gediegene Bearbeitung, während Nr. 3 ein übersichtliches Gesamtbild des Riesengebietes gibt. Bei beiden muß ein Hinweis auf die neue Auflage genügen. O.

**Stoffkunde.** Einführung in die Waren-, insbesondere in die Chemikalienkunde. Von Prof. Dr. V. PÖSCHL, Dir. d. Inst. f. Warenkunde a. d. Handelshochschule Mannheim. Mit 148 Abb. 1919. Leipzig, G. A. Gloeckner. 457 S. Geb. M. 20.—.

Diese „Stoffkunde“ ist dadurch gekennzeichnet, daß sie die Waren- und Chemikalienkunde mit der Einführung in die Chemie unmittelbar vereinigt; ob zum Vorteil der letzteren, sei dahingestellt. Jedenfalls halten wir den Versuch, das (umfassende) Wort Chemie durch das (verflachende) „Stoffkunde“ ersetzen zu wollen, für verfehlt. Unrichtig ist, daß der Sauerstoff erst „von Lavoisier in der Luft nachgewiesen“ wurde; das taten bereits Scheele wie Priestley. Im übrigen erfährt die Waren- und Chemikalienkunde in dem Buche eine aus-

gezeichnete, durch viele gute Abbildungen gestützte Behandlung. *O. Ohmann.*

1. **Die Teerfarbstoffe.** Von Prof. Dr. HANS TH. BÄCHERER. 2. Aufl. 160 S. M. 1,60 + 50% T.-Z. 2. **Chemie der Kohlenstoffverbindungen.** Von Prof. Dr. HUGO BAUER. II. Aliphatische Verbindungen. 2. Teil. 3. Aufl. 126 S. Sammlung Göschel, Berlin u. Leipzig, Walter de Gruyter & Co.

Beide Bändchen der bekannten Sammlung sind wissenschaftlich zuverlässige Führer für die behandelten Gebiete und verdienen von neuem der Beachtung empfohlen zu werden. *O.*

**Vor neuen Aufgaben der Schulerziehung** von Prof. Dr. BASTIAN SCHMID. 51 S. (Heft 8 der Sammlung: Das neue Deutschland in Erziehung und Unterricht, herausgeg. von B. Schmid und M. Brahn, Berlin-Leipzig, Vereinigung wiss. Verl. W. de Gruyter & Co., M. 3,50.)

Was ein Mann wie Bastian Schmid zu sagen hat, wird immer sorgfältiger Beachtung und gründlichsten Nachdenkens wert sein. Er bietet in dieser Schrift, die ein Bekenntnis darstellt, wohl die letzten und tiefsten Motive auch

seiner erfolgreichen pädagogischen und populärwissenschaftlichen Tätigkeit. Gleich das erste kurze Kapitel „Der Zusammenbruch“ reiht Sätze von tiefster Wahrheit in lapidarer Kürze aneinander. Von den „Ursachen des Krieges“, der „Weltschuld“ und der „Welttragik“, dem Kampf der Menschheit um ihre geistigen Fundamente, dem Kampf um die Seele, der seelenlosen Weltanschauung des theoretischen und praktischen Materialismus ist die Rede. Im zweiten Kapitel wird der „didaktische Materialismus“ als Grundübel der heutigen Schule gezeichnet, im dritten die „Lehrfreiheit“ der Weltanschauung in der Schule mit ebensoviel Takt, wie Wahrheitssinn besprochen. Die folgenden behandeln den wissenschaftlichen Geist in der Schule, das Persönlichkeitsideal, die Bedeutung von Religion, Moral, Soziologie u. a. m. für die Schule. Alles getragen von einem ebenso von allen Vorurteilen völlig freien, wie allem bleibend Wertvollen ehrerbietig gegenüberstehendem Geist. Wenigem, das ich gelesen habe, wünsche ich so von ganzem Herzen weiteste Verbreitung, wie diesem inhaltreichen kurzen Schriftchen. *Bavink.*

**Zur astronomischen Tafel für 1921.**

1. Der Zyklus des Frühlingsvollmonds wiederholt sich alle 19 Jahre in foigender Art (M = März, A = April):

1900	1901	1902	1903	1904	1905	1906
A 14	A 3	M 23	A 11	M 31	A 19*	A 8
1907	1908	1909	1910	1911	1912	1913
M 28	A 16	A 5	M 25	A 13	A 2	M 22
1914	1915	1916	1917	1918		
A 10	M 30	A 18*	A 7	M 27		

Das Datum nimmt jedes Jahr um 11 Tage ab oder um 19 Tage zu. Der Stern \* bedeutet, daß die beiden spätesten Vollmonde für die Osterbestimmung um 1 Tag früher angesetzt werden als oben geschehen. Die Tabelle zeigt, daß in je 11 Jahren das Datum um 1 Tag abnimmt.

2. **Die Finsternisse.** Die erste Sonnenfinsternis findet für Berlin am Vormittag des 8. April statt. Die Zeiten für die 3 Hauptpunkte (MEZ, bürgerlich) und die zugehörigen Sonnenörter sind

a) Anfang	b) Größte Phase (0,8)	c) Ende
April 8; 8 <sup>h</sup> 46 <sup>m</sup>	10 <sup>h</sup> 3 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup>
Höhe 29°	38°	44°
⊙ Azimut — 61°	— 42°	— 15°

Wird jedesmal durch den Mittelpunkt der Sonnenscheibe eine wagerechte und eine senkrechte

Achse gelegt, so zeigt Fig. 1 den Weg des Mondmittelpunktes gegen das Achsensystem.

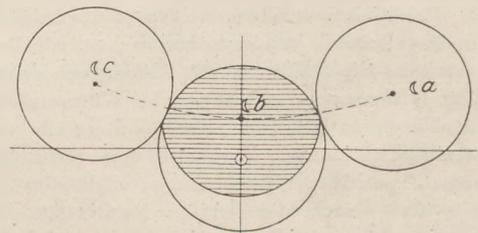


Fig. 1.

Die zweite Mondfinsternis ist partiell, sie findet für Berlin Oktober 16 spät abends bis über Mitternacht hinaus statt. Die Hauptpunkte und die Mondörter sind

	a) Anfang	b) Mitte	c) Ende
(MEZ, bürgerl.)	Okt. 16 <sup>d</sup> 22 <sup>h</sup> 14 <sup>m</sup>	16.23.54	17.1.34
⊙ Höhe	42°	46°	42°
⊙ Azimut	— 32°	0°	33°

Das Azimut ist von S nach W positiv gezählt.

Wird durch den Mittelpunkt M des Schattenkreises eine wagerechte und eine senkrechte Achse gelegt, so zeigt Fig. 2 die Stellungen des Mondes relativ zum Schattenkreis.

Die erste Mondfinsternis (April 22) und die zweite Sonnenfinsternis (Oktober 1) bleiben in Berlin unsichtbar.

Meistens ist Venus zur Zeit der unteren Konjunktion einige Tage unsichtbar. Deren Zahl  $n$  ist für die letzten Erscheinungen

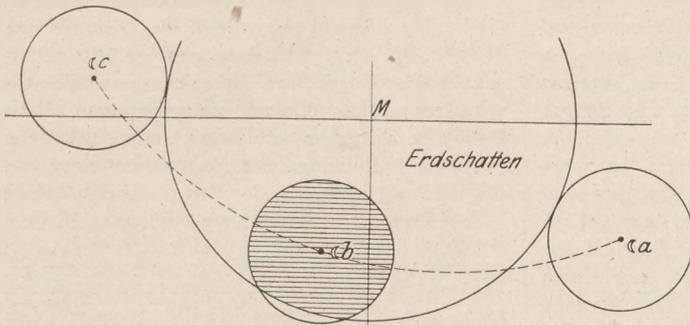


Fig. 2.

1910 II	1911 IX	1913 IV
$n = 0$	46	8
1914 XI	1916 VII	1918 II
$n = 27$	27	0
1919 IX	1921 IV	
$n = 43$	0	

Die tägliche Sichtbarkeit zur Zeit des größten Glanzes ist innerhalb des 8jährigen Zyklus sehr wechselnd, sie beträgt in Stunden

1914	1916	1918
Abendstern X 29..3,0	VI 1..2,3	I 9..2,9
Morgenstern XII 31..0,2	VIII 3..1,5	III 11..1,3
1919	1921	
Abendstern VIII 9..0,0	III 16..3,6	
Morgenstern X 20..3,2	V 28..0,4	

3. Elemente der Planetenbahnen.

Heliozentrisch	Mittlere Länge	Änderung der mittleren Länge in		Möglicher Fehler	Radius der Bahn
	1921 Jan. 0. 0 <sup>h</sup>	365 <sup>d</sup>	366 <sup>d</sup>		
		u = Umlauf			
Merkur	244,49°	4" 53,72°	4" 75,81°	23°	0,39
Venus	30,53°	1" 224,79°	1" 226,39°	1°	0,72
Erde	99,07°	359,76°	1" 0,75°	2°	1,00
Mars	353,08°	191,29°	191,81°	11°	1,52
Jupiter	155,61°	30,34°	30,43°	6°	5,20
Saturn	163,49°	12,23°	12,26°	6°	9,54
Uranus	334,39°	4,30°	4,31°	5°	19,2
Neptun	131,18°	2,20°	2,20°	1°	30,1

4. Sichtbarkeit der Venus.

Venus erscheint als Abendstern zuletzt April 20; 19,8<sup>h</sup>, als Morgenstern zuerst April 21; 4,2<sup>h</sup>. Es ist zu erwarten, daß sie vielleicht, wie 1918 Februar 9 am Tage der unteren Konjunktion mit bloßem Auge gesehen werden kann. Damals habe ich sie von Abend zu Abend aufgesucht und noch am Tage der Konjunktion aufgefunden. Ihre nördliche Breite und zugleich ihr Abstand von der Sonne war damals 8°, diesmal 6°, ihre Helligkeit ist daher diesmal etwa 0,6 der früheren.

5. Das Osterfest im Jahrhundert 19. Der erste Tag des April fällt im Jahre 1900 +  $n$  auf folgende Wochentage

	St ⊙	Mo ♄	Di ♂	Mi ♃	Do ♀	Fr ♀	Sb ♁	l
wenn $n =$	0	1	2	3		4	5	
	6	7		8	9	10	11	
		12	13	14	15		16	
	17	18	19		20	21	22	
	23		24	25	26	27		

Diese Reihe wiederholt sich in unserm Jahrhundert nach je 28 Jahren.

Im Jahre 1921 fällt der Frühlingsvollmond auf März 23. Der Wochentag von April 1 ist Freitag. Daher fallen Sonntage auf April 3 und März 27. Mithin Ostern 1921 März 27.

Im Jahre 1954 ist der Vollmond von April 18 verlegt auf April 17. Der Tag April 1 ist ein Donnerstag, folglich Sonntage April 4..11..18. Ostern fällt also infolge der Ausnahme auf 1954 April 18 statt April 25.

Korrespondenz.

Weitere Meldung von Unfällen im Chemie- und Physikunterricht<sup>1)</sup>.

Die diesmalige Meldung erfolgt unter dem Eindruck des Explosionsunglücks, das sich

<sup>1)</sup> Vgl. die „Aufforderung betreffend Meldung von Unfällen“ in dieser Zeitschr. 26, S. 207, sowie die daraufhin erfolgten Mitteilungen in 27, 138f., 29, 226f., 30, 302f., 32, 213f.

mit Tetranitromethan in der chemischen Vorlesung von Prof. SCHENCK an der Universität Münster im Sommersemester 1920 ereignete und 10 Studierenden das Leben kostete. Der Vorfall hat sich inzwischen, gemäß den amtlichen Ermittlungen, dahin aufgeklärt, daß bei einer Neuschreibung des Vorlesungsjournals an Stelle der Kubikzentimeter der Vorschrift unter Beibehaltung der Ziffern Gramme gesetzt waren, wodurch sich das Gewichtsverhältnis der ur-

sprünglichen 67,5 ccm Tetranitromethan zu dem Toluolzusatz von 7,5 ccm entsprechend der Dichte der beiden Flüssigkeiten 1,65 und 0,8 ganz bedeutend verschob; die Toluolmenge war genau verdoppelt, was ein schnelleres Abbrennen und größeren Temperaturanstieg zur Folge hatte, so daß das Aufbewahrungsgefäß, ein kleines Mannesmannrohr von 20 cm Länge und 2,8 cm Weite, zersprengt wurde.

Was die Verhütung anlangt, so wäre eine Schutzmaßregel wohl am Platze gewesen. Das kleine Rohr konnte in ein beträchtlich weiteres und stärkeres mittelst reichlicher Asbestwatte eingebettet oder auch von einem dicken Bleiblock umgeben werden. Eine etwaige Explosion konnte dann nur in der Richtung der Mündung wirken (wogegen sich unschwer ein weiterer Schutz anbringen ließ). — Vielleicht empfiehlt es sich — diese Bemerkung bezieht sich auch auf den Unterrichtsbetrieb der höheren Lehranstalten — bei Gemischen, die zu einer lebhaften Reaktion führen können, die Flüssigkeitsmengen nicht nur in den (weit genaueren) Gewichtszahlen, oder nur in den (weit bequemerem) Raummaßzahlen anzugeben, sondern in jenen und diesen. Dann sind, bei sonst genügender Aufmerksamkeit, Irrtümer ausgeschlossen.

Es ist zu begrüßen, daß die Preußische Unterrichtsbehörde diesen Unglücksfall zum Anlaß einer Anfrage (U II 1385, 14. Aug. 1920) bei den Chemie- und Physiklehrern an den höheren Lehranstalten genommen hat, ob und welche Explosionen und Unglücksfälle bei ihrem Unterricht im Laufe der Jahre vorgekommen sind; auch soll Mitteilung darüber erfolgen, wie der einzelne Unfall hätte vermieden werden können. Unsere Zeitschrift hat mit ihren Unfallmeldungen seit Jahren in dieser Richtung gearbeitet. Der Umfrage ist noch ein Schriftblatt „Über das Explosionsunglück im chemischen Institut der Universität Münster i. W. und seine Ursachen“ beigegeben, dem die eingangs erwähnten Zahlenangaben entnommen sind, das aber dem sauerstoffreichen Tetranitromethan die unmögliche Formel  $C(NO)$  statt  $C(NO_2)_4$  gibt.

Dem Unterzeichneten gingen die nachfolgenden dankenswerten Mitteilungen über Unfälle im Unterricht zu.

1. Zerspringen des Eudiometerrohres bei der Elektrosynthese von O und H beim Absperren über Wasser. „In einer alten erprobten Eudiometeröhre ließ ich 5mal hintereinander 100 ccm Knallgas über Quecksilber verpuffen; eine Zertrümmerung der Röhre trat dabei nicht ein. Darauf ließ ich dieselbe Knallgasmenge über Wasser verpuffen. Die Röhre war tief in eine sehr große, mit Wasser vollgefüllte Wanne eingesenkt und vom

Boden derselben mehrere Zentimeter entfernt; dabei zersprang die Röhre in lauter dünne Längsstreifen.“

2. Zerspringen der Hofmannschen Chlorknallgasröhre (vgl. *ds. Zeitschr.* 31, 152). „Die mit Chlorknallgas gefüllte Hofmannsche Kugelröhre ist mir beim Belichten mit Magnesiumband noch nie gesprungen. Beim Belichten mit dem oft empfohlenen Blitzlicht, sowie beim Belichten mit Magnesiumpulver zerplatzten mir nacheinander drei Versuchsröhren.“

Prof. S. Genclin, Krems (Donau), N.-Ö.

Zu (1) ist zu bemerken, daß sowohl bei Wasser wie Quecksilber Zersprengung stattfinden kann, zumal bei größerer Knallgasmenge; schon 1901 warnte ich daher vor dem Versuch 2H:1O (Wasseruntersuchung, *ds. Zeitschr.* 14, 1); der Versuch mit einem Überschuß von H oder O (als Puffer) ist nicht nur experimentell richtiger, sondern auch didaktisch viel wichtiger und überzeugender.

Zu (2): Auch beim Belichten mit Mg-Band tritt Explosion ein, sobald das Abbrennen in größerer Nähe des Rohres geschieht. Ich benutze, wenn irgend möglich, nur Sonnenlicht: Rohr im Karton zuerst beschattet, dann mehr ans Fenster gebracht, aber immer noch nur diffus beleuchtet, erst allmählich direktes Sonnenlicht, das mehrere Minuten einwirkt; diese allmähliche und doch ganz durchgreifende Vereinigung ist völlig gefahrlos. Auch beim Benützen von Mg, gleichviel ob als Band, Pulver oder Wolle, ist mehrfaches Belichten, zuerst aus größerer Entfernung, vorteilhaft.

3. Detonation beim Erhitzen von Ca im Sauerstoffstrom. Der Ca-Grieß wurde in die Kugel einer schwer schmelzbaren Kugelröhre gebracht und diese verbunden mit einer Retorte, in der sich  $KMnO_4$  befand. Die O-Bombe wurde gerade gefüllt. Das  $KMnO_4$  wurde erhitzt, mit einem glimmenden Span am Ende der Kugelröhre O festgestellt und dann die Kugel erhitzt. Die Reaktion trat nicht bald ein, die Kugel bekam aber einen kleinen Sprung. Schließlich setzte die Reaktion momentan ein unter heftiger Detonation. Die Röhre zerbrach längs des Sprunges. — Ich vermute, daß der Ca-Grieß durch Calciumcarbid verunreinigt und der Sauerstoff nicht trocken war. Es hatte sich also wohl etwas Acetylenknallgas gebildet...“

Dr. Carl Meyer, Hamburg, Kirchenpauer-R.-G.

Oxydationen mit stark exothermisch wirkenden Metallen (Mg, Ca...) sind im Kugelrohr immer heikel. Man vermeidet alle Gefahren und Unannehmlichkeiten bei Benützung der vom Unterzeichneten, XI, 261, beschriebenen Versuchsanordnung (Batterieglass mit O, Metall nebst

Zündmasse [bei der jetzigen knappen Zeit verwende ich auch ein Zündholzköpfchen], die mit der Glühnadel berührt wird, auf mehrfacher, hohlliegender Asbestpappe; ev. noch Anfeilen von O)

4. Implosionsgefahren. „Zur Bestimmung des spezifischen Gewichts der Luft mit Hilfe der Glühbirne: Vorsicht beim Abbrechen der Spitze, wenn man der Luft Zutritt gewähren will! Am besten erst einfeilen! Jedenfalls aber noch zur Vorsicht ein (mitgewogenes) Tuch während des Abbrechens über die Birne legen! Sonst Gefahr, daß infolge der Implosion Hunderte von kleinen Glassplitterchen durchs Zimmer fliegen!“

5. Zur Behandlung des Daniellelementes. „Zur Bestätigung der Nernstschen Lehre von der Lösungstension als Ursache des Voltaeffekts gedachte Einsender die Umkehr der Stromrichtung im Daniellelement mittels Herabsetzung der  $Cu^{++}$ -Konzentration zu zeigen. Infolge Arbeitsüberlastung reichte es nur zur Fertigstellung der Cyankalilösung, welche übrigens nur in der zum Versuch nötigen Menge bereitet wurde. Ich mußte, wenn ich den Versuch nicht unterlassen wollte, ein vorhandenes kleines Daniellelement verwenden. Natürlich verzichtete ich auf den Gegenversuch der Spannungserhöhung von vornherein; aber auch die  $CuSO_4$ -Lösung war so weit sauer geworden, daß sich Blausäure entwickelte. Der Versuch gelang zwar, muß aber selbstredend in dieser Gestalt verworfen werden. Nur ein neutrales Daniellelement darf benutzt werden.“

6. Die Meldung einer (wiederholten) Explosion bei der Darstellung von Salpetersäure aus  $KNO_3$  und  $H_2SO_4$  hat sich durch Korrespondenz dahin geklärt, daß der Salpeter stark mit  $KClO_3$  durchsetzt war. Es mahnt dies von neuem, die bezogenen Stoffe durch kurze Vorversuche auszuprobieren.

7. Entzündung von rotem Phosphor (mündliche Mitteilung). „Beim Operieren mit P fand sich eine ältere Flasche mit rotem P vor, deren Glasstopfen festsaß. Da ihn die üblichen mechanischen Mittel nicht lockerten, wurde die vorsichtige Erwärmung des Flaschenhalses vorgenommen. Nach einigen Augenblicken zerbarst die Flasche, der in Brand geratene Phosphor quoll heraus und verursachte Brandwunden und beträchtlichen Schaden.“

Eine Erwärmung mit der direkten Flamme, die den die Verstopfung bewirkenden roten P in kürzester Zeit in die leicht entzündliche gelbe Modifikation verwandelte, war unter allen Um-

ständen zu vermeiden. Einstellen in ein Wasserbad (bis zum Halse) und schwaches Erwärmen hätte am besten zum Ziele geführt. Glasstopfen sind bei rotem P grundsätzlich auszuschließen.

Die Einsendung weiterer Unfallsaufzeichnungen ist im allgemeinen Interesse dringend erwünscht. Auf Wunsch unterbleibt sowohl Nennung des Namens wie auch der Anstalt.

Prof. Otto Ohmann,  
Berlin-Pankow, Kavaliertstraße 15.

### Bemerkungen zu den „Himmelserscheinungen“ im Jahre 1921.

Die Angaben über den Mond und die Sternzeit erscheinen diesmal in veränderter Form.

1. Die großen Schwankungen im Mondlauf würden eigentlich verlangen, den Aufgang und Untergang von Tag zu Tag anzugeben. Die Kalender, die jedem Tage eine Zeile widmen, bleiben aber trotzdem unübersichtlich, wenn sie nicht, wie Schwahn im Urania-Kalender für 1918, drei Spalten anwenden, die mittelste für die Untergänge, je eine äußere für den Aufgang, je nachdem dieser zeitlich vorangeht oder nachfolgt. Dazu fehlt uns der Raum.

Bisher war der Aufgang (und der Untergang) des Mondes für jeden 5. Kalendertag angegeben. Das hatte den Mangel, daß bald der Aufgang, bald der Untergang früher eintrat und daß auf manche Tage, unbekannt welche, kein Aufgang (Untergang) fiel, eine Folge des Umstandes, daß Mond-Tage länger sind als Sonnen-Tage im Verhältnis 29,5:28,5. Es blieb daher unsicher, ob man zum Einschalten auf einzelne Tage den in der Tabelle vorliegenden Abstand durch 4 oder 5 zu teilen hatte. Wir werden von jetzt ab den auf einen Aufgang jedesmal folgenden 5. Aufgang nach Monatstag, Stunde, Minute angeben. Die fehlenden Erscheinungen erhält man dann durch 5-Teilung des Zwischenraums auf  $\frac{1}{4}$  Stunde genau.

2. Die Benutzung der Sternzeit zeigt folgendes Beispiel. Es sei an einem parallaktischen Fernrohr Venus einzustellen in Berlin 1921, Jan. 21, 6<sup>h</sup> nachm. MEZ. Man findet durch Einschaltung

$$\begin{aligned} \Delta &= \text{Sternzeit} - \text{mittlere } \odot \text{ Zeit} = 20^h 2^m \\ &\quad \text{mittlere Sonnenzeit} = 5^h 54^m \\ \text{Durch Addition Sternzeit } \vartheta &= 1^h 56^m \\ \text{AR} = \alpha &= 23^h 13^m \\ \int \text{Stundenwinkel } t &= \vartheta - \alpha = 2^h 43^m \\ \lfloor \text{Deklination } \delta &= -5,7^\circ. \end{aligned}$$

M. Koppe.

## Himmelserscheinungen im März und April 1921.

12h = Mittag, 0h und 24h = Mitternacht. (Berliner Zeit = MEZ - 0,1h).

MEZ	März						April						
	0h	2	7	12	17	22	27	1	6	11	16	21	26
♄	AR	22h 52m	22.34	22.22	20.20	22.27	22.41	23.0	23.22	23.47	0.15	0.44	1.17
	D	-3°	-6	-8	-9	-10	-9	-8	-6	-4	-1	+2	6
♀	AR	1h 31m	1.44	1.57	2.7	2.15	2.20	2.22	2.20	2.14	2.5	1.55	1.44
	D	13°	15	17	19	20	21	21	22	21	20	18	16
☉	AR	22h 49m	23.8	23.26	23.45	0.3	0.21	0.39	0.57	1.16	1.34	1.53	2.11
	D	-7,5°	-5,6	-3,6	-1,6	+0,3	2,3	4,5	6,2	8,0	9,8	11,5	13,2
♂	AR	0h 47m	1.1	1.15	1.29	1.43	1.57	2.11	2.25	2.39	2.53	3.7	3.22
	D	5°	6	8	9	11	12	13	14	16	17	18	19
♃	AR	11h 5m		11.0		10.55		10.51		10.48		10.46	
	D	8°		8		8		9		9		9	
♅	AR	11h 35m				11.30				11.24			
	D	6°				6				6			

Δ = Sternzeit - mittl. ☉ Zeit, Zeitgl. = mittl. ☉ Zeit - wahre ☉ Zeit.

Δ	22h	22.	23.	23.	23.	0.	0.	0.	1.	1.	1.	2.
	36m 48s	56.31	16.13	35.56	55.39	15.21	35.4	54.47	14.30	34.12	53.55	13.38
Zeitgl.	12m 27s	11.23	10.8	8.44	7.15	5.44	4.12	2.43	1.19	0.1	-1.8	-2.6

Breite von Berlin. Ortszeit. Je 5. Aufgang und folgender Untergang des oberen ☉-Randes.

☉	Aufg.	6h 46m	6.34	6.23	6.11	6.0	5.48	5.36	5.24	5.13	5.1	4.50	4.40
	Unterg.	17h 40m	17.49	17.58	18.7	18.16	18.25	18.33	18.42	18.51	18.59	19.8	19.17

Breite von Berlin. Ortszeit. Je 5. Aufgang und folgender Untergang des oberen ☾-Randes.

März	☾	Aufgang	4d 3h 43m	9. 6. 2	14. 8.12	19.12.54	24.19.27	30. 0.52
		Untergang	4d 13h 37m	9.17.54	14.23.40	20. 4. 2	25. 6.24	30. 9.36
April	☾	Aufgang	4d 3h 42m	9. 5.42	14. 9.33	19.15.49	24.21.45	30. 1.18
		Untergang	4d 14h 34m	9.20.18	15. 1.22	20. 3.57	25. 6.39	30.11.16

Mondphasen	Neumond		Erstes Viertel		Vollmond		Letztes Viertel	
	MEZ		MEZ		MEZ		MEZ	
	März 9d 19h 9m		März 17. 4.49		März 23.21.19		März 31.10.13	
	April 8d 10h 5m		April 15.11.12		April 22. 8.49		April 30. 5. 7	

Der Mond tritt zu folgenden Zeiten (MEZ) in die abgerundeten Sternbilder des Tierkreises:

Sternbild	W	S	Z	K	L	J	Wg	Sp	Sz	Sb	Ws	Fs
Länge	25°	55°	85°	115°	145°	175°	205°	235°	265°	295°	325°	355°
März	12,7d	15,0	17,2	19,2	21,3	23,3	25,5	27,7	30,2	2,8d	5,3	7,9
April	9,0d	11,2	13,4	15,5	17,6	19,7	21,9	24,1	26,5	29,0	1,6	10,3

Tägliches Erscheinen und Verschwinden der Planeten. Ortszeit. Breite von Berlin.

	Tag	Ab.-St. nm.		♂ (Fs, W)	♃ (Löwe)		♄ (Löwe)	
		♀	Mg.-St. vm.	nachm.	nachm.	vorm.	nachm. vorm.	
♄ unsichtbar.								
♀ Abendstern bis April 20; 9,8h.	März 1		Da 6,3h U 10,1	Da 6,8 U 8,6	Da 6,7	Dm 5,7	Da 6,8	Dm 5,6
	21		Da 6,9 U 10,3	Da 7,4 U 8,8	Da 7,3	Dm 5,0	Da 7,4	Dm 4,9
♀ Morgenstern von April 21; 4,2h ab.	Apr. 10		Da 7,5 U 9,1	Da 8,0 U 8,9	Da 7,9	Dm 4,1	Da 8,0	Dm 4,0
	30		A 3,7 Dm 3,8	Da 8,8 U 9,0	Da 8,6	Dm 3,1	Da 8,8	Dm 3,1

A = Aufgang; U = Untergang; Da = Abend-Dämmerung; Dm = Morgen-Dämmerung.

Verfinsterungen der Jupiter-Monde (MEZ). Nachmittags-Stunden. E = Eintritt. A = Austritt.

• März 12, 6h 49m A III	März 25, 8h 31m A I	April 14, 8h 4m A II
März 13, 8h 25m A II	März 28, 9h 1m A IV	April 17, 8h 43m A I.

Frühlingsanfang März 21, 5h. Sonnenfinst. April 8, sichtbar. Mondfinst. April 22, unsichtbar.

Venus als Abendstern im größten Glanz März 16, sichtbar 3,5 Stunden. M. Koppe.

Nachdruck nur mit Quellenangabe und mit Genehmigung der Verlagshandlung gestattet.

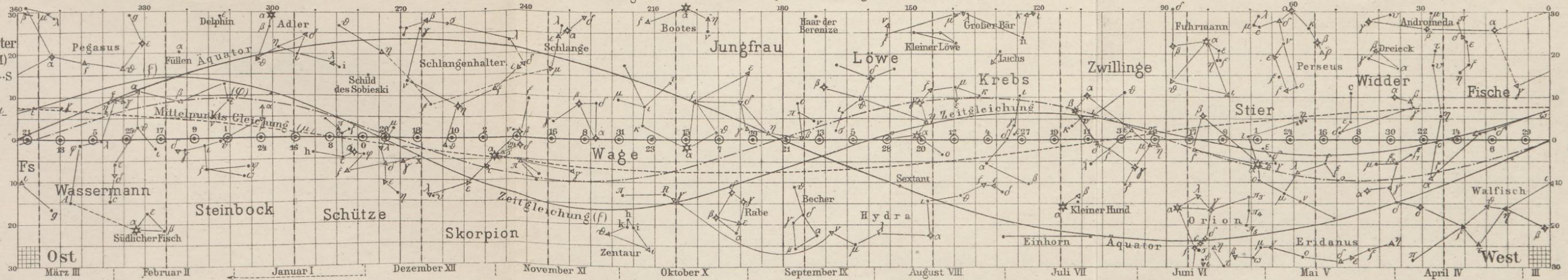
# Die Bahnen der beweglichen Gestirne im Jahre 1921

bezogen auf das Koordinatensystem der Länge und Breite.

I. Tierkreisgürtel und Örter der mittleren Sonne (M) Länge der wahren Sonne...S

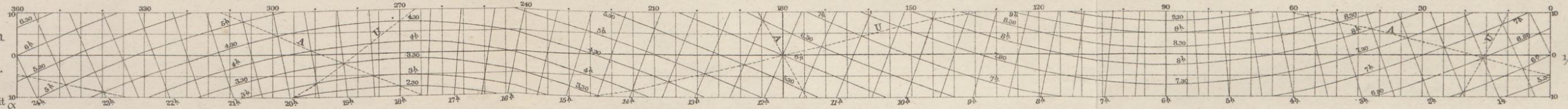
Mittelpunkts-Gleichung  $S-M-\mu$   
 $M-F-\varphi$   
( $\mu$  und  $\varphi$  in 4-fachem Maßstab)  
Zeitgleichung (in Min)  $-\mu+\varphi=f$   
(Abstand 8 Tage)

Sterngrößen  
★ ◆ ▲ ●  
1 2 3 4

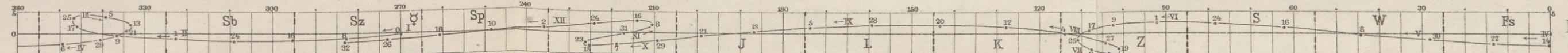


II. Halbe Tagesbogen für die Polhöhe von Berlin. 1/2 T.

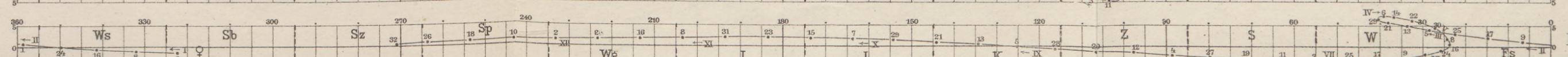
Kulmination nach Sternzeit  $\alpha$



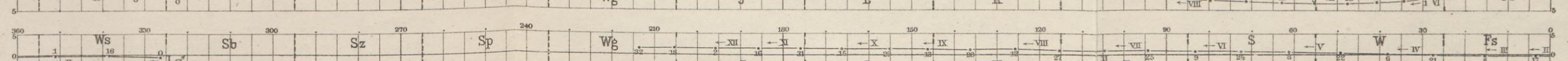
III. Merkur ♀ (Abstand 8 Tage)



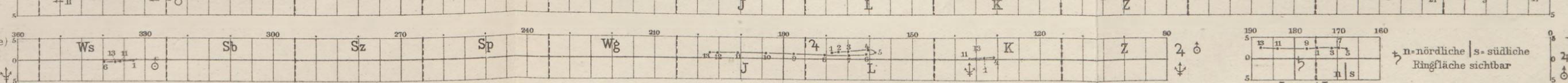
IV. Venus ♀ (8 Tage)



V. Mars ♂ (16 Tage)

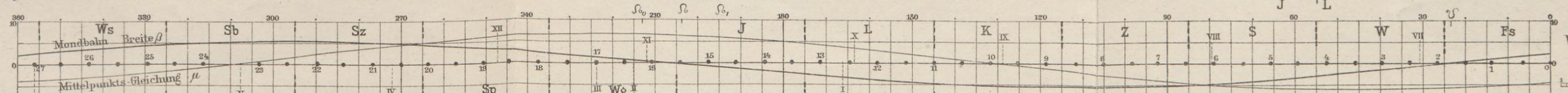


VI. Jupiter ♀ (32 Tage)  
Saturn ♄ (64 Tage)  
Uranus ♃ Neptun ♆

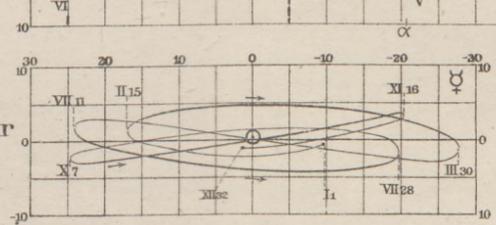


VII. Mond ☾

(in II: Febr. 0  
in V: Mai 0  
Eine Tagreise)



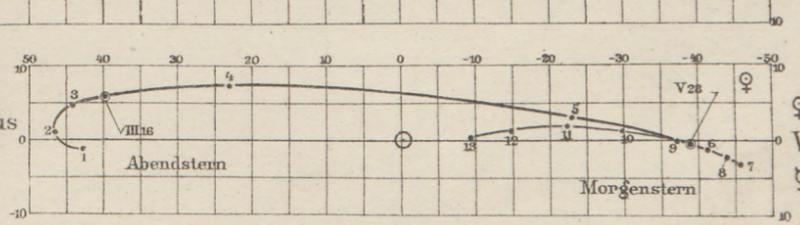
VIII<sup>a</sup> Stand des Merkur zur Sonne



Abkürzungen für  
♄, ♃, ♆, ♆, ♃, ♃, ♃  
1 2 3 4 5 6 7  
Lo II, III, IV, V, VI, VII  
8 9 10 11 12 13  
VIII, IX, X, XI, XII, XIII

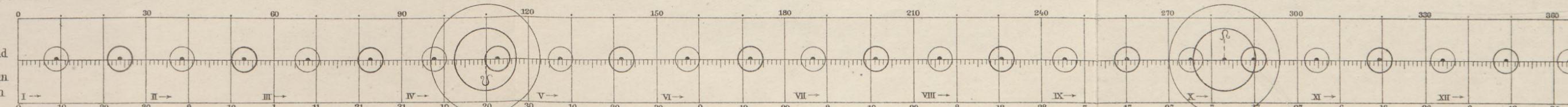
Nach der Jahreszeit ist der mittlere Mond ( $\mu$ ) zur Bestimmung von  $\mu$  und  $\beta$  zu verschieben um: ( $\beta$ )

VIII<sup>b</sup> Stand der Venus zur Sonne  
♀ größter Glanz



IX. Kalender der Finsternisse

○ Neumond, ○ Vollmond  
☉ Sonne im Knoten der Mondbahn



IX C-Phasen  
☉-Finst.  
☾-Finst.

p-partiell  
t-total  
r-ringförmig