

# Zeitschrift

für den

## Physikalischen und Chemischen Unterricht.

XXXV. Jahrgang.

Erstes Heft.

Januar 1922.

### Zur Farbenlehre.

Ein Beitrag zur Methodik des physikalischen Unterrichts.

Von Oberstudienrat Dr. Martin Gebhardt in Dresden-Strehlen.

Schon lange bin ich ein Gegner einer sogenannten enzyklopädischen Behandlung der Physik auf dem Gymnasium, insbesondere auf der Oberstufe. Das überreiche Pensum der Oberprima bei nur zwei Wochen-Kurzstunden, von denen immer noch eine Anzahl durch Studier- und Wandertage ausfällt, gründlich zu erledigen ist eine Unmöglichkeit. Zunächst ist wohl gar noch ein Rest Mechanik aus Unterprima aufzuarbeiten. Dann kommt die Wellenlehre, Akustik, Optik einschließlich der elektrischen Schwingungen daran. Wieviel neues haben da die letztvergangenen Jahre gebracht. Ich erinnere nur an die mit der Funkentelegraphie zusammenhängenden Fortschritte, an die Vorgänge in Glühkathodenröhren, die ja durch LILIENTHAL neuerdings auch für die Röntgenröhren nutzbar gemacht werden, und anderes. Schon vor dem Kriege habe ich mir manchmal den Kopf zerbrochen, wie ich bei gleichmäßiger Berücksichtigung des planmäßigen Stoffes meine Zeit einteilen sollte. Muß doch für die Oberprima der bevorstehenden Reifeprüfung wegen schon zu Weihnachten mit dem Vortragen neuer Lehrgegenstände Schluß gemacht werden. Da habe ich mich denn seit einigen Jahren dazu entschlossen, vom Oberprimanerpensum im allgemeinen nur einen kurzen Überblick zu geben und jedes Jahr ein anderes Kapitel zu gründlicher Behandlung auszuwählen. Früher habe ich noch verhältnismäßig viel mathematischen Einschlag zugelassen. Die Erinnerung an die eigene Schulzeit in den achtziger Jahren tat wohl auch das ihrige. Mehr und mehr bin ich davon abgekommen. Nicht als ob ich den Wert einer maßvoll theoretischen Physik auf der Schule unterschätzte. Es liegt eben ein Notzustand vor. Man muß sich beschränken und darum ließ ich das eine fallen, um das andere zu seinem Rechte kommen zu lassen. Heute leite ich selbst das Snelliussche Brechungsgesetz und die Linsenformel empirisch ab. Grundbedingung für den Erfolg dieses Verfahrens sind natürlich gute und weitsichtbare Apparate, eine gründliche Beherrschung ihrer Technik, sowie gewissenhafte Vorbereitung. Kommt für den Brechungsquotienten aus Luft in Wasser bei nur fünf Versuchen 1,33 mit einem Fehler von 1% bis 2% heraus, so zweifelt kein Schüler an der gefundenen Gesetzmäßigkeit. Im Praktikum wird dann Gelegenheit gegeben, weitere Versuche auch mit anderen Medien selbst anzustellen.

Kurz können auch die optischen Instrumente durchgenommen werden. Fernrohr und Mikroskop erfordern viel Mathematik, wenn man ihr Wesen tiefer ergründen will. Und entschließt man sich einmal bei einem Jahrgange dazu, dann müssen sich eben andere Kapitel eine entsprechend kursorische Behandlung gefallen lassen.

Aber nun zu dem, was ich in der freigemachten Zeit als Ersatz biete. Ich habe in einem Jahre die elektrischen Wellen und ihre Anwendungen, in einem anderen die Erscheinungen im Vakuumrohr, und in einem dritten die Farbenlehre ausgewählt. In diesem Jahre behandle ich ausführlich den Wechselstrom, auch etwas mathe-

matisch. Es sei mir gestattet, über das vorletzte Thema, die Farbenlehre, hier eingehender zu berichten.

Unsere Sammlung ist in bezug auf alles, was zur Spektraloptik gehört, besonders gut ausgestattet. Reiche Vorräte an Prismen und Linsen aus Glas, Quarz und Steinsalz stehen zur Verfügung. Sechs Spektroskope gestatten auch einer Klasse von 30 Schülern verhältnismäßig schnell subjektive Beobachtungen, die ich im übrigen nach Möglichkeit vermeide.

Das ausgewählte Sonderkapitel soll dem reiferen Schüler dreierlei bieten. Es soll ihm eine Ahnung davon verschaffen, was die Physik als Wissenschaft heute ist. Zu diesem Zwecke kann auch die Mathematik in stärkerem Maße herangezogen werden, um innere Zusammenhänge aufzudecken und darzutun, wie durch quantitative Versuche Zahlen gewonnen, funktionale Beziehungen ermittelt und mathematische Schlußfolgerungen möglich gemacht werden, die dann wieder auf deduktivem Wege zu neuen Entdeckungen führen können. Es soll weiter ein Einblick in die Werkstätte der Wissenschaft gewährt werden. Der Schüler soll zu den Quellen geführt, ihm soll der Gedankengang großer Physiker nahe gebracht werden, er soll Ehrfurcht vor deren Wirken und Verdiensten um die Fortschritte unserer Kultur bekommen. Und drittens — das hängt ja mit dem vorigen zusammen — soll er etwas erfahren von der geschichtlichen Entwicklung naturwissenschaftlicher Erkenntnis, von den Hemmungen, die jeden Fortschritt begleiten, von den Irrtümern, die sich einschleichen, von den Umwegen, die nur gar zu oft notwendig waren, um zur Wahrheit durchzudringen, zu einer Wahrheit, die trotzdem ewig relativ bleiben wird.

Nebenbei bemühe ich mich auch, Zusammenhänge mit anderen Wissenschaften aufzudecken. Chemie, Technik, Kunst und Philosophie kommen wohl in erster Linie in Frage. Wir leiden auch heute noch an einer zu stark betonten Isolierung der Schuldisziplinen. Gerade auf der Oberstufe, meine ich, kann nicht genug Wert darauf gelegt werden, eine Ahnung von dem Zusammenhang der Wissenschaften zu geben; zu zeigen, daß sich letzten Endes die Wissenschaften die Hand reichen, daß sie sich gegenseitig fördern, daß jede einzelne nach Maßgabe ihrer Mittel die andere zu ergänzen berufen ist.

„Um sich von der Farbenlehre zu unterrichten, mußte man die ganze Geschichte der Naturlehre wenigstens durchkreuzen und die Geschichte der Philosophie nicht außer acht lassen“. Diesem Ausspruche GOETHES in der Einleitung zum zweiten Bande seiner Farbenlehre kann auch heute noch bedingt zugestimmt werden. Welche Fülle von Anregungen entspringt gerade einer mehr als oberflächlichen Beschäftigung mit der Lehre von den Farben! Warm pulsiert hier Leben durch den Körper der Wissenschaft, der ihrem Jünger sonst oft so kalt und starr erscheint.

Ich beginne im Unterricht mit NEWTON, nachdem Brechung, Prisma, Gitter und Spektrum rein physikalisch, ich möchte sagen lehrbuchmäßig durchgenommen sind. Unter Hinweis auf das Bild, das neben achtzehn anderen großen Physikern unser Lehrzimmer ziert, gebe ich einen kurzen Lebensabriß NEWTONS, um dann auf sein berühmtes 1704 erschienenes Werk: „Optics: or a treatise of the reflections, refractions, inflections and colours of light“ einzugehen. Dazu verwende ich eine Stunde. Der Schüler lernt, daß NEWTON in diesem Werke alles systematisch zusammenfaßt, was er in einer langen Reihe von Jahren durch seine optischen Untersuchungen gefunden hat. Natürlich kann nur in ganz großen Zügen von des Verfassers Emissionshypothese, der Art, wie er durch sie die Brechung und totale Reflexion, die Entstehung der Farben erklärt, gesprochen werden. Seine Gedanken über Beugungserscheinungen und das, was er Inflexion nennt, kann man wohl übergehen, wenigstens in diesem Zusammenhange. Nicht unerwähnt aber bleibt die Tatsache, daß NEWTON in seinem Glauben an die stoffliche Beschaffenheit des Lichtes nicht unerschüttert geblieben ist. Betont wird auch, daß NEWTON alles auf das Experiment, das er zu meistern verstand, aufgebaut hat und daß er wesentlich dadurch

von Entdeckung zu Entdeckung geschritten ist, daß er sich aber nicht weiter mit den subjektiven Farbenempfindungen befaßt hat. Hierauf besonders hinzuweisen ist sehr wichtig. Wie auch OSTWALD gelegentlich ausspricht, war es geradezu das Ziel NEWTONS, möglichst allgemeingültige Ergebnisse dadurch zu gewinnen, daß er den subjektiv-gefühlsmäßigen Anteil im Urteil vollständig ausschaltete.

Die oben angezogene Originalarbeit NEWTONS ist mir nicht ohne weiteres zugänglich. Dagegen befindet sich in meiner Sammlung geschichtlich wertvoller alter Drucke die erste Auflage (1720) der „*Physices elementa mathematica, experimentis confirmata*“ eines der ersten nichtenglischen Verfechter der Newtonschen Lehre, nämlich des Leidener Universitätsprofessors Wilhelm Jacob 'sGravesande, der ein Experimentator ersten Ranges war und seinem Werke eine große Anzahl ausgezeichnete Kupfertafeln beigegeben hat. Diese enthalten u. a. (Band II, Tafel XV bis XVII) gute Darstellungen der Newtonschen Originalversuche, aus denen auch in Einzelheiten mancherlei zu lernen ist. Indem ich sie meinen Schülern zur Ansicht vorlege, gebe ich auch Stichproben aus dem zugehörigen Texte, der ja, wie schon der Buchtitel besagt, ein „*introductio ad philosophiam Newtonianam*“ sein soll. Manches stimmt wörtlich mit NEWTON überein. Das Latein ist für humanistische Primaner mit wenig Erläuterungen ohne weiteres verständlich. Es macht ihnen allemal Freude, wenn sie ihre sprachliche Weisheit auch einmal außerhalb der Sprachstunden verwerten können und es kommt ihnen mit einer gewissen Genugtuung zum Bewußtsein, daß ein Eindringen in die gelehrten Schätze vergangener Jahrhunderte Kenntnis der lateinischen Sprache notwendig voraussetzt, wenigstens, wenn man Quellenstudien treiben will.

Natürlich ist es ein reiner Zufall, daß ich nun vor meinen Primanern gerade den 'sGravesande aufschlage. Aber es kommt ja garnicht darauf an, was man auswählt. Lehrreich erscheint es mir nur, einmal eine Stimme aus dem Anfang des 18. Jahrhunderts zu Worte kommen zu lassen. Übrigens vergesse ich auch nie, auf den Vater der modernen Optik, den Jesuitenpater GRIMALDI (1618—1663) und seine genialen Gedanken über die Farben als Bestandteilen des weißen Lichts hinzuweisen.

Daß die Newtonschen grundlegenden Versuche, über die spektrale Zerlegung des Lichts, womöglich mit Loch im Fensterladen und Sonnenstrahl (vgl. die Abbildungen 'sGravesandes) vorgemacht werden, ist wohl selbstverständlich. Dasselbe gilt von dem berühmten „*experimentum crucis*“.

Nach NEWTON — GOETHE! Fragt man die Primaner, ob sie von GOETHE'S Farbenlehre, an der der Dichter fast sein halbes Leben gearbeitet hat, schon etwas gehört haben, so schütteln viele ehrlich den Kopf. GOETHE ist ihnen der Stern, der über den deutschen Unterrichtsstunden leuchtet. Dort gehört er hin, meinen sie, und eine Kluft scheint sich ihnen aufzutun zwischen ihm, der die verkörperte Poesie ist und dem, was im Bereich der nüchternen exakten Wissenschaften sein Wesen trübt. Da kommt nun der Physiklehrer mit seiner geheimnisvollen Ankündigung: In der nächsten Stunde werden wir uns mit Goethe, mit Wolfgang v. Goethe beschäftigen. Schon die Erwartung des Ungewöhnlichen läßt sie mit Spannung diesen Stunden entgegen gehen. Der eine oder andere schaut vorher schon einmal in „seine Goethe-Ausgabe“, ob wirklich darinnen eine „Farbenlehre“ vorkommt. War es keine vollständige Ausgabe, so schlägt er enttäuscht das Inhaltsverzeichnis wieder zu. Und seine Spannung wächst.

Wohlgesinnte Fachgenossen, die mir bisher freundlichst gefolgt sind, werden nun wohl selber gespannt sein, wie ich im Rahmen eines wissenschaftlichen Physikunterrichts Früchte der Erkenntnis aus dem kleinen Garten am Frauenplan zu Weimar pflücken werde. Haben die Sonnenstrahlen, die von da durch den Fensterladen in die stille Arbeitsstube fielen, den großen Wahrheitsucher, der auf die zünftigen Physiker so schlecht zu sprechen war, nicht böse genarrt? Was soll der unseren Schülern über Optik nützliches beibringen, der die Verse schrieb:

„Schon ein Irrlicht sah ich verschwinden, dich, Phlogiston. Balde,  
O Newtonisch Gespenst! folgst du dem Brüderchen nach.“

Nun, ich meine, schon die Erkenntnis, daß ein naturwissenschaftliches Problem durch grundverschiedene Denkweisen angegriffen und gefördert werden kann, ist in hohem Grade bildend. Es gibt kaum Wege, die so weit voneinander abliegend demselben Ziele zustreben, als diejenigen, die NEWTON und GOETHE eingeschlagen haben.

Sollte nicht überhaupt unsre physikalische Unterrichtsmethode zu wenig betonen, daß alle Erkenntnis sich auf die Beobachtung stützt und daß die Beobachtung nur mittelbar durch unsre Sinne, also etwas durchaus subjektives erfolgt? Den Ausschlag eines Galvanometers, die Höhe einer Quecksilbersäule müssen wir mit dem Auge wahrnehmen und man kann wohl annehmen, daß hier verschiedene Beobachter, die gleich gut geschult sind, nahezu gleiche Ablesungen feststellen werden. Aber schon die Einzeichnung einer Kurve in eine Schar von durch Beobachtung gefundenen Punkten einer Koordinatenebene erfolgt individuell und nie ohne Willkür. Wer viel experimentiert, weiß, daß auch der Erfahrene oft Täuschungen ausgesetzt ist; die ihn zeitweilig in die Irre führen. Und nun gar, wenn es sich um die Bestimmung von Farben oder Helligkeitswerten handelt! Der Kontrast spielt hier eine ebenso ausschlaggebende Rolle, wie die Beschaffenheit der Netzhaut des Einzelnen. Mein linkes Auge läßt alles mehr bläulich, das rechte mehr rötlich erscheinen. Welches Auge sieht nun „richtiger“? Von ausgesprochener Farbenblindheit ganz zu geschweigen.

Wenn also im Physikunterrichte die Farbe behandelt wird, kann man garnicht um das Subjektive herumkommen. Und wenn man nach meinem Vorschlage nun einmal das Kapitel der Farbenlehre zu gründlicherer Behandlung ausgewählt hat, so kann schon darum ein Eingehen auf GOETHES Gedankengänge sehr nützlich sein.

Nachdem der Schüler über die verschiedenen Arten von Spektren, über die Spektrallinien, über Spektralfarben und Wellenlängen, über Ultrarot und Ultraviolett, über Absorption, Spektralanalyse usw. eingehend durch Versuche unterrichtet worden ist, nachdem er auch im Praktikum mit dem Spektroskope schon gearbeitet hat, nachdem ihm die Wesensgleichheit von elektrischen Wellen, Wärmestrahlung und Lichtwellen klar gemacht worden ist, erscheint er mir reif für eine kurze Führung durch GOETHES Farbenland.

Ich habe mir aus Buntpapier eine Anzahl Tafeln geklebt, Vergrößerungen einiger der handkolorierten Bilder, die in einem besonderen Bande der ersten Ausgabe der Goetheschen Farbenlehre (Tübingen, Cotta 1810) auf sechzehn Tafeln beigegeben sind. Da ist zunächst der sechsteilige Farbenkreis, bei dem die physiologisch „geforderten“ Farben einander gegenüberstehen. Dann das Bild der „abklingenden“ Farben. Ferner die Darstellung der Entstehung farbiger Schatten und einige Tafeln zur Erklärung der „Newtonschen Irrtümer“. Diese Bilder sowie eine aquarellierte Vergrößerung der hübschen Goetheschen Landschaft: „Wie der Akyanobleps (Blaublinde) die Welt sieht“ zieren die Wände des Lehrzimmers, während ich Goethes Farbenlehre behandle.

Von den drei Hauptteilen der Goetheschen Farbenlehre wird auf den dritten, den historischen ganz verzichtet. Vom zweiten, dem polemischen, lese ich nur einige Sätze vor, die beweisen, mit welcher Schärfe, ja Grobheit der Verfasser NEWTON ablehnt. Nur auf den ersten, den didaktischen Teil, gebe ich etwas näher ein, insbesondere auf dessen ersten Abschnitt, der die physiologischen Farben behandelt, und den OSTWALD mit Recht die bedeutendste und persönlichste Leistung Goethes nennt. Hier wird gezeigt, wie alles, was Farbe heißt, eine bestimmte Funktion unseres Auges voraussetzt, daß also das empfangende Organ ebenso wichtig für alle Untersuchungen über Farben ist, wie die von außen eindringende Energie. Dabei wird nun gleich auf GOETHES grundsätzlichen Fehler hingewiesen, der darin besteht, daß er in unwissenschaftlicher Einseitigkeit die aus exakten Versuchen hergeleiteten physikalischen Ursachen nicht anerkennen will, daß er aus der Einheitlich-

keit der Weißempfindung auf die Einheitlichkeit des weißen Sonnenlichtes schließt. Auch glaubte GOETHE, daß eine Art göttliche Eingebung, der feste Glaube an eine ganz bestimmte poetisch-mystisch in ihm aufgekommene Idee, exakte, nüchterne Forschertätigkeit ersetzen könne. Er hielt es für einen Vorteil, von Mathematik, geometrischer Optik und den Methoden der Experimentierkunst nichts zu verstehen. Welche Selbsttäuschung spricht aus den Worten: „Ich frage nach den Gegenständen gar nicht, sondern fordere, daß sich alles nach meinen Vorstellungen bequemen soll.“ Dies alles wird man dem Schüler nicht verschweigen. Auch nicht, daß GOETHE am 19. Febr. 1829 zu Eckermann sagte: „Auf alles, was ich als Poet geleistet habe, bilde ich mir garnichts ein. . . . Daß ich aber in meinem Jahrhundert in der schwierigen Wissenschaft der Farbenlehre der einzige bin, der das Rechte weiß, darauf tue ich mir etwas zugute und ich habe daher ein Bewußtsein der Superiorität über viele.“

Wozu aber alle diese Dinge im Physikunterrichte? Nicht nur, weil sie für die Geschichte physikalischer Entwicklung so sehr lehrreich sind. Auch darum, weil sie für das Gesamtbild des Menschen Goethe so außerordentliche Bedeutung haben und weil sie im Deutschunterrichte gar nicht besprochen werden können, da dort die exakten Grundlagen für eine Kritik des GOETHESCHEN Werkes über Farbenlehre nicht zur Hand sind.

Natürlich würde eine Aufdeckung von Irrtümern allein eine Besprechung der Farbenlehre nicht rechtfertigen. Meine Aufgabe ist es vielmehr — und sie ist sehr dankbar — nun die schönen Gedanken herauszuschälen, die in so reicher Fülle dem Leser hohen Genuß bereiten. Dazu gehört, was GOETHE über Nachbilder und Kontrastwirkungen, über die Mischung von Licht und Finsternis, über gesteigerte und geforderte Farben, über farbige Schatten und das trübe Mittel sagt, vor allem aber was er über Farbenharmonie und über die sinnlich-sittliche Wirkung der Farben mit wahrhaft poetischem Schwunge ausführt. Hier schaut sein Künstlerauge in ein Land der Schönheit und Klarheit. Hier finden wir den GOETHE wieder, den wir als Meister und Erzieher lieben und bewundern.

Der Raum erlaubt es mir nicht, näher darauf einzugehen, wie ich den Stoff im einzelnen behandle. Mitteilen möchte ich nur noch, daß ich Goethe möglichst viel selbst zu Worte kommen lasse, auch einige farbige Reproduktionen von guten Bildern zur Hand nehme, um an ihnen Goethes Gesetze über die ästhetische Wirkung der Farben nachzuprüfen. Diese Bilder werden für einige Wochen in den Wechselrahmen des Physikzimmers ausgehängt. Sie sind der Sammlung: „Die Dreifarbenkunst“ der Firma Römmler & Jonas (Dresden) entnommen und zeichnen sich durch ihr leuchtendes und reines Kolorit aus. So demonstriert das Bild „Sommersonne“ von Franz Hecker trefflich die Gelbwirkung (Goethe, F. L. I, § 765 ff.), das Bild „Mythologischer Hain“ von H. Rüdigsühl die Wirkung des Rot in seinen verschiedenen Abstufungen (F. L. I, § 792 ff.) usw. Gleichzeitig läßt sich an diesen Bildern, zu denen ich insbesondere noch Fidus' „Zwielichter“ rechnen möchte, sehr gut nachprüfen, was GOETHE über Totalität und Harmonie, über charakteristische und charakterlose Zusammenstellungen sagt. Kann man an einem Studientage eine Wanderung durch ein Museum (Dresdener Gemäldegalerie) ermöglichen, so lassen sich solche Betrachtungen ohne Opfer an planmäßigen Schulstunden in anregendster Weise fortsetzen. Die Schüler freuen sich dann, wenn sie sehen, wie der Unterricht in einem exakten Fache auch für Gemüt und Schönheitsempfinden Stoff und Nahrung bietet.

Im Übrigen kann ich auf eine ausführlichere Würdigung von Goethes Farbenlehre auch darum hier verzichten, weil es aus neuerer Zeit eine ausgezeichnete Arbeit darüber aus der Feder von Studienrat Dr. RUDOLF HUNGER in Dresden gibt. Sie ist überschrieben: „Zur Kunsterziehung in der Schule. Ein Kapitel aus Goethes Farbenlehre“ und findet sich in der Zeitschrift für Deutschkunde (B. G. Teubner), 34. Jahrg. 1920, Heft 1, S. 55 ff. Die Arbeit geht auch auf das Experimentelle ein und enthält

als Beigabe eine Anzahl farbiger Bilder, die nach bekannten und leicht zu beschaffenden Künstlersteindruckern verkleinert wiedergegeben sind. Ich möchte die von feinstem Einfühlen in Goethesches Wesen erfüllte, mit großer Liebe zur Schule und zur Vertiefung des Physikunterrichts geschriebene Abhandlung zum Studium und zur Nacheiferung warm empfehlen.

Wieviel Stunden ich auf GOETHE verwende? In drei Schulstunden kann man schon allerhand geben. Es kommt ja vor allem darauf an, wie man es macht und daß man selbst den Geist verspürt, den man in die Seele des Schülers versenken möchte. Daß man viel Freude daran haben kann, darf ich aus Erfahrung versichern. Und wie schlingt man dabei ein vielgewundenes Band um verschiedene Schulfächer, die man damit aus ihrer Isoliertheit herausreißt: Universitas litterarum! —

Als ich mit GOETHE abgeschlossen hatte, konnte ich es mir nicht versagen, meinen SCHOPENHAUER mit in die Schule zu nehmen und den Schülern einige Stellen aus dessen Abhandlung über das Sehen und die Farben mitzuteilen. Sie lernen hier wieder einen tiefen und gelehrten Denker kennen, der eine scharfe Abneigung gegen die „Herren vom Tiegel und der Retorte“ hat, der in erhöhtem Maße vom Dilettantismus befangen, mit gewaltig gesteigertem Selbstbewußtsein von der Warte des Philosophen aus physikalische Forschung treiben will; der die Worte aussprach: „Der Nachkomme . . . vergleiche den handgreiflichen Trug, die taschenspielerischen Versuche der Newtonschen Optics mit den so einfachen, so leicht faßlichen, so unverkennbaren Wahrheiten, die GOETHE vortrug“. Daß Schopenhauers Farbenlehre sich trotzdem in manchem den Newtonschen Anschauungen nähert, so in dem Zugeständnisse, daß sich Weiß aus Farben herstellen lasse, wird kurz mit gestreift. —

Welch gewaltiger Gegensatz, wenn ich nun in der nächsten Stunde über HELMHOLTZ vortrage! Abschnitte aus dessen Königsberger Vortrag „Über Goethes naturwissenschaftliche Arbeiten“ vorzulesen und zu hören, ist an sich schon ein Genuß. Und wie könnte man besser das Rätsel des Kampfes GOETHE-NEWTON lösen, als durch Vertiefung in HELMHOLTZ' so klare, von feinstem Verständnis für das Wesen des Genies zeugenden Erörterungen? „GOETHE kann nur da behaglich verweilen, wo er die Wirklichkeit selbst vollständig poetisch gestempelt sieht. Darin liegt die eigentümliche Schönheit seiner Dichtungen und darin liegt auch gleichzeitig der Grund, warum er gegen den Mechanismus, der ihn jeden Augenblick in seinem poetischen Behagen zu stören droht, kämpfend auftreten muß und den Feind in seinem eigenen Lager anzugreifen sucht.“

Aus HELMHOLTZ' Forscherarbeiten habe ich zunächst seine Schrift „Über die Zusammensetzung von Spektralfarben“ herausgesucht. Sie gehört ja zu den klassischen Urkunden unserer Wissenschaft und entbehrt schwer verständlicher mathematischer Zutaten. Sehr fein sind darin die einzelnen Farben des Sonnenspektrums und ihre Bezeichnungen auseinander gehalten. Die Mischversuche, die HELMHOLTZ mit Hilfe zweier verschiebbarer und fein verstellbarer Spalte ausführt, ahme ich in grober aber für einen Schulversuch hinreichender Weise unter Benutzung schmaler Spiegelstreifen nach, die aus einem schönen hellen Spektrum von etwa  $20 \times 40$  cm angenähert homogene Farben herausgreifen und auf einem unter einem Winkel in der Nähe aufgestellten weißen Schirme vereinigen. Nicht leicht ist es, die Helligkeit der zu addierenden Farben durch Schrägstellung des Schirmes so zu regeln, daß die resultierenden Farben die gewünschte Schattierung liefern. Übung und Erfahrung führen aber schließlich ganz hübsch zum Ziele, so daß man auf verschiedene Weise angenähert Weiß erhält. Daß durch ein solches Mischverfahren aus Gelb und Blau nicht Grün, sondern Weiß hervorgebracht wird, setzt die Schüler meist in Erstaunen. Mittelst einer unbelegten Glasscheibe, die Gelb durchläßt und zugleich Blau reflektiert, dadurch aber auf der Netzhaut beide Farben mischt, wiederhole ich in anderer Weise die nämliche Erscheinung. Auch der rotierende Spiegel tut gute Dienste zu demselben Zwecke. Natürlich wird die Helmholtzsche Erklärung dafür, wie durch Mischung

blauer und gelber Farbstoffe auf der Palette Grün entsteht, mitgeteilt. Sie findet sich in dem Kapitel „Zusammengesetzte Farben“, das auch sonst noch manchen mitteilenswerten, dem Primaner unschwer verständlichen Abschnitt enthält. Aus der „Physiologischen Optik“ eignet sich der Anfang des Aufsatzes über Farbenblindheit insofern gut zur Wiedergabe, weil dort die Möglichkeit erörtert wird, daß, wie schon YOUNG vermutet hat, im Sehnervenapparate drei Fasernsysteme existieren, durch deren verschieden starke Erregung alle Farben empfunden werden können. Auch gebe ich gerne mit HELMHOLTZ' eigener Worten die wichtige Feststellung, daß das Einfachsehen mit beiden Augen nicht die Folge einer anatomischen Vereinigung der entsprechenden Nervenfasern, sondern die Folge eines Aktes des Urteils ist. Bei dieser Gelegenheit wird auch das wichtigste über Bau und Tätigkeit des Auges durchgesprochen. Auch die hübschen Lummerschen Versuche über Stäbchen- und Zapfensehen führe ich vor.

Übrigens darf ich wohl annehmen, daß HELMHOLTZ, der vom Werte der humanistischen Bildung tief durchdrungen war, meine Auffassung vom physikalischen Unterrichte gebilligt haben würde. Man lese, was der fast Siebzigjährige nach reicher Lebenserfahrung der preußischen Unterrichtskommission über die Vorbildung zum akademischen Studium berichtet hat. Daraus möchte ich nur einen Satz für mich in Anspruch nehmen: „Es liegt eine unverkennbare Gefahr darin, daß dem einzelnen vorzugsweise solches Wissen überliefert wird, von dessen Ursprung er keine eigene Anschauung hat.“

Wenn man heutzutage einem Schüler gegenüber das Stichwort Farbenlehre ausspricht, so wird er automatisch den Namen OSTWALD nennen, zumal in Dresden, wo die „Deutsche Werkstelle für Farbenkunde“ ihren Sitz hat. OSTWALD ist eine ebenso vielgefeierte, als umstrittene Größe. Ich habe sowohl die Einrichtungen der Werkstelle studiert, als auch ihn persönlich mehrfach gehört und mit Künstlern und Kunstgewerblern viel über Ostwalds Theorien und Forschungen gesprochen. Die Mehrzahl der frei schaffenden Künstler lehnt ihn ab. Ich glaube aber, daß eine solche Ablehnung vielfach, wenn nicht meist auf mangelnder Kenntnis dessen beruht, was OSTWALD eigentlich will. Die meisten dieser Herren sind gar nicht dazu zu bringen, Ostwalds Bücher einmal zu gründlichem Studium zur Hand zu nehmen. Merkwürdig. Auch Goethes Farbenlehre kennen nur die wenigsten, soweit meine Kenntnis reicht. Hier spielen ähnliche Hemmungen eine Rolle, wie bei GOETHE und SCHOPENHAUER den zünftigen Wissenschaftlern gegenüber. Die freie Phantasie, der von innen heraus quellende Schaffensdrang wollen kein Gesetz anerkennen, am wenigsten eines, das auf exakten Forschungen beruht oder in Formeln gebracht werden kann.

Die Kunstgewerbler denken schon anders. So hatte die altberühmte Sächsische Porzellanmanufaktur in Meißen sich vor einiger Zeit ganz auf Ostwalds Farbenharmonie eingestellt und ich habe eine Reihe von Tassen gesehen, die in ihrer Gesamtheit einen wunderschönen harmonischen Eindruck machten.

Daß man OSTWALD nicht weglassen darf, wenn man in der soeben skizzierten Weise seinen Primanern Farbenlehre vorträgt, dürfte sicher sein. Fragt sich nur, wie weit man gehen soll; denn eine Fülle von Stoff drängt sich dem Vortragenden auf. Zuerst einmal ist eine gründliche Einarbeitung in die Materie Vorbedingung. Ich glaube, der akademisch gebildete Fachkollege ist im allgemeinen nicht so im Bilde, wie der Volksschullehrer und der Fachlehrer für Zeichnen. Sobald aber — und das ist an manchen Schulen schon der Fall — im Zeichenunterrichte nach OSTWALD gearbeitet wird, ist es sehr wünschenswert, daß in der Physikstunde wenigstens kurz dargetan wird, worin der wissenschaftliche Wert der Ostwaldschen Farbenlehre besteht. Ja, die Schüler wandern wohl gar aus dem Zeichensaal zum Physikzimmer, um zu erfahren, was nun eigentlich der Physiklehrer von seinem Standpunkte aus von der Sache hält und sie freuen sich, wenn auch hier wieder einmal keine trennende Mauer zwischen zwei Unterrichtszweigen den Blick herüber und hinüber versperrt.

Ich habe nun einleitungsweise etwa gesagt: In OSTWALD treffen die Wege aller der großen Männer, von denen wir gesprochen haben, zusammen. OSTWALD nimmt von jedem das Gute und baut daraus mit schöpferischer Kraft ein neues Gebäude, das tragfähige mathematische und physikalische Grundpfeiler hat und doch auch Raum bietet für subjektives Empfinden, für das, was GOETHE die sinnlich-sittlichen Wirkungen der Farben nennt. Man lese nur Ostwalds Schriften. Universelle Beherrschung des Stoffes verbindet sich in ihnen mit einer überaus klaren temperamentvollen und sprachlich schönen Darstellung, die zu immer tieferem Eindringen in die Materie anreizt.

Zunächst stelle ich einige vierundzwanzigteilige Ostwaldsche Farbenkreise in großem Format (50 cm Durchmesser) auf. Einen aus reinen Vollfarben, einen aus weißhaltigen und einen aus schwarzhaltigen Farben zusammen geklebt. Die dazu erforderlichen Papiere sind von der Werkstelle für Farbenkunde bezogen. Auch eine Grauleiter wird aufgebaut und ein Elektromotor, auf dem Farbscheiben in Rotation versetzt werden können.

Nun wird vor allem das unbestreitbare große Verdienst OSTWALDS ins rechte Licht gerückt, das darin besteht, daß er die Farbenlehre in den gegenwärtigen Stand einer geordneten Wissenschaft übergeführt hat, die auf exakt definierten meßbaren Größen beruht. Heute endlich haben wir den Schlüssel in der Hand, Zahl und Maß in der Farbkunst ähnlich zur Geltung zu bringen, wie das längst in der Tonkunst der Fall ist. Daß sich bei jener zufolge der dreifachen Mannigfaltigkeit der Farben viel größere Schwierigkeiten auftürmen, als bei dieser mit der nur einfachen Mannigfaltigkeit der Tonhöhen, muß dem Schüler in erster Linie zum Bewußtsein gebracht werden.

Wenn ich nun den Mut habe, in nur vier oder fünf Schulstunden eine kurze Einführung in den Ostwaldschen Gedankenkreis zu geben, so kann ich natürlich nur die Hauptforschungsergebnisse mit groben Strichen umreißen. Aber ich glaube, dies ist mir gelungen. Leider verbietet mir auch hier der Raum, an dieser Stelle näheres auszuführen. Ich verweise auf den trefflichen Originalbericht WILHELM VOLKMANN'S in dieser Zeitschrift, 33, S. 230ff. Farbgleichung, Farbdreieck und Farbkörper werden besprochen und in Beispielen zur Vorführung gebracht. Immer wieder wird betont, daß die Farbe nicht „durch die Natur und Stärke des Lichts restlos bestimmt wird“, sondern sehr wesentlich auch „durch Ursachen innerer und seelischer Art.“ Versuche über Kontrastwirkungen schließen sich hier an. Bunte und unbunte Farben werden besprochen und das Grundsätzliche der Ostwaldschen Farbenmessung wird dargelegt. Schließlich gehe ich auch wenigstens etwas auf die Harmonielehre OSTWALDS ein und baue Dreiklänge, Vierklänge und unvollständige Klänge zusammen, wobei auch noch auf andere Möglichkeiten, Farbenharmonien herzustellen, hingewiesen wird.

Zum Schluß wird noch einmal auf GOETHE zurückgegriffen, und dargetan, warum dieser in seinem Kapitel über die sinnlich-sittliche Wirkung der Farben nicht zum Ziele gelangen konnte, weil er nur den Farbton, nicht aber die unbunten Bestandteile der Farben berücksichtigte. —

Einen guten Abschluß der Behandlung der Farbenlehre gibt dann noch ein kurzes Eingehen auf das Wesen des Dreifarbendruckes und der Farbenphotographie. Neben dem Lippmannschen Verfahren wird das Lumière'sche genauer erläutert. Ich habe auf einer Tafel eine große Anzahl von etwa erbsengroßen violetten, roten und grünen Papierscheibchen in möglichst regelmäßiger Unregelmäßigkeit aufgeklebt und dazu ein Deckglas hergestellt, auf dem mit gleichgroßen schwarzen Scheibchen gewisse Stellen so zugedeckt werden können, daß ein roter Kreis und ein grünes Rechteck entstehen, wenn man Tafel und Glas richtig aufeinander legt. Mit dem Projektionsapparate werden im Anschluß daran Lumièreaufnahmen in starker Vergrößerung wiedergegeben. Durch Betrachtung aus der Nähe und aus der Ferne werden dann Ursache und Wirkung hinreichend klar.



So unvollständig meine Ausführungen auch waren, so oft sie auch nur einzelnes herausgriffen —, so hoffe ich doch, daß ich verstanden worden bin. Ich denke nicht daran, nun gerade die skizzierte Stoffanordnung zur Nachahmung zu empfehlen. Ich selbst mache es das nächstemal vielleicht wieder anders. Auf das Grundsätzliche kommt es mir an, darauf, daß man dem gereiften Gymnasiasten, ehe er die Schule verläßt, einmal mehr und höheres bietet wie bisher, im Sinne der Ausführungen, die ich zu Anfang dieses Aufsatzes gemacht habe.

Ich bin mir auch wohl bewußt, daß mir vielleicht nicht alle Fachgenossen zustimmen werden. Manchen Einwand sehe ich schon voraus. Man wird sagen, daß die kursorische Behandlung eines Teiles des Primanerpensums und gar die Weglassung einzelner Kapitel einer gleichmäßigen und harmonischen Gesamtausbildung in Physik im Wege stehe. Was heißt aber: gleichmäßige und harmonische Gesamtausbildung? Jeder Lehrplan ist ein Kompromiß. Die Meinungen darüber, was notwendig und nebensächlich ist, werden stets auseinander gehen. Zudem zwingen so wie so manchmal unvorhergesehene Ursachen zu einer Kürzung des Stoffes. Da muß es eben auch gehen. Des weiteren kann dadurch Zeit herausgeschlagen werden, daß man nicht alles peinlich genau wiederholt und einpaukt. Ich habe gefunden, daß das Interesse der Schüler gerade bei einem solchen Sonderkurse erfreulich wächst, daß sie eine halb-akademische Vortragsart zu würdigen wissen. Wichtig ist nun auch das Urteil früherer Schüler, wie es mir nach Jahr und Tag zuweilen zu Ohren kommt und das bisher nur günstig geklungen hat. Und hocheifrig war auch der Ausfall einer zuletzt angeschlossenen Gesamtwiederholung, bei der ich weniger abfragte, als die einzelnen zusammenhängend berichten ließ. Man täusche sich nur nicht darüber, daß sonst bei Wiederholungen viel ad hoc eingepaukte Weisheit herunter gesagt wird, die gar bald wieder verflattert und dahin schwindet. Was ich aber nach meinem Verfahren zu bieten versuche, vertiefte und verdichtete Physik, ist — um im Gleichnis zu reden — nicht eine Aneinanderreihung von flüchtigen Bleistiftskizzen, sondern ein kleines, gerahmtes, ausdrucksvolles, farbiges Gemälde, das noch lange vor dem geistigen Auge steht und nicht schnell verblaßt.

Zurückweisen möchte ich auch die Vermutung, daß ich insonderheit diejenigen Schüler im Auge habe, die sich einem technischen Berufe widmen wollen. Im Gegenteil sollen gerade die anderen, die voraussichtlich keine physikalischen Vorlesungen hören werden, wenigstens einmal ein wenig tiefer in den Vorhof des Tempels der Wissenschaft eingeführt werden.

Schließlich denke ich auch an den Lehrer selbst. Ewiges Gleichmaß ermüdet und stumpft ab. Abwechslung frischt auf und übt einen wohltuenden Zwang aus, nicht in die Schablone zu verfallen. Wie freut man sich immer schon auf die Vorbereitung des nächsten Sonderkapitels. Literaturstudien machen sich nötig, neue Versuche werden zusammengestellt und erprobt, der Lehrgang wird entworfen und der Stoff auf die in Frage kommenden Monate — etwa Oktober bis Dezember — verteilt. Das kostet natürlich Zeit. Aber Lust und Liebe zum Dinge, macht Müh und Arbeit geringe. Und Erfolg wird immer nur der Lehrer haben, der allzeit mit Begeisterung seines Amtes waltet, der jung bleibt mit seinen Schülern und der emsig an seiner eigenen Fortbildung weiter arbeitet.

Vielleicht bieten meine Anregungen manchem Amtsgenossen nichts Neues. Dann würde ich mich nur darüber freuen und eine Aussprache gelegentlich einer Zusammenkunft etwa des Vereins zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts begrüßen.

## Fallversuche mit einem selbstgefertigten Chronographen.

Von Oswald Michaelis in Duisburg.

Der experimentelle Teil der Lehre vom freien Fall im Unterricht der Oberstufe hat mich bisher nie vollkommen befriedigt. Der Hauptgrund hierfür liegt darin, daß der eigentliche freie Fall, d. h. der ungehinderte, ungebremste Fall, bei den Versuchen zu kurz kommt.

Die Atwoodsche Fallmaschine und die Galileische Fallrinne liefern wohl gleichförmig beschleunigte Bewegungen, aber keinen freien Fall. Das Verfahren nach FR. C. G. MÜLLER (Technik des phys. Unterr. S. 61) und die ihm ähnliche Grimsehl'sche Anordnung leiden darunter, daß einerseits der freie Fall der Platte durch die berührende Stimmgabel mehr oder weniger stark gebremst wird und andererseits die Auszählung der ersten Wellen derart schwierig ist, daß der verdienstvolle Verfasser selbst rät, den Ort der zwanzigsten Welle zu berechnen.

Das Verfahren mit größeren Fallhöhen (im Treppenhaus oder vom Dach herab) kann wegen der verhältnismäßig groben Zeitmeßvorrichtungen (Stechuhr, Sekundenpendel oder Metronom) keine genauen Beziehungen zwischen Zeit und Weg ergeben. Dies leuchtet ein, wenn man bedenkt, daß einer Änderung der Fallhöhe von 19 auf 20 m, also um 1 m eine Änderung der Fallzeit von 1,95 auf 2,00 Sekunden, also um 0,05 Sekunden entspricht, d. h. ein Unterschied, den die genannten Zeitmeßvorrichtungen nicht erkennen lassen.

Die erwähnten Schwierigkeiten lassen sich nur vermeiden, wenn man die Fallzeit elektrisch durch einen Chronographen registrieren läßt. Man kann die Versuche alsdann sogar im Zimmer ausführen.

Ein brauchbarer Chronograph wird augenblicklich nicht unter 1500 Mk. zu haben sein und dürfte daher für die meisten Anstalten Gegenstand eines unerfüllbaren Wunsches bleiben. Es wird deshalb manchem Amtsgenossen nicht unerwünscht sein, in den folgenden Zeilen einen im Grundgedanken vielleicht nicht neuen, wohl aber selbst herstellbaren wenig kostspieligen Apparat kennen zu lernen, dessen Chronograph auch für andere physikalische und vielleicht auch physiologische Zeitmessungen geeignet ist.

Die gesamte Vorrichtung zerfällt in zwei Hauptteile, den Chronographen und die Fallapparate.

### Der Chronograph.

Auf dem Grundbrette *A* (Fig. 1) von 1 m Länge und 20 cm Breite ist an der einen Längsseite ein Schlitten *C* von 50 cm Länge und 10 cm Breite auf zwei Schienen *B* über die ganze Länge des Grundbrettes leicht zu verschieben. Auf diesen Schlitten wird zum Versuche eine berußte Glasplatte *E* von etwa denselben Abmessungen gelegt.

Etwas rechts von der Mitte des Grundbrettes ist neben der Bahn des Schlittens eine Stromunterbrechung (Messingfeder *H* und Anschlag *J*) angebracht, die durch eine am Schlitten befindliche Nase *D* für kurze Zeit geöffnet wird, wenn der Schlitten aus seiner am rechten Ende der Bahn befindlichen Anfangslage um etwa 2 cm nach links verschoben wird. Über dem Schlitten ist am rechten Ende eine Schreibstimmgabel *G*, die wohl in den meisten Sammlungen zu finden sein wird, durch eine Doppelmuffe *F* (Bunsenstativ) an einem neben der Bahn stehenden Vertikelstab befestigt.

Links von der Mitte des Grundbrettes ist über der Schlittenbahn ein Elektromagnet *K* (aus einer alten elektrischen Klingel) angebracht, dessen papierumklebter, an einer Blattfeder sitzender Anker *M* bei stromlosen Magneten an ein Gegenlager *O* (vgl. Schnitt *r-s*) gedrückt wird. Am Ende des Ankers sitzt ein Schreibdraht *N*, dessen Form aus Fig. 1 erkennbar ist.

Die Stromleitung geht von einer Klemmschraube  $a_1$  aus durch die Windungen des Elektromagneten  $K$  zu der Unterbrechfeder  $H$  und durch den Anschlag  $J$  zur zweiten Klemmschraube  $a_2$ .

Schickt man einen elektrischen Strom durch den Apparat, so wird der Anker angezogen; schlägt man nun die Stimmgabel an und schiebt den Schlitten mit der berußten Glasplatte nicht zu hastig bis zum linken Ende der Bahn durch, so zeichnet

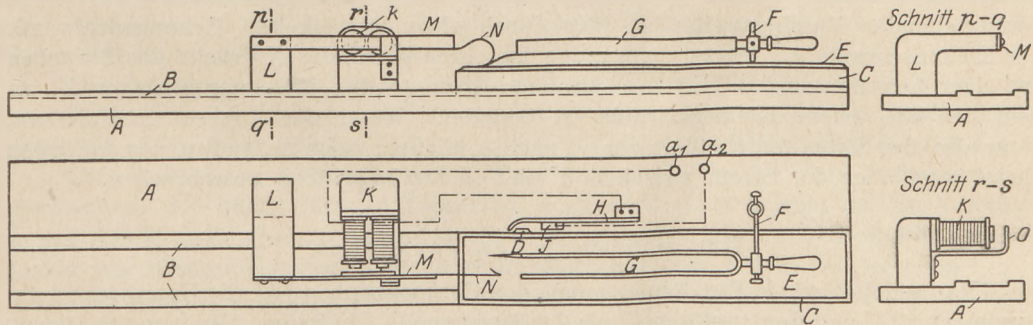


Fig. 1.

der Schreibstift der Stimmgabel die bekannte Wellenlinie auf die Platte, während der Schreibdraht  $N$  des Ankers eine geradlinige Spur hinterläßt, die durch eine seitliche Ausbuchtung unterbrochen ist und zwar an der Stelle, die der Stromunterbrechung durch die Nase des Schlittens entspricht. Jede anderweitige kurze Stromunterbrechung muß sich durch eine weitere seitliche Ausbuchtung der Spur des Schreibdrahtes kennzeichnen, und man kann den Zeitunterschied zwischen den beiden Stromunterbrechungen durch Auszählung der Wellen zwischen den beiden Ausbuchtungen feststellen.

Aus dem Gesagten geht hervor, daß der Chronograph für Zeitmessungen von solchen kurzen physikalischen Vorgängen geeignet ist, die durch Stromunterbrechung am Schlittenkontakt ausgelöst werden können und deren Ende eine zweite Stromunterbrechung hervorbringt.

Der Apparat gestattet bei Verwendung einer Stimmgabel von 128 Schwingungen in der Sekunde Messungen mit einer Genauigkeit von  $\frac{1}{2}$  Schwingung oder  $\frac{1}{256}$  Sekunde. Die Dauer der zu messenden Vorgänge kann bis zu zwei Sekunden betragen.

### Die Fallapparate.

Die Fallapparate bestehen aus der Auslösevorrichtung (Fig. 2 oben) und der Unterbrechungsvorrichtung (Fig. 2 unten).

Die Auslösung des fallenden Körpers versuchte ich anfangs auf die Weise zu bewerkstelligen, daß ich eine Stahlkugel unter Zwischenschaltung eines Papierblättchens an einen Elektromagneten hängte und sie durch Stromunterbrechung abfallen ließ. Es zeigte sich jedoch, daß die beim Wiederschließen des Stromes einsetzende neue Anziehung den Fall verzögerte. Ich gab daher dem Auslöser die in Fig. 2 ange deutete Form und benützte als Fallkörper eine Messingkugel.

Der Elektromagnet  $P$  mit den Anschlußklemmen  $b_1$  und  $b_2$  zieht bei geschlossenem Strom den Papierumklebten Anker  $Q$  an und klemmt dabei die Messingkugel  $R$  von etwa 1,5 cm Durchmesser zwischen die Verlängerung des Ankers und das feste Gegenlager  $S$  ein. Beim Öffnen des Stromes reißt eine Spiralfeder  $T$  den Anker bis zu

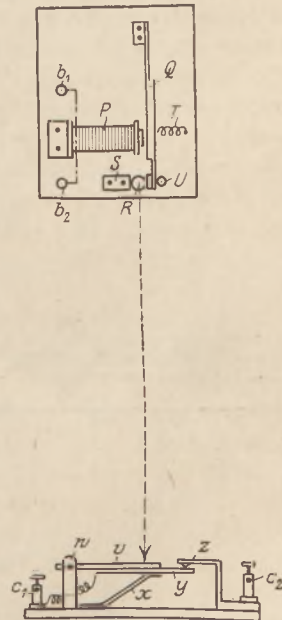


Fig. 2.

dem Anschlag  $U$  zurück und gibt die Kugel frei. Damit die Kugel beim Beginn des Falles nicht am Gegenlager  $S$  schleift, ist die Anschlagfläche von  $S$  um einen geringen Betrag divergent nach unten gegen die Fallbahn gestellt. Diese Auslösevorrichtung wird an der Wand oder einem hinreichend hohen Gestell befestigt.

Senkrecht darunter steht der Unterbrecher (Fig. 2 unten), an dem die fallende Kugel bei ihrem Aufprall den Strom unterbricht. Er besteht aus dem in einem Lager  $W$  drehbaren Holzbrettchen  $V$  ( $10 \times 10$  cm). An diesem befindet sich unten ein rechts herausragender Messingstreifen  $Y$ , der durch einen gewickelten Leitungsdraht mit der Klemmschraube  $c_1$ , leitend verbunden ist. Eine Blattfeder  $X$  drückt das Brettchen mit dem herausragenden Teil des Streifens  $Y$  unter das Messinggegenlager  $Z$ , an dem sich die zweite Klemmschraube  $c_2$  befindet. Wenn der Apparat in Ruhe ist, kann also der Strom ungehindert von  $c_1$  nach  $c_2$  fließen, beim Aufstoßen der fallenden Kugel wird aber der Strom zwischen  $Y$  und  $Z$  für kurze Zeit unterbrochen.

#### Durchführung des Versuches.

Man schaltet, wie in Fig. 3 angegeben, den Chronographen  $III$ , die Unterbrechungs-  
vorrichtung  $IV$  und den Auslöser  $V$  mit der Stromquelle  $I$  in Reihe. Da man mit Dauer-  
strom arbeitet, ist es vorteilhaft, zur Schonung der Batterie einen Stromschlüssel  $II$   
einzuschalten, der während der Vorbereitungen geöffnet ist.

Der Strom läuft also von der Stromquelle  $I$  (etwa 6 bis 8 Volt) durch den  
Stromschlüssel  $II$ , zur Klemmschraube  $a_1$  des Chronographen  $III$ , durchläuft die Win-  
dungen des Elektromagneten  $K$  und

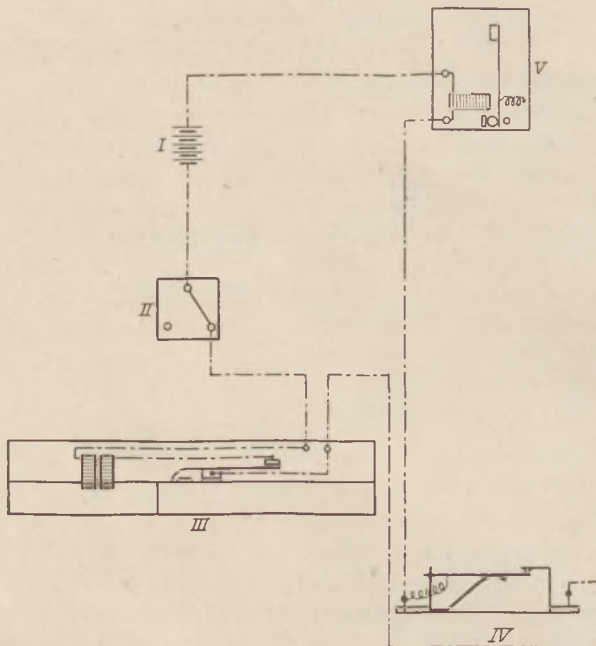


Fig. 3.

den Unterbrecherkontakt  $H-J$ , verläßt den Chronographen bei  $a_2$  und durchfließt den Unterbrecher  $IV$  von  $c_1$  nach  $c_2$ . Hierauf geht er zur Auslösevorrichtung  $V$ , deren Magneten er umkreist und kehrt zur Stromquelle zurück.

Zu einem Versuche legt man eine berußte Glasplatte auf den Schlitten des Chronographen, prüft die Stellung der beiden Schreibdrähte am Anker und an der Stimmgabel, die möglichst genau nebeneinander die Glasplatte berühren müssen, schließt den Strom bei  $II$  und klemmt die Messingkugel zwischen die Ankerverlängerung und das Gegenlager des Auslösers ein. Dann schlägt oder streicht man die Stimmgabel an und schiebt den Schlitten nicht zu hastig bis zum linken Ende seiner Bahn durch. In dem Augenblicke,

wo die Nase  $D$  des Schlittens den Kontakt  $H-I$  unterbricht, werden gleichzeitig die beiden Anker am Chronographen und am Auslöser losgelassen. Die Kugel beginnt den Fall und gleichzeitig zeichnet der Schreibdraht  $N$  seine erste Ausbuchtung. Die Unterbrechung dauert jedoch nur kurze Zeit (bei meinem Apparat  $\frac{3}{128}$  Sekunden), sobald die Nase  $D$  an die Feder  $H$  vorüber ist, wird der Strom wieder geschlossen und beide Anker werden wieder angezogen. Die fallende Kugel trifft auf den senkrecht unter dem Auslöser stehenden Unterbrecher und öffnet hier den Kontakt, wo-

durch der Chronographenanker wieder losgelassen wird und sein Schreibdraht eine zweite Ausbuchtung in seiner Spur hinterläßt.

Der an der danebenliegenden Wollenlinie abzählbare Zeitunterschied zwischen den beiden Ausbuchtungen ergibt die Fallzeit der Kugel, während die zugehörige Fallhöhe als Abstand des untersten Punktes der eingeklemmten Kugel von der oberen Fläche des Auffangbrettes am Unterbrecher leicht zu bestimmen ist.

Die Durchführung eines Versuches dauert, wenn die Glasplatten vorbereitet sind, etwa 3 Minuten, so daß in einer Unterrichtsstunde leicht eine Reihe von 6 und mehr Versuchen durchgeführt werden kann.

Der Apparat arbeitet bis zu Fallhöhen von 30 cm herab zufriedenstellend. Bei einer Reihe von 12 Versuchen mit Fallhöhen zwischen 30 und 300 cm fand ich als Mittel für  $g$  den Wert  $957 \text{ cm/sec}^2$  mit Abweichungen von  $1,3\%$  nach oben und unten.

Die Abweichung vom wirklichen Wert von  $g$  möchte ich dem Luftwiderstand zuschreiben. Sie dürfte für den Unterricht auch nicht stark stören, da die Versuche ja nur das Weg-Zeitgesetz dartun sollen und außerdem die wissenschaftlichen Methoden zur Bestimmung von  $g$  ja ebenfalls nicht mit dem freien Fall arbeiten.

Es wäre aber vielleicht möglich, die beiden Apparate der Fig. 2 bei entsprechender Umkonstruktion in eine Newtonsche Fallröhre einzuschließen, um den Einfluß des Luftwiderstandes bei verschiedenen Verdünnungs- und Verdichtungsgraden zu untersuchen.

#### Nachtrag.

Nach Ansicht des Herrn Dr. W. VOLKMANN, die mir durch gütige Vermittlung des Herrn Herausgebers dieser Zeitschrift zuzuging, dürfte die Abweichung des gefundenen Wertes von  $g$  vom wirklichen Werte nicht allein dem Luftwiderstande, sondern zum großen Teil auch dem Umstande zuzuschreiben sein, daß der Magnet  $P$  (Fig. 2 oben) den Anker  $Q$  bei der Stromöffnung nicht momentan losläßt und daß daher die Kugel  $R$  ihren Weg zu spät beginnt. Um diese Verzögerung auszuschalten habe ich, einem Gedanken des Herrn Dr. W. VOLKMANN folgend, die Kugel  $R$  mit in den Stromkreis des Chronographen eingeschaltet, so daß die erste Unterbrechung des Stromes für die eigentliche Zeitmessung nicht durch die Auslösevorrichtung  $H-I$  des Schlittens, sondern durch die fallende Kugel selbst erfolgt. Dieses Verfahren lieferte als Mittel von 10 Messungen den Wert  $g = 970$ , wobei die Abweichungen vom wahren Wert mit wachsender Fallhöhe zunahm, also wahrscheinlich dem Luftwiderstande zuzuschreiben sind.

Auch für dieses abgeänderte Verfahren läßt sich die beschriebene Vorrichtung mit geringen Abänderungen verwenden, man muß jedoch zwei Stromquellen benutzen.

Die erste Abänderung besteht darin, daß am Chronographen (Fig. 1) die Unterbrechungsstelle  $H-J$  mit einem Paar Klemmschrauben verbunden wird und daß getrennt davon die Zuleitungen zum Magneten  $K$  eigene Klemmschrauben erhalten.

Eine weitere Abänderung ist an der Auslösevorrichtung (Fig. 2 oben) vorzunehmen, und zwar ist (siehe Fig. 4) dem Gegenlager  $S$  für die Fallkugel die skizzierte Form zu geben. Bei  $a$  und  $b$  ist das Messingblech rechtwinkelig hochgebogen und außerdem ist eine Klemmschraube  $c$  angelötet. Der Strom wird durch die Klemmschraube  $d$  am Halter des Ankers  $Q$  zugeleitet, durchfließt den Anker und geht entweder durch die eingeklemmte Messingkugel  $R$  und das Gegenlager  $b$  oder, nachdem die Kugel abgefallen und der Anker von  $P$  wieder angezogen ist, durch  $Q$  und das Gegenlager  $a$  zur Klemmschraube  $c$ .

Die Apparate sind nunmehr in der folgenden Weise zu schalten (Fig. 5): Von der Stromquelle  $VI$  aus geht der eine Strom durch den Magneten des Auslösers  $V$

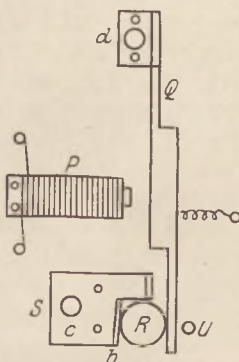


Fig. 4.

und die Unterbrechungsstelle  $H-I$  des Chronographen  $III$  über den Stromschlüssel  $II$  nach  $VI$  zurück. Der andere Strom geht von der Stromquelle  $I$  aus durch Anker, Kugel und Gegenlager von  $V$ , durch die Unterbrechungsrichtung  $IV$  und den Anker des Chronographen  $III$  zur Batterie zurück.

Wird nun beim Fortschieben des Chronographenschlittens der Strom bei der Unterbrecherstelle  $H-I$  geöffnet, so läßt der Magnet des Auslösers den Anker los, die Kugel fällt heraus und unterbricht den Chronographenstrom von  $I$ , so daß der Magnet des Chronographen im Moment des Abfallens der Kugel seinen Anker losläßt. (Eine Verzögerung beim Loslassen dieses Ankers gleicht sich bei der Messung wieder aus.) Sobald der Strom  $VI$  bei  $H-I$  wieder geschlossen ist, legt sich der Anker an das Gegenlager  $a$  des Auslösers, so daß auch der Strom  $I$  sofort wieder geschlossen wird und für die zweite Aufzeichnung beim Auftreffen der Kugel auf  $IV$  verwendungsbereit ist. Im übrigen ist das Arbeitsverfahren wie das frühere.

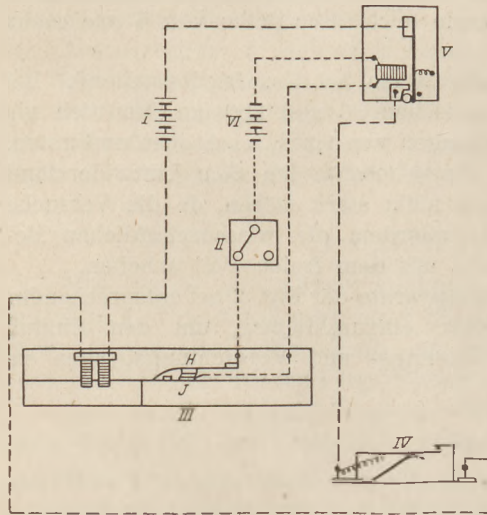


Fig. 5.

Bringt man die oben beschriebenen Änderungen an den Apparaten an, so kann man die Apparate beliebig nach Fig. 3 oder Fig. 5 schalten, kann also das einfachere, aber etwas ungenauere Verfahren oder das kompliziertere, dafür aber genauere anwenden.

Man kann endlich auch durch eine längere Versuchsreihe bei geringer Fallhöhe (etwa 40 cm) und daher auch geringem Widerstand der Luft die ungefähre Größe der Loslaßverzögerung des Magneten  $P$  für die gebrauchte Stromstärke ein für allemal durch Vergleich mit dem wirklichen Wert von  $g$  ermitteln (für meinen Apparat beträgt sie 0,7 Schwingungen der Stimmgabel ( $n = 128$ ) = 0,0055 Sek.), und diese Korrektur von den gefundenen Zeiten jedesmal in Abzug bringen. Bei diesem Verfahren ergibt die im Artikel erwähnte Versuchsserie für  $g$  nicht den Wert 957, sondern 971, eine Zahl, die mit dem nach dem zweiten Verfahren ermittelten Werte für  $g$  (970) recht gut übereinstimmt.

## Das Parallelogrammpendel als physikalische Verwirklichung des mathematischen Pendels<sup>1)</sup>.

Von Adolf Keller in Pforzheim.

Die Schwingungsdauer  $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$  des mathematischen Pendels würde eine einfache und sehr genaue Bestimmung der Schwerebeschleunigung  $g$  gestatten, wenn es möglich wäre, das mathematische Pendel physikalisch so zu verwirklichen, daß seine Pendellänge  $l$  eindeutig bestimmt und meßbar wäre. Die gebräuchliche Verwirklichung durch eine kleine Pendelkugel aus schwerem Werkstoff, die an einem leichten Faden hängt (Fig. 1), gestattet nur grobe Annäherung in der Bestimmung von  $g$ . Die Abweichungen dieses „quasi-mathematischen“ Pendels beruhen — wenn man von Luftauftrieb, Luftwiderstand, Steifigkeit und Dehnbarkeit des Fadens absieht — hauptsächlich auf der Nichterfüllung zweier Bedingungen:

<sup>1)</sup> Man vgl. hierzu Fr. C. G. Müller, Einige neue Pendelversuche, ds. Zeitschr. 2, 227 (1889).

1. Es sollte die Masse des Fadens im Vergleich zu der des Pendelkörpers verschwindend klein sein.

2. Es sollte sich bei den Schwingungen keine Energie in Rotationsenergie des Pendelkörpers umsetzen.

Die Erfüllung der ersten Bedingung kann bei der Wahl eines sehr schweren Pendelkörpers und bei Ausnützung der vollen Tragfähigkeit eines sehr starken Fadens bis zu einem befriedigenden Grade durchgeführt werden, aber gerade die Wahl eines sehr schweren Pendelkörpers führt zu einer erheblichen Steigerung der Schwierigkeiten hinsichtlich der zweiten Bedingung. Man könnte sogar zu einer vollkommenen Erfüllung der ersten Bedingung gelangen, wenn man den Pendelfaden dadurch vollkommen vermeiden würde, daß man die Pendelmasse in Form einer Kugel, Walze oder eines anderen Rotationskörpers auf einem in lotrechter Ebene liegenden Kreisbogen  $AB$  mit dem Krümmungsmittelpunkt  $O$  hin- und herrollen ließe. Bei dieser Anordnung (Fig. 2) wird aber auf dem absteigenden Ast nur ein Teil der potentiellen Energie des Körpers sich in Translationswucht umwandeln, während der andere Teil zur Beschleunigung der Drehung verbraucht wird. Der Pendelkörper durchschreitet daher die Nulllage mit geringerer Geschwindigkeit als das entsprechende Fadenpendel der Fig. 1 mit derselben Pendellänge, erreicht aber trotzdem dieselbe Steighöhe wie

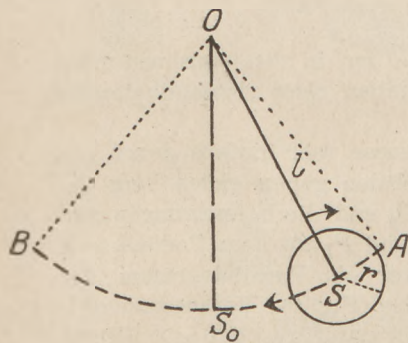


Fig. 1.

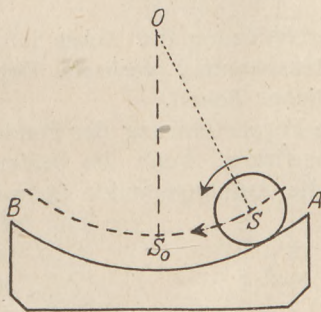


Fig. 2.

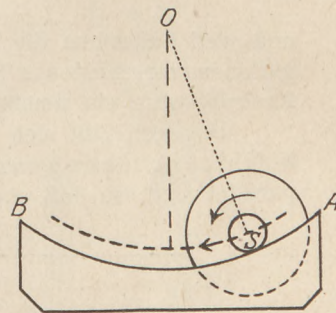


Fig. 3.

dieses, weil er von der Rotationswucht auf der schiefen Bahn noch über die Höhe hinaufgerollt wird, in der die Translationsenergie bereits vollständig verbraucht ist. Die auftretende Rotation bewirkt also eine Vergrößerung der Schwingungsdauer des Pendels, die um so größer ist, je größer das Trägheitsmoment und die erreichte Rotationsgeschwindigkeit ist. Sie wäre z. B. noch erheblich größer, wenn ein Rad mit dünner Achse auf zwei parallelen Kreisbögen lagernd so rollen würde, wie die Fig. 3 erkennen läßt.

In ähnlicher Weise, wenn auch in entsprechend schwächerem Maße, macht sich der Einfluß der Rotation des Pendelkörpers auch beim Fadenpendel bemerkbar; durch die Drehung der Pendelkugel wird die Schwingungsdauer vergrößert und man findet die dem mathematischen Pendel von der Länge  $l$  zugehörige Schwingungsdauer  $T$ , indem man der beobachteten Schwingungsdauer  $\tau$  die Korrektur  $-\frac{1}{5} \frac{r^2}{l^2} \tau$  zufügt,

worin  $r$  der Radius der Pendelkugel,  $l = OS$  die Länge des Pendels vom Aufhängungspunkt  $O$  bis zum Mittelpunkt  $S$  der Pendelkugel bedeutet (Fig. 1).

Der Versuch, den Einfluß des Fadengewichtes durch Vergrößerung der Pendelmasse herabzusetzen, führt also auf neue Schwierigkeiten, insofern als diese Vergrößerung mit einer Erhöhung des Trägheitsmomentes verbunden ist. Um dieses wiederum auszuschalten, müßte man entweder die Masse in einem sehr dünnen Stab anordnen, wie in Fig. 4 angedeutet (ohne praktisch ein verschwindend kleines Moment zu erzielen) oder man muß das Auftreten einer Drehung überhaupt ver-

hindern. Wenn dies gelingt, kann man beliebig große und beliebig geformte Pendelkörper anwenden und im Verhältnis zu ihrer Masse kann der Faden bei Auswahl eines sehr tragfähigen Werkstoffes so leicht genommen werden, daß er praktisch neben dem Pendelkörper unberücksichtigt bleiben kann.

Die rotationslose Aufhängung einer Pendelmasse an einer durch seinen Schwerpunkt gehenden Achse, wie sie in Fig. 5 angedeutet ist, wird sich wegen leicht ersichtlicher technischer Schwierigkeiten in der Praxis niemals erreichen lassen, schon weil die Schneide der Achse nie genau durch den Schwerpunkt gelegt werden kann

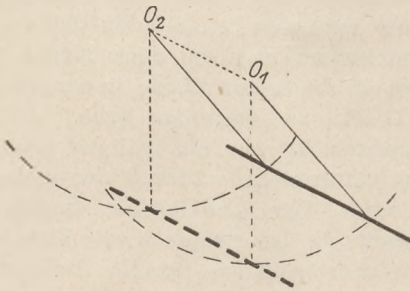


Fig. 4.

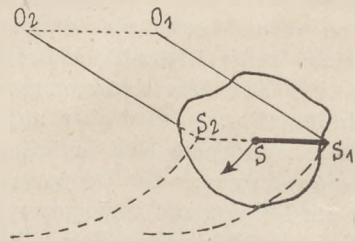


Fig. 5.

und weil außerdem die Durchbiegung der Achse infolge der in den einzelnen Elongationen verschiedenen Fadenspannung wechselt. Der Einbau eines richtunghaltenden Kreisels wäre ein umständlicher Behelf.

Dagegen läßt sich die Parallelführung der Pendelmasse sehr einfach durch eine bifilare Aufhängung bewirken, wenn die beiden Fäden genau gleich lang und parallel sind, so daß also die Aufhängepunkte  $O_1$  und  $O_2$  und die Befestigungspunkte  $P_1$  und  $P_2$  an dem Pendelkörper

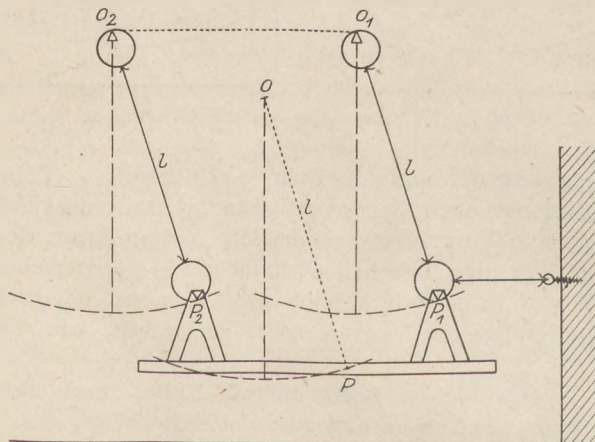


Fig. 6.

immer ein Parallelogramm darstellen (Fig. 6). Voraussetzung ist dabei natürlich, daß die Schwingungen sich genau in der senkrechten Ebene der beiden ruhenden Fäden abspielen, was leicht dadurch erreicht werden kann, daß man einen in dieser Ebene liegenden Punkt der Pendelmasse durch eine Schnur an einem ebenfalls in dieser Ebene liegenden Punkt des Zimmers anhängt (Visieren an den beiden Pendelfäden!) und sie durchbrennt. Bei den Schwingungen dieses Pendels beschreiben alle einzelne Punkte  $P$  in reiner

Translationsbewegung kongruente Kreisbögen, deren Radius  $r = O_1P_1 = O_2P_2 = OP$  als Pendellänge  $l$  anzusehen ist.

Die Aufhängung an Ringen und Stahlschneiden macht die Durchführung zwar einfach, aber sie hat den Nachteil, daß die vier Ringe der Fadenmasse noch zuzurechnen sind, und zwar die zwei unteren Ringe in einem erheblich höheren Maße als die oberen. Wenn sich die Art der Zuteilung auch mathematisch streng feststellen ließe, so wäre doch der Vorteil wieder aufgegeben, der ja gerade darin bestand, den Pendelfaden praktisch außer Ansatz lassen zu dürfen.

Da erweist sich nun ein Gedanke als außerordentlich nutzbringend, den schon BESSEL zur Behebung einer anderen Schwierigkeit erfolgreich beigezogen hatte. Um



bei der Untersuchung der Schwingungsdauer von Fadenpendeln mit kleinen Pendelkugeln die Pendellänge genau auszumessen, mußte er den Aufhängungspunkt scharf definieren. Wegen der Steifigkeit des Fadens ist dies aber namentlich bei kleinen Pendelmassen nicht sehr leicht, denn der obere Teil des Fadens wird sich nicht an der Einklemmstelle in scharfem Knick umbiegen, sondern nach Art einer elastischen Feder allmählich aus der Ruhelage in die eben bestehende Elongationsrichtung umbiegen. Um diese Ungenauigkeit auszuschalten, ließ BESSEL den Faden seines Pendels sich von einem Zylinder abwickeln, so daß in jedem Augenblick die Pendellänge vom Mittelpunkt der Pendelkugel bis zum Berührungspunkt des Fadens mit dem Zylinder scharf definiert war. Daß dann erhöhte Schwierigkeiten in der mathematischen Behandlung dieser Pendel mit elongationsproportionalen Fadenverlängerungen auftraten, versteht sich von selbst.

Beim Parallelogrammpendel mit doppelter Fadenabwicklung ist auch diese Schwierigkeit vermieden (Fig. 7 und 8) und die belastenden Ringe der Fig. 6 sind durch die denkbar einfachste Aufhängungsart überflüssig gemacht. Da bei gleichem Durchmesser der vier Zylinder bei jeder Schwingung des Pendels ebenso-

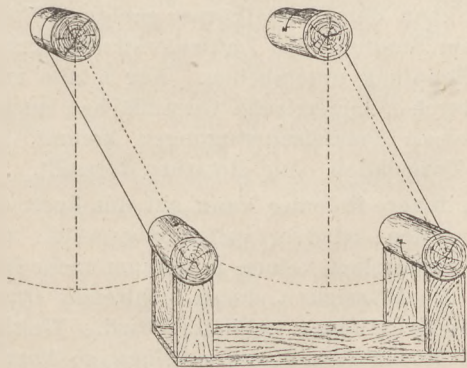


Fig. 7.

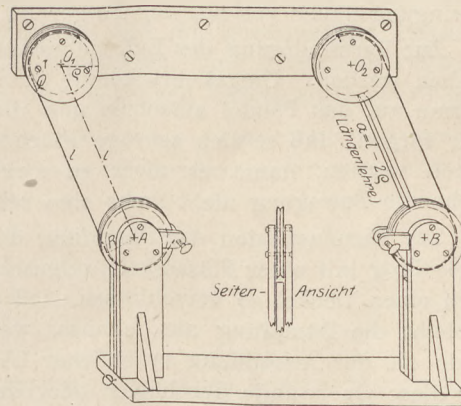
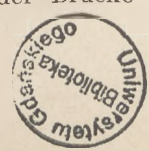
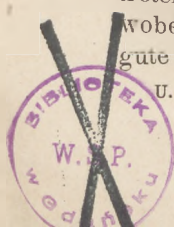


Fig. 8.

viel Faden ab- wie aufgewickelt wird, ist die Parallelführung des Pendelkörpers auf alle Fälle gewährleistet. Als Pendellänge ist die Fadenlänge  $QR$  zwischen den beiden Berührungspunkten mit den Zylindern anzusehen; sie ist gleichbedeutend mit dem Abstand der beiden Zylinderachsen  $O_1A$  und  $O_2B$ . Die genaue Einstellung auf bestimmte Länge kann, ähnlich wie die Spannung der Saiten einer Gitarre, mit Schneckentrieb bewerkstelligt werden.

Es sei noch darauf hingewiesen, daß die Aufhängepunkte  $O_1$  und  $O_2$  nicht in derselben Wagrechten zu liegen brauchen; man wird aber nicht allzuweit von dieser Lage abgehen, wenn man die Pendelmasse dadurch veränderlich machen will, daß man beliebige Körper auf den tragbrettartigen Pendelkörper aufstellt. Denn die wesentlichste Eigenschaft des Parallelogrammpendels besteht darin, daß man die Pendelmasse durch ganz beliebiges Auflegen oder festes Anhängen von Zusatzmassen verändern darf, ohne daß die Schwingungsdauer einen anderen Wert erhält. Dieser Umstand macht es für gewisse Untersuchungen besonders geeignet.

Sollte bei erheblicher Belastung eine Verlängerung der Fäden durch Zug eintreten, so wäre sie durch die in Fig. 8 angedeutete Spannvorrichtung auszugleichen, wobei eine zwischen die Walzen eingelegte Längenlehre  $a = l - 2q$  eine leichte und gute Kontrolle ermöglichte. Eine Durchbiegung der Brücke kommt dagegen nur



insofern in Betracht, als dadurch die Rollen  $A$  und  $B$  einander näher kommen, was gegebenenfalls durch eine Verspreizung zu verhindern wäre. Bei mäßigen Amplituden ist die durch die Zentrifugalkraft bewirkte Spannung der Fäden beim Durchgang durch die Nullstellung neben der Last unerheblich, zumal da die Fäden sehr stark (Uhrfedern, Stahldraht) gewählt werden können, ohne zu der großen Pendelmassse in störendes Mißverhältnis zu kommen.

Bekanntlich hat NEWTON die Gleichheit der Fallbeschleunigung für alle Stoffe dadurch zu beweisen gesucht, daß er dieselbe Hohlkugel eines Pendels mit Bleischrot, Getreidekörnern usw. beschickte und das Pendel schwingen ließ. Da bei demselben äußeren Umriß der Luftwiderstand derselbe war, mußte die Gleichheit der Schwingungen die Gleichheit der Beschleunigung für diese Stoffe beweisen. In Wirklichkeit verschiebt sich aber bei diesen Versuchen jeweils der Schwerpunkt oder der Schwingungsmittelpunkt des Pendels, und eine genaue Übereinstimmung der Schwingungsdauer müßte also ohne Berücksichtigung dieses Umstandes eigentlich eine, wenn auch nur geringe, Verschiedenheit der Schwerebeschleunigung für die einzelnen Stoffe ergeben. Entsprechende Untersuchungen durch Auflegen der Stoffe auf das Parallelogrammpendel sind frei von dieser Schwierigkeit und die Unveränderlichkeit der Schwingungsdauer verleiht der Folgerung NEWTONS zwingende Kraft.

Zur Verminderung des Luftwiderstandes kann dem Pendelkörper geeignete Form gegeben werden. Umgekehrt könnte man zum Studium des Luftwiderstandes große Schirme auf das Pendel aufsetzen und die Dämpfung untersuchen. Nur müßte man dafür sorgen, daß seitlich schräge Flächen durch symmetrische Gegenflächen ausgeglichen werden, damit es nicht zu seitlichen Pendelschwingungen kommt, für welche die Bewegung nicht mehr eine reine Translation ohne Rotation darstellt.

Zur Demonstration der Dämpfung durch innere Reibung kann auf das Brett ein langer Trog mit einer Flüssigkeit aufgesetzt werden; wird er vollständig gefüllt und durch einen Deckel so verschlossen, daß die Flüssigkeit keinen Spielraum mehr hat, so bleibt die Dämpfung aus, ebenso, wenn die Flüssigkeit durch zahlreiche Querwände an der Ausbildung erheblicher Längsschwingungen gehindert wird. Werden aber diese Querwände durchbohrt oder durch Hochziehen etwas geöffnet, so kommt es in den Zellen zu Wirbelbildungen, die zu erheblicher Dämpfung führen können. Besonders deutlich wird die Dämpfung, wenn man die Schwingungsdauer der Flüssigkeit durch geeignete Wahl der Troglänge und Flüssigkeitstiefe mit der Schwingungsdauer des Pendels in Übereinstimmung bringt; diese Dämpfung durch Resonanz wirkt ähnlich überraschend wie das Anhalten einer Kinderschaukel durch den Insassen. — Ist eine homogene Flüssigkeit ohne freie Oberfläche durch einen ohne Spielraum aufsitzenden Deckel abgeschlossen, so erhält sie, auf das Pendel aufgesetzt, keine Wirbelbewegung. Füllt man eine Flasche vollständig mit Wasser und färbt man den unteren Teil mit einem Stoff, der das spezifische Gewicht des Wassers nicht merklich ändert, so bleibt die Grenzfläche beim Schaukeln auf dem Parallelogrammpendel in Ruhe, solange das Wasser keine freie Oberfläche hat; ist dagegen das Gefäß offen oder ist eine größere Luftblase eingeschlossen, so breitet sich die Bewegung der Oberfläche nach der Tiefe aus und führt zur Störung der Grenzfläche.

Es lassen sich noch mancherlei andere Anwendungsmöglichkeiten des Parallelogrammpendels denken. Für den Unterricht fruchtbringend dürfte aber vor allem die Herausarbeitung des Problems und die stufenweise Annäherung an seine Lösung sein.

## Eine einfache Versuchsanordnung zur Erläuterung von Interferenz- und besonders von Schwebungserscheinungen.

Von Dr. Erich Günther in Dresden.

Man wird wohl allgemein die Erfahrung gemacht haben, daß die restlose Klärung der für die Akustik und auch für die drahtlose Telegraphie bedeutungsvollen Schwebungserscheinungen, besonders wenn man von einer strengen mathematischen Behandlung absehen muß, im Unterricht garnicht so einfach ist. Um nun das Wesen dieser Erscheinungen qualitativ und quantitativ zu veranschaulichen, habe ich eine mit den allereinfachsten Mitteln arbeitende Versuchsanordnung ersonnen, mit der ich im Unterricht bei der Behandlung von Interferenzvorgängen überhaupt die besten Erfolge gehabt habe.

Zunächst sei der zu erfassende Tatbestand gekennzeichnet: Zwei schwingende Systeme (Schallquellen) wirken auf einen Massenpunkt (Luftteilchen), der selbst ein mit allen möglichen Schwingungszahlen schwingungsfähiges System darstellt, derart, daß eine Rückwirkung auf die beiden erregenden Systeme nicht stattfindet. Durch Veränderung der Schwingungszahl, der Amplitude und der gegenseitigen Phase der beiden primären Systeme erhält man dann Interferenz- und speziell Schwebungserscheinungen im erregten System. Die bei dem einzelnen Massenpunkt als Funktion der Zeit beobachteten Schwingungsvorgänge können dann in üblicher Weise auf das Kontinuum als Wellenträger übergeführt und als Wellenerscheinung betrachtet werden.

Die zur Veranschaulichung dieses Tatbestandes dienende Versuchsanordnung, die nicht mehr als ein einfaches mechanisches Modell sein will, ist folgendermaßen zusammengesetzt:

Die beiden primären Systeme werden durch zwei etwa 1 m lange, je mit einer Pendelmasse von  $1 \div 2$  kg versehene Fadenpendel *A* und *B* (Fig. 1) gebildet. Beide sind durch einen sehr

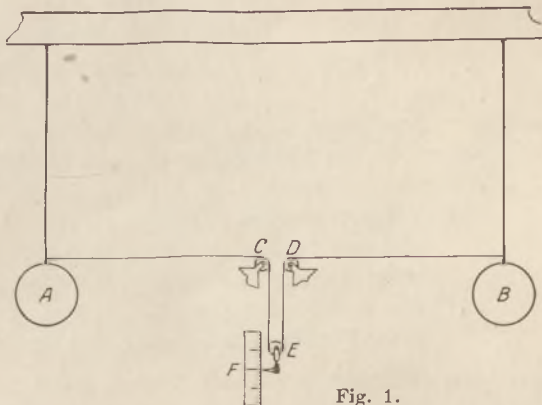


Fig. 1.

dünnen Faden verbunden, der über die beiden festen Rollen *C* und *D* läuft und die bewegliche, mit einem ganz geringen Gewicht belastete Rolle *E* trägt, so daß er dauernd straff gespannt ist. Dieses Gewicht stellt mit der beweglichen Rolle zusammen das erregte System dar und ist mit einem leichten Pappzeiger versehen, der vor der Skala *F* spielen kann, so daß man dort die Amplitude von *E* ablesen kann. Damit keine Koppelungsschwingungen auftreten, muß die Masse von *E* sehr klein sein gegenüber der von *A* und *B*. Auch dürfen die drei Rollen *C*, *D* und *E* nur geringes Trägheitsmoment besitzen und müssen möglichst reibungsfrei in ihren Lagern spielen (kleine Holzrollen von etwa 2 cm Radius in feinen Stahlachsen).

Bleibt eines der beiden Pendel *A* und *B* in Ruhe, während das andere in der Zeichenebene schwingt, so überträgt sich der Vorgang durch Anziehen und Nachlassen des Verbindungsfadens auf *E*, das nun Schwingungen von gleicher Frequenz in senkrechter Richtung ausführt. Daß die Amplitude der Schwingung von *E* nur halb so groß ist wie die des erregenden Systems, ist für die weitere Betrachtung unwesentlich.

Schwingen *A* und *B* gleichzeitig, so gibt *E* die resultierende Schwingung auch unter Beachtung des Vorzeichens wieder. Schwingen nämlich *A* und *B* im entgegen-

gesetzten Sinne mit gleicher Schwingungszahl und Amplitude, so schwingt  $E$  mit einer gegenüber der einfachen Schwingung verdoppelten Amplitude; schwingen dagegen  $A$  und  $B$  im gleichen Sinne, so bleibt  $E$  in Ruhe, da die Verlängerung oder Verkürzung des Fadens jeweilig auf der anderen Seite im gleichen Betrag kompensiert wird.

Um die Unstimmigkeit, daß sich bei gleicher Schwingungsrichtung von  $A$  und  $B$  für  $E$  Ruhe, bei entgegengesetzter Schwingungsrichtung Verdoppelung

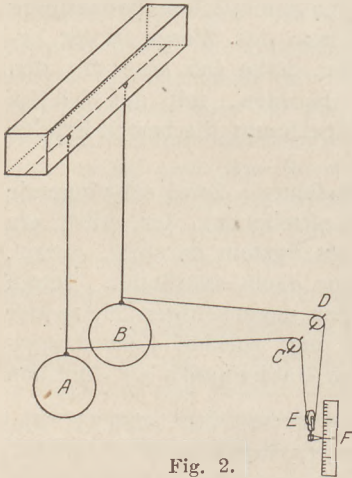


Fig. 2.

der Amplitude von  $E$  ergibt, zu beheben, wird die ganze Anordnung um die Symmetrieachse zusammengeklappt, so zwar, daß  $A$  und  $B$  vom Beschauer aus hintereinander liegen und in parallelen, zur Blickrichtung senkrechten Ebenen schwingen. Die beiden festen Rollen liegen nun ebenfalls hintereinander, und zwar  $C$  in der Schwingungsebene von  $A$ ,  $D$  in der Schwingungsebene von  $B$ . Der Verbindungsfaden läuft nach wie vor von  $A$  über  $C$  nach  $E$  und von da über  $D$  nach  $B$ ; die beiden Fadenstücke  $AC$  und  $BD$  bilden eine Horizontalebene, das Stück  $CE$  eine Vertikalebene, die beide senkrecht zur Bildebene des Beschauers liegen (Fig. 2).

Nach dieser Umformung schwingt  $E$  mit doppelter Amplitude, wenn  $A$  und  $B$  im gleichen Sinne schwingen;  $E$  bleibt in Ruhe, d. h. die erregenden Schwingungen heben sich auf, wenn  $A$  und  $B$  entgegengesetzt schwingen. Bei dieser Anordnung

kann der Beschauer auch Phase und Amplitude der beiden erregenden Systeme gut vergleichen, da die beiden Pendel nun hintereinander liegen.

Wir erhalten somit eine klare Veranschaulichung der beiden Hauptfälle:

- I. Die erregenden Systeme  $A$  und  $B$  schwingen mit gleicher Amplitude und gleicher Phase; der erregte Massenpunkt  $E$  schwingt mit doppelter Amplitude, gleicher Phase und gleicher Schwingungszahl (Fig. 3);
- II. Die erregenden Systeme  $A$  and  $B$  schwingen mit gleicher Amplitude aber einer Phasenverschiebung von  $\pi$ ; der erregte Massenpunkt  $E$  bleibt in Ruhe (Fig. 4).

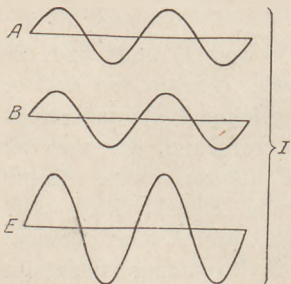


Fig. 3.

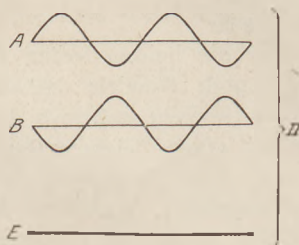


Fig. 4.

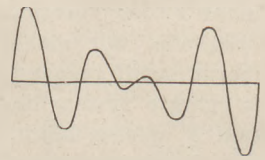


Fig. 5.

Besonders wichtig und nach dem Vorausgegangenen leicht zu verstehen ist nun der folgende Fall, der zum Auftreten von Schwebungen führt:  $A$  und  $B$  haben ein wenig verschiedene Schwingungszahl, aber gleiche Amplitude. Dann macht etwa  $A$  während einer gewissen Zeit  $m$  Schwingungen, während  $B$  in der gleichen Zeit  $m + 1$  Schwingungen ausführt. In dieser Zeit muß einmal der Fall I, also Verstärkung der Amplitude von  $E$  (wenn die Pendel im gleichen Sinne schwingen) und einmal der Fall II, nämlich Ruhe von  $E$  (wenn die Pendel im entgegengesetzten Sinne

schwingen) eintreten; schließlich wird der Anfangszustand wieder erreicht und das Spiel beginnt von neuem. Sind demnach die Schwingungszahlen von  $A$  und  $B$   $n_1$  bzw.  $n_2$  ( $n_1 > n_2$ ), so zeigt  $E$  in der Zeit, auf die die Schwingungszahl bezogen ist,  $N = n_1 - n_2$  Maxima und Minima, führt also  $N$  Schwebungen aus. Dieser Fall ist nun mit der Versuchsanordnung leicht herzustellen. Man verstimmt die beiden Pendel  $A$  und  $B$  gegeneinander, indem man ihnen einen merklichen Längenunterschied ( $5 \div 10$  cm) erteilt. Dann versetzt man die beiden Pendel im gleichen Sinne mit gleicher Amplitude in Schwingungen:  $E$  zeigt beim Beginn ein Schwingungsmaximum. Das eine Pendel eilt dann aber dem anderen allmählich voraus: Die Amplitude von  $E$  nimmt ab. Nach einiger Zeit schwingen die beiden Pendel genau entgegengesetzt:  $E$  bleibt in Ruhe. Bei weiterem Vorauseilen nimmt die Amplitude von  $E$  wieder zu, bis schließlich die beiden Pendel wieder im gleichen Sinne schwingen und  $E$  wie zu Anfang ein Schwingungsmaximum zeigt. Dann hat das eine Pendel gerade eine Schwingung mehr ausgeführt als das andere und  $E$  hat eben eine Schwebung vollendet. Im ganzen zeigt  $E$  die bekannte Schwebungskurve (Fig. 5):

Zur Anordnung selbst nun noch einige technische Einzelheiten:  $A$  und  $B$  müssen, um Torsion zu vermeiden und ebene Schwingungen zu erzeugen, bifilar aufgehängt sein. Die gegenseitige Verstimmung wird dadurch leicht ermöglicht, daß  $A$  und  $B$  an gemeinsamen Fäden aufgehängt sind, so daß das eine länger wird, wenn man das andere verkürzt. Der Faden läuft also (Fig. 6; die Schwingungsebene steht hier senkrecht auf der Zeichenebene) von  $A$  durch Öse  $H$  und  $K$  nach  $B$  und von dort durch Öse  $L$  und  $D$  nach  $A$  zurück. Der dünne Verbindungsfaden ist mit seinen Enden an zwei Pappstücken  $G_1$  und  $G_2$  befestigt, die mit seitlichen Schlitz in die Pendelfäden geklemmt sind, so daß man ihn nach der Verstimmung leicht wieder in die richtige Horizontalebene bringen kann.

Natürlich lassen sich auch weitere Interferenzfälle komplizierter Art mit der Anordnung übersehen; man kann ja Amplitude, Frequenz und Phase der beiden Pendel beliebig verändern.

Bemerkt sei nochmals, daß es sich nicht um die übliche Versuchsanordnung zur Demonstration von Koppelungsschwingungen handelt; man kann den Übergang dazu herstellen, indem man  $E$  ein merkliches Gewicht erteilt. Doch kommt dann hauptsächlich der Vergleich der gegenseitigen Schwingungsverhältnisse von  $A$  und  $B$  in Frage, während die Betrachtung der Bewegung von  $E$  kaum bedeutungsvoll ist.

Ich habe gefunden, daß die anspruchslose Anordnung das Verständnis für die fraglichen und doch sicher nicht einfachen Erscheinungen in geradezu überraschender Weise auslöst.

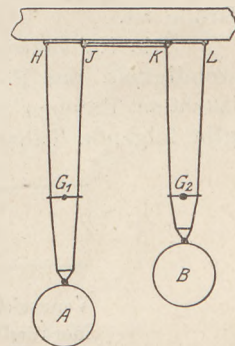


Fig. 6.

## Das Schulfernrohr für Himmelsbeobachtung.

Von Dr. Wilhelm Volkmann in Berlin-Steglitz.

Mitteilung der staatlichen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht.

Zu den häufig wiederkehrenden Anfragen an die Hauptstelle gehört die über Größe und Ausrüstung des Schulfernrohres für Himmelsbeobachtungen. In der Tat ist es nicht leicht, aus den Angaben in Büchern und Aufsätzen oder durch Befragen von Fernrohrbesitzern guten Rat zu erlangen. Vielmehr findet man auf diesem Wege, daß die Ansichten und Ansprüche sehr weit auseinandergehen. Etwas weiter kommt man schon, wenn man darauf achtet, was jeder an seinem Instrument auszusetzen

hat. Dadurch erfährt man wenigstens, welche Ausrüstung für bestimmte Zwecke nicht geeignet ist. Geht man aber dieselben Berater einfach um eine Liste der für die Schule notwendigen Beobachtungen an, so herrscht die schönste Übereinstimmung. Daraus ergibt sich, daß sehr häufig an sich gute Fernrohre nicht mit der richtigen Auswahl von Okularen ausgerüstet sind, und deshalb nach einer oder der anderen Seite hin der Schule nicht genügen.

In der Regel denkt man beim Anschaffen des Fernrohres nur an die Gestirnsbeobachtungen. Das Schulfernrohr soll aber noch allerlei anderen Zwecken dienen und ihnen angepaßt werden, soweit das mit seinem Hauptzweck verträglich ist. Dieser ist zunächst nicht, möglichst viel beobachten zu können, sondern das Schulnotwendige am Himmel möglichst leicht und schnell den Schülern zu zeigen. Die Aufstellung des Rohres muß der schnelleren Beobachtung wegen parallaktisch sein. Einstellbarkeit auf veränderliche Polhöhe wäre hierfür ja nicht gerade nötig, macht aber das Rohr zu einem sehr brauchbaren Veranschaulichungsmittel für eine Reihe von Überlegungen, die in der mathematischen Astronomie, sphärischen Trigonometrie, Koordinatentransformation und Raummessung wichtig sind. Ist es möglich, die Hauptachse (Stundenachse) wagerecht zu stellen und sind beide Achsen mit Aufsuchungskreisen ausgerüstet, so ersetzt das Rohr bis zu einem gewissen Grade den Theodoliten, wenn auch nicht für die Ausführung, so doch für die Veranschaulichung von Vermessungen. Auch zu physikalischen Versuchen ist das Rohr geeignet, wenn es von mäßiger Größe ist.

Die Nebenzwecke weisen sämtlich auf ein kleines Rohr hin. Ebenso die Notwendigkeit, das Rohr in der Sammlung aufzubewahren und abends über mäßig beleuchtete Treppen zum Beobachtungsort zu tragen. Die unteren Grenzen der Größe gibt folgende Tabelle:

Beobachtung	Objektiv- durchmesser	Vergrößerung
Venussichel (bis 64'') . . . . .	20 mm	10 fach
Merkursichel (bis 12'') . . . . .	40 "	50 "
Jupiter, Monde . . . . .	20 "	10 "
Jupiter, Streifen und Abplattung .	20 "	40 "
Saturnring . . . . .	20 "	30 "
Mondrille, Hyginus . . . . .	40 "	40 "
Doppelstern Mizar 14'' . . . . .	10 "	25 "
Doppelstern $\gamma$ Leonis 4'' . . . . .	40 "	80 "

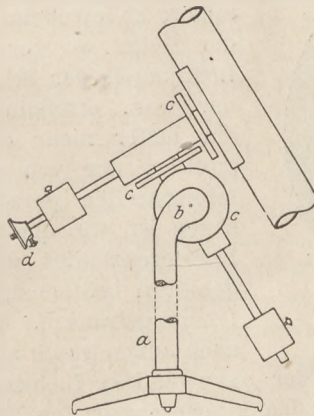
Großes Gesichtsfeld fordern die Plejaden ( $2^{\circ}$ ), der Andromedanebel ( $2^{\circ}$ ) und die beiden Orionnebel, die bei  $2^{\circ}$  Gesichtsfeld noch gleichzeitig beobachtet werden können. Zum Suchen genügt ein Gesichtsfeld von etwa  $2^{\circ}$  durchaus.

Aus alledem ergibt sich, daß ein guter Zweizöller den Bedürfnissen der Schule am besten entspricht. Er übertrifft die untere Grenze der Leistungsfähigkeit genügend, um ein leichtes Beobachten zu sichern; er ist handlich und sein Preis ist erschwinglich. Ein größeres Rohr kann nicht in demselben Maße die Wünsche der Schule in sich vereinigen. Wo Bedarf für ein solches vorhanden ist, wird es das Schulfernrohr ergänzen, aber nicht in jeder Hinsicht ersetzen können. Dieses bleibt vielmehr für den Unterricht notwendig, das größere dagegen ist ganz nach astronomischen Gesichtspunkten einzurichten. Unter Umständen wird die Wahl auf ein Spiegelfernrohr fallen, das der Farbenreinheit wegen gewisse Vorzüge besitzt.

Für das Schulfernrohr schlägt die Hauptstelle die am Schluß angegebene Ausrüstung vor. Ein Tischstativ ist meist vorteilhafter als ein Pyramidenstativ. Vor allem kann man sich der verschiedenen Körpergröße der Beobachter besser anpassen.

Ein leichtes Tischchen, auf dessen einer Ecke das Rohr steht, genügt durchaus. Der Sitz besteht aus einem geschlossenen Kistchen, dessen drei Seitenlängen verschieden sind, so daß drei Sitzhöhen zur Verfügung stehen.

Parallaktische Aufstellung ist durchaus nötig, Aufsuchungskreise sind äußerst wertvoll. Bei 50 mm freier Öffnung ist 60 cm Brennweite noch eine günstige Länge, während man größeren Rohren verhältnismäßig längere Brennweite geben muß. Ein Konkavokular von 50 mm Brennweite gibt ein prachtvoll lichtstarkes reflexfreies Galileifernrohr, in dem die Jupitermonde, die schmale Venussichel und größere Nebel gut zu beobachten sind. Ein Mikroskopokular 1 (Huygens, 50 mm Brennweite) ist als Such- und Übersichtskular völlig ausreichend, die Plejaden können darin mit einem Blick übersehen werden. Das Hauptokular mit rund 45facher Vergrößerung dient für Mondbeobachtungen und Doppelsterne über 10" Abstand und für den Saturnring. Das starke Okular hat nur bei sehr guter Luft Nutzen. Bei gutem Objektiv muß es das Trapez im Orionnebel zeigen, dagegen bleiben die Polkappen des Mars wohl jenseits des Erreichbaren. Die Sonnenprojektion wird sehr bequem mit dem Konkavokular ausgeführt und zeigt größere Sonnenflecke ohne weiteres. Sterne erster Größe sind bei Tage sichtbar, und, wenn man das Rohr am Fenster abends richtig stellt, mit den Kreisen leicht auffindbar. Ein starkes Okular ist hierbei nützlich.



Schulfernrohr für Himmelsbeobachtungen.  
(Abbildung nur schematisch).

Stativ. Fester Dreifuß, parallaktisch, auf Tisch verwendbar (a), Polhöhe einstellbar (b) von wagerechter bis zu senkrechter Stellung der Polachse (Stundenachse), Aufsuchungskreise (c) für Stunden, Abweichung und Polhöhe, unmittelbar oder durch Nonius 1° und 5 Zeitminuten ablesbar.

Erwünscht sind Diopter als Sucher, Träger (d) für photographische Handkamera und Abnehmbarkeit des Stativoberteils zur Verwendung auf Pyramidenstativ.

Objektiv zweilinsig, 50 mm freie Öffnung, 600 mm Brennweite.

Okulare: 1. Konkaves, 50 mm Brennweite, statt der Steckhülse einzuschrauben.

2. Suchokular, 50 mm Brennweite, 2° Gesichtsfeld (Mikroskopokular 1 Huygens genügt).

3. Hauptokular, 13 mm Brennweite (Kellner oder gleichwertig).

Ergänzungen, die auch bei nachträglicher Anschaffung passen müssen.

Starkes Okular, 6 mm Brennweite, großer Augenabstand.

Terrestrisches Okular, 25 oder 30 mm Brennweite.

Gutes Mikrometerokular, 25 mm, Ring- oder Kreuzmikrometer,

Okularprisma (Zenitprisma) zum Hauptokular.

Sternspektroskop für das Hauptokular.

Blendgläser für Mond und Planeten.

Projektionsschirm für Sonnenbeobachtung.

} Zur Steckhülse von  
2 und 3 passend.

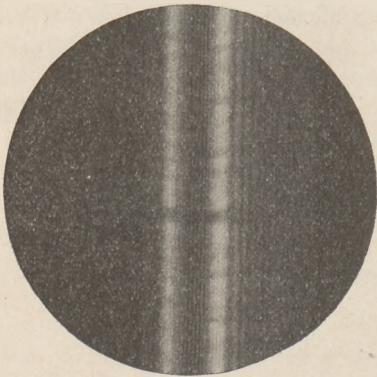
NB. Abweichungen der Brennweiten um 10% sind belanglos.

## Über Frau Villards Beugungsgrundversuch.

Von Karl Noack, Auerbach i. H.

In den wertvollen Anweisungen, die Herr ROSENBERG im 31. Bande in dieser Zeitschrift (S. 72) zur Ausführung des genannten, im ABRAHAM'S *Recueil d'experience élémentaires de physique II*, 45 mitgeteilten Versuches gegeben hat, findet sich bei Gelegenheit der Vorführung der Beugung am geraden Schirmrand die folgende Bemerkung: „Man wird vielleicht im ersten Augenblick neben diesem leuchtenden Schirmrande Interferenzstreifen erwarten. Abgesehen davon, daß sie bei dieser Stellung des beugenden Schirmrandes nicht erhalten werden könnten, können sie bei unserer Versuchsanordnung überhaupt nicht entstehen. Denn sie sind das Ergebnis der Interferenz des gebeugten mit dem direkt zum Schirm gehenden Lichte; dieses letztere wird aber bei unserem Versuche durch die Ablendung aufgehalten“.

Diese Annahme ist irrig; es tritt merkwürdigerweise doch eine Interferenzerscheinung auf, es ist nur meist nicht möglich, sie mit unbewaffnetem Auge zu erkennen, und sie scheint daher bis jetzt der Beobachtung entgangen zu sein. Ersetzt man aber den Projektionsschirm durch eine Lupe mit Mikrometer, so erscheint folgendes typische Bild: an der Stelle, wo vor der Ablendung des direkten Lichtkegels der Schattenrand des Schirmes sichtbar war, erscheint nach erfolgter Ablendung ein heller mehr oder weniger gefärbter Lichtstreifen, der von scharfen, äquidistanten Interferenzstreifen parallel dem Schattenrand durchzogen ist, wie die Figur zeigt<sup>1)</sup>. Die Mitte dieses Interferenzbildes wird von einer dunklen Linie gebildet; beiderseits des Lichtstreifens zeigen sich Beugungsfransen, die an Breite und Helligkeit nach außen rasch abnehmen. Sie können je nach



der Versuchsanordnung und der angewandten Lichtstärke gelegentlich auch ganz fehlen oder sich teilweise mit den Interferenzstreifen decken.

Es ist nicht schwer, diese eigentümliche Interferenzerscheinung herzustellen und zu beobachten, nur muß auf sorgfältige Zentrierung der einzelnen Teile der Versuchsanordnung peinlich geachtet werden; es empfiehlt sich daher die Anwendung einer optischen Bank. Es wird für eine eventuelle Wiederholung des Versuchs nützlich sein, eine bewährte Versuchsanordnung zu beschreiben. Als Lichtquelle diente eine kleine Leitzsche Liliput-Bogenlampe für 4 Amp. mit ganz eingeschobener Beleuchtungslinse. Vor letzterer auf dem Nullpunkt der optischen Bank stand ein schwarzer Karton mit einem senkrechten Spalt von 5 mm Breite und 30 mm Länge, auf Teilstrich 28 cm die Linse, das achromatische Objektiv eines älteren Feldstechers von 50 mm Durchmesser und 16 cm Brennweite. Am Ende der 150 cm langen Bank war die Ableselupe aufgestellt, die Grimsehl'sche Kombination eines Brillenglases von +20 D mit einer in  $\frac{1}{10}$  n. Gr. photographierten Millimeterteilung (Ausgewählte Schülerübungen, Leipzig 1906, S. 9) oder für stärkere Vergrößerung eine Lupe mit Mikrometer. Die Schirmkante, die Schneide einer Mondextra-Klinge, stand ungefähr auf Teilstrich 10 cm und als Abblendeschirm diente ein Streifen von schwarzem Kartonpapier von 7—8 mm Breite auf Teilstrich 65 cm. Über das Verfahren der Einstellung gibt ROSENBERG a. a. O. genaue Anweisung.

<sup>1)</sup> Bei der photographischen Aufnahme wurde das Bild des leuchtenden Schirmrandes unmittelbar auf der Trockenplatte aufgefangen; ihre Entfernung von der Linse ( $f = 9,4$  cm) betrug dabei 795 cm; Vergrößerung 76 fach.



Man könnte zunächst vermuten, daß die beobachtete Interferenz- und Beugungserscheinung ihre Entstehung dem streifenförmigen Schirmchen zu verdanken habe, dessen Beugungsbild denselben Charakter hat, zumal wenn man nach ROSENBERG ein verkleinertes Spaltbild abblendet, also ein sehr schmales Schirmchen benutzt. Daß dem nicht so ist, lehrt folgender Gegenversuch: man ersetzt den Spalt vor der Bogenlampe durch ein kreisförmiges Loch von 4 mm Durchmesser und benutzt als Schirmchen auf 65 cm ein auf eine Glasscheibe aufgeklebtes Kreisscheibchen von schwarzem Papier mit einem Durchmesser von 6—7 mm. Die Erscheinung ist genau die gleiche wie beim ersten Versuch. Auch würde mit dieser Vermutung die dunkle Mittelfranse nicht im Einklang stehen; aber gerade diese führt auf die richtige Erklärung.

Wenn wir der Kürze und Anschaulichkeit halber uns der Maey'schen Ausdrucksweise (*d. Zeitschr.* 17, 10) bedienen, so ist zunächst festzustellen, daß von der leuchtenden Schirmkante zwei Wellensysteme ausgehen, das nach innen bzw. außen gebeugte Licht. Wenn diese beiden divergenten schmalen Lichtbüschel, nachdem sie durch die Linse konvergent gemacht sind, im Bild der leuchtenden Schirmkante Anlaß zu einem System von Interferenzstreifen geben, wie es die Abbildung zeigt, so macht dies den Eindruck, als ob die Lichtlinie an der Schirmkante eigentlich eine Doppellinie wäre, deren Teile allerdings sehr nahe beieinander liegen oder sich berühren. Die von den beiden Lichtlinien ausgehenden Strahlen wären ihrer Entstehung nach kohärent und könnten also am Ort der Durchkreuzung gemäß ihren optischen Weglängen interferieren. Dabei muß bei gleichen Weglängen die Amplitude Null werden, also in der Bildmitte Dunkelheit herrschen, weil zwischen dem nach innen und außen gebeugten Licht ein Phasenunterschied vom Betrag  $\pi$  besteht.

Ist diese Erklärung richtig, so muß die Interferenzerscheinung verschwinden, wenn man eins der beiden Strahlenbüschel, deren jedes je eine Hälfte der Linse durchdringt, von der Teilnahme an der Bilderzeugung ausschließt. In der Tat verschwinden die Fransen, sobald man die eine Hälfte der Linse, sei es die linke oder rechte, so abblendet, daß die gerade Kante des Schirmes dem senkrechten Durchmesser der Linse parallel liegt. Noch lehrreicher ist vielleicht der folgende leicht anzustellende Versuch, der bei anderen Interferenzerscheinungen bekanntlich Schwierigkeiten macht. Man tauche eine dünne möglichst homogene Glasplatte (eine gute von der Schicht befreite Diapositivplatte 9:12 genügt häufig) häufig in eine 1%ige filtrierte warme Gelatinelösung und lasse sie in senkrechter Lage, wie man sie herausgehoben hat, an einem staubfreien Ort trocknen. Stellt man diese Platte so vor die Linse, daß der Rand der sehr dünnen Gelatinehaut sich mit deren senkrechtem Durchmesser deckt, so tritt eine deutliche Fransenschiebung ein, die beim Umliegen der Platte unter Vertauschung der linken und rechten Seite in ihr Gegenteil umschlägt. Bei Anwendung einer in der angegebenen Weise präparierten Platte betrug die gesamte Verschiebung beispielsweise 7 Streifenbreiten; sie ist natürlich abhängig von der Dicke der Gelatinehaut, die dem hindurchgehenden Wellensystem eine Verzögerung gegenüber dem freien erteilt.

Die Bedeutung des VILLARD'schen Versuches als grundlegenden Schauversuches bei der Behandlung der Lichtbeugung wird natürlich durch diese Darlegungen nicht berührt. Auch braucht hier nicht erörtert zu werden, ob diese Verhältnisse im Schulunterricht behandelt werden können. Eine objektive Vorführung ist ja möglich, erfordert aber, wie aus den obigen Angaben über die Figur ersichtlich ist, neben einer intensiven Lichtquelle eine beträchtliche Projektionsweite. Von dieser Frage abgesehen hat aber die Klärung der hier obwaltenden eigentümlichen Verhältnisse, wie mir scheint, ein großes selbständiges Interesse.

## Einige Demonstrationsversuche mit der Lessing-Gehrckeschen Glimmlichtröhre sowie mit einer kleinen Entladungsröhre.

(Mitteilung aus dem physikalischen Institut Erlangen.)

Von Prof. Dr. F. Hauser.

I. Die Lessing-Gehrckesche Glimmlichtröhre (Fig. 1) ist bekanntlich ein zylindrisches Vakuumrohr mit zwei stabförmigen, einander axial gegenüberstehenden Elektroden. Sie ist so weit (auf etwa 2 mm Hg) ausgepumpt, daß auf der Kathode das bläuliche negative Glimmlicht auftritt. Dieses bedeckt das der Anode gegenüberstehende Ende der Kathode und hüllt diese von hier aus in einer etwa 2 mm dicken Schicht auf um so größere Länge ein, je stärker der in dem betreffenden Augen-



Fig. 1.

blick die Röhre durchfließende Strom ist. Ihre Hauptverwendung findet diese Röhre in der Röntgentechnik, um festzustellen, ob Schließungsstrom vorhanden ist, der die Röntgenröhre in verkehrter Richtung durchsetzen und schädigen würde. Ferner leistet sie wertvolle Dienste bei der Untersuchung des zeitlichen Verlaufs schnell veränderlicher Ströme. Hier soll an einigen, wohl noch nicht allgemein bekannten Beispielen gezeigt werden, daß sie auch ein wertvolles Hilfsmittel für den physikalischen Unterricht ist.

1. Bei den gewöhnlich zur Vorführung der Gasentladungen verwendeten kleinen Induktorien von etwa 8 Volt Primärspannung lassen bereits Geißlersche Röhren, wie sie etwa zum Studium der Gasspektren verwendet werden, nurmehr den Öffnungsstrom durch. Diese „Ventilwirkung“ läßt sich sofort zeigen, wenn man eine Glimmlichtröhre in Reihe mit der Geißlerschen Röhre schaltet.

2. Der Öffnungsstrom in einem von einem Induktorium gespeisten Stromkreis erreicht stets höhere Scheitelwerte als der Schließungsstrom. Schließt man eine Glimmlichtröhre an das Induktorium an, so sind dementsprechend die beiden Elektroden verschieden stark bedeckt. Daß tatsächlich der stärkere Sekundärstrom der Öffnung des Primärkreises und der schwächere seiner Schließung zukommt, wird aber für gewöhnlich nicht durch den Versuch vorgeführt. Es ist dies jedoch ohne weiteres möglich, wenn man den Hammerunterbrecher des Induktoriums mit der Hand in entsprechend weiten zeitlichen Abständen schließt und öffnet. Beim Schließen erhält man dann auf der einen Elektrode eine kürzere Bedeckung, beim Öffnen auf der anderen eine längere.

3. Im Anschluß an diesen Versuch kann man in einfacher Weise die Veränderung der Bedeckung mit der Stromstärke vorführen, wenn man in den Primärkreis des Induktoriums einen Regulierwiderstand (Schieberheostat) einschaltet, den man langsam einmal vergrößert, dann wieder verkleinert.

4. Daß eine Funkenentladung leichter von der positiven Spitze zur negativen Platte übergeht („Ventilwirkung einer Funkenstrecke“), zeigt man gewöhnlich mittels zweier gleichlanger, aus Platte und Spitze bestehender Funkenstrecken, die in entgegengesetzter Richtung übereinander angeordnet sind. Die Funkenstrecken sind parallel geschaltet und wenn man die Stromquelle (Influenzmaschine oder Induktorium) anschließt, so ist bei der einen die Spitze positiv, wenn es bei der anderen die Platte ist. Die Länge der Funkenstrecken wird dann so eingestellt, daß nur in der einen eine Funkenentladung übergeht. Kehrt man mittels eines Umschalters die Stromrichtung um, so geht die Entladung durch die andere Funkenstrecke.

Bei Vorführung des Versuches begnügt man sich für gewöhnlich damit, zu zeigen, daß die Entladung beim Umkehren der Stromrichtung die Funkenstrecke wechselt, sowie darauf hinzuweisen, daß die Funkenstrecke beim Betrieb mit dem Induktorium dann nur den Öffnungsstrom durchläßt, also wie ein Ventil wirkt. Den Beweis dafür, daß bei der jeweils tätigen Funkenstrecke die Spitze Anode ist, bleibt man für gewöhnlich schuldig. Dieser ist jedoch sofort für alle Zuhörer sichtbar zu erbringen, wenn man mit der Funkenstrecke eine Glimmlichtöhre in Reihe schaltet, da sie die Stromrichtung anzeigt.

II. Im Anschluß hieran seien einige Demonstrationsversuche mit einer kleinen Entladungsröhre (Fig. 2) beschrieben. Entladungsröhren dieser Art werden von der Firma R. Goetze in Leipzig hergestellt. Als Elektroden dienen dünne Platindrähte, die im Innern der Röhren vollständig in Aluminium eingeschmolzen sind. Die Gasfüllung bestand bei den älteren Röhren aus Helium, neuerdings besteht sie aus einem Gasgemisch, das vorwiegend aus Neon und Helium zusammengesetzt ist und die Röhren als Indikatoren für elektrische Wellen besonders empfindlich macht.

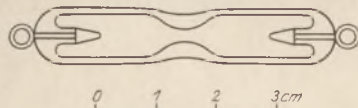


Fig. 2.

1. Zur Vorführung der Resonanz zweier elektrischer Schwingungskreise dient bekanntlich der Versuch nach LODGE (vgl. u. a. MÜLLER-POUILLET'S *Lehrbuch der Physik und Meteorologie*, 10. Aufl., 1914, IV, S. 900).

Einer mit rechteckigem Drahtbügel versehenen Leidener Flasche ist eine zweite ebensolche mit entsprechendem, aber veränderlichem Drahtbügel gegenübergestellt. Eine im ersten Kreis stattfindende Entladung ruft im zweiten Kreise im Falle der Resonanz Schwingungen hervor, die sich an einer in Nebenschluß gelegten Funkenstrecke durch Fünkchen bemerkbar machen. Ersetzt man die Funkenstrecke durch eine passend an die Belegungen angeschlossene kleine Entladungsröhre nach Fig. 2 oder schaltet man eine solche in einfacher Weise der Funkenstrecke parallel, so leuchtet sie hell auf<sup>1)</sup>.

2. Durch Anschließen einer derartigen Röhre an die Sekundärwicklung eines Schlitteninduktionsapparates, wie ihn die Mediziner verwenden, läßt sich in anschaulicher Weise auch einem großen Hörerkreis die Zunahme der induzierenden Wirkung bei dem Ineinanderschieben der Spulen sowie bei dem Einschieben eines unterteilten (aus einem Drahtbündel bestehenden) Eisenkernes in die Primärspule vorführen. Beim Einschieben eines massiven Eisenkernes tritt in unserem Falle demgegenüber infolge der Wirbelstromwirkung keine merkbare Verstärkung, unter Umständen sogar eine Schwächung ein. Sehr deutlich ist eine solche bei dem Einschieben eines massiven Messingkernes wahrzunehmen. Mit einer gewöhnlichen Geißlerschen Röhre ist dieser Versuch im allgemeinen nicht durchführbar, da hier das Entladungspotential zu hoch ist.

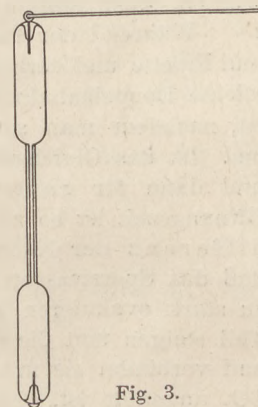


Fig. 3.

3. Um die Entladung der auf dem Deckel eines Elektrophors sitzenden Elektrizität einem größeren Kreis sichtbar zu machen, läßt man sie durch eine der beschriebenen kleinen Entladungsröhren erfolgen.

III. Um die Rückstandsladung einer auseinandernehmbaren Leidener Flasche sichtbar zu machen, verwendet man ein gewöhnliches Geißlersches Spektral-

<sup>1)</sup> Man vergleiche zur Anordnung des Versuchs P. Spies, ds. Zeitschr. 14, 292 (1901). Den Ersatz der Parallelfunkenstrecke durch eine Vakuumröhre hat schon K. Noack, ds. Zeitschr. 15, 95 (1902) angegeben.

rohr, an dessen einer Elektrodenzuleitung senkrecht zur Rohrachse ein blankes Drahtstück von etwa 1 mm Durchmesser und entsprechender Länge befestigt ist (vgl. Fig. 3). Man stellt die Leidener Flasche, nachdem man sie geladen, auseinandergenommen und wieder zusammengesetzt hat, auf einen Blechstreifen, der auf einer Seite über ihren Boden ein Stück hervorsteht. Statt die Flasche mittels des Bügels zu entladen, setzt man das Spektralrohr mit seinem freien Ende auf das freie Ende dieses Blechstückes. Dann dreht man es so, daß das an seinem anderen Ende befestigte Drahtstück die Zuführung zum Innenbelag der Leidener Flasche berührt. Die Rückstandsladung bringt durch ihren Ausgleich das Rohr zum Aufleuchten.

## Die Bestimmung der Gleichgewichtskonstanten der Wassergasgleichung im Unterricht.

Von P. Rischbieth in Hamburg.

Im letzten Hefte dieser Zeitschrift, S. 210 ff., habe ich mitgeteilt, wie man mit Hilfe der Glühdrahtpipette in wenigen Minuten einerseits aus Wasserstoff und Kohlendioxyd, andererseits aus Kohlenoxyd und Wasser das Gleichgewicht dieser vier Gase herstellen kann. Es würde von Bedeutung sein, wenn es gelänge, in ähnlich kurzer Zeit die Gleichgewichtskonstante dieses Vorganges

$$K = \frac{[\text{CO}][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CO}_2][\text{H}_2]}$$

zu ermitteln. Wenn es auch leicht ist, die Mengen der drei bei gewöhnlicher Temperatur gasförmigen Stoffe zu bestimmen, so erschien von vornherein die Ermittlung des Wasserdampfdruckes schwierig zu sein. Diese Schwierigkeit läßt sich aber überwinden, wenn man wie folgt verfährt:

Während der Draht lebhaft glüht, löst man die Schlauchverbindung der Bürette und Pipette und verbindet mit der Pipette durch ein kurzes Schlauchstück eine kleine leichte Doppelhahnkugel, wie sie zur Ermittlung der Gasdichte überall im Gebrauch ist, nachdem man sie an der Wasserstrahlpumpe zu etwa einem Viertel evakuiert hat. Ist das Gleichgewicht der Gase erreicht, so öffnet man zuerst den Pipettenhahn und dann für ganz kurze Zeit den der Pipette zugewandten Kugelhahn. Die Öffnungszeit ist so zu wählen, daß unmittelbar nach Ausgleich der Druckdifferenz der Hahn wieder geschlossen wird. Es ist das leicht daran zu sehen, daß das Sperrwasser in der Pipette nicht mehr steigt. Würde man die Hahnkugel zu stark evakuieren, so könnte in der Pipette das Wasser bis an den oberen heißen Teil steigen und die Pipette gefährden. Man löst nun die Hahnkugel von der Pipette und verbindet sie mit dem Ansatzrohr einer Gasbürette, die teilweise mit Luft oder  $\text{CO}_2$  angefüllt ist. Nachdem man den Wasserstand in der Bürette abgelesen und einige Minuten bis zum Ausgleich der Temperatur gewartet hat, öffnet man Büretten- und Kugelhahn, wodurch einige Kubikzentimeter Luft oder  $\text{CO}_2$  in die Kugel einströmen. Dies ist das Volumen des Wasserdampfes in derjenigen Menge des Gasgemisches, die von der Kugel aufgenommen ist. Es tritt nämlich an der Wandung der Kugel keinerlei Beschlag von kondensiertem Wasser auf, woraus schon zu schließen ist, daß der Wasserdampfgehalt des Gasgemisches gering ist. Nun ist nacheinander eine  $\text{CO}_2$ -, O-,  $\text{CO}$ - und H-Bestimmung auszuführen.

Zu dem Zweck führt man das Gasgemisch ganz oder zur Hälfte in eine Gasbürette über, liest das Niveau ab und bestimmt mit einer Kalipipette oder nach Bunte in der Bürette selbst das Kohlendioxyd, was nur 1—2 Minuten in Anspruch nimmt. Nunmehr ist durch Ermittlung des Sauerstoffgehalts die Menge der in der Kugel zurückgebliebenen Luft festzustellen, was durch eine Phosphorpipette oder innerhalb der Bürette selbst durch Pyrogallol geschehen kann. Es folgt die Absorption des

Kohlenoxyds durch Kupferchlorür. Um schließlich den Wasserstoff zu bestimmen, führt man den ganzen Gasrest in die Glühdrahtpipette über, bringt den Draht zur hellen Rotglut und läßt aus der Gasbürette eine zur vollständigen Verbrennung des Wasserstoffs mehr als ausreichende Menge Luft eintreten. Sodann saugt man mit dem Niveaugefäß alles Gas in die Bürette zurück, ermittelt die Kontraktion und aus dieser durch Multiplizieren mit  $\frac{2}{3}$  den Wasserstoffgehalt. Die ganze Analyse erfordert für denjenigen, der im Umgehen mit der Gasbürette einigermaßen bewandert ist, etwa 25 Minuten. Im folgenden die Daten eines Versuchs:

	Bürettenstand	Volum	
1. In die Hahnkugel eingeströmtes CO <sub>2</sub> . . .		2,6	
2. Wasserdampf . . . . .			2,6 H <sub>2</sub> O
3. Der halbe Gasrest in Bürette überführt .	17,3	82,7	
4. Nach Absorption des CO <sub>2</sub> . . . . .	22,0		
5. Kohlendioxyd . . . . .		4,8	
6. Auf das Ganze berechnet und nach Abzug obiger 2,6 . . . . .			7 CO <sub>2</sub>
7. Nach Absorption des O in der Pipette .	36,1		
8. O-Gehalt (14,1 · 2) . . . . .		28,2	
9. Entsprechende Luft 28,2 : 0,208 . . . . .			135,6 Luft
10. Nach Absorption des CO . . . . .	44,8		
11. Kohlenoxyd . . . . .		8,7 · 2	17,4 CO
12. Nach Verbrennung des H: Kontraktion .		2,2	
13. Wasserstoff (2,2 · 2 · $\frac{2}{3}$ ) . . . . .			2,9 H
			165,5
Inhalt der Kugel . . . . .			165,4

Diese außerordentliche Übereinstimmung ist natürlich unter diesen Umständen eine mehr oder minder zufällige; es zeigt sich aber hier wie in manchen anderen Versuchen, daß die durch Einströmen von Luft oder CO<sub>2</sub> in die Hahnkugel ermittelte Wasserdampfzahl mit der aus der Differenz des Kugelinhaltes und der Volumina der anderen Gase erhaltenen Zahl nahe übereinstimmt. Es handelt sich also beim Wasserdampf nicht um einen aus der Differenz erhaltenen, sondern um einen direkt ermittelten Wert.

Für die Gleichgewichtskonstante ergibt sich nunmehr, da bei Gasen für die Konzentrationen ohne weiteres die Volumina gesetzt werden können,

$$K = \frac{17,4 \cdot 2,6}{2,9 \cdot 7} = 2,2.$$

In ausgezeichneten Versuchen hat O. Hahn (*Zeitschr. f. phys. Chem.* 44, 513) die Konstante für verschiedene Temperaturen ermittelt. Er fand bei

t	886°	1005°	1205°	1405°
K	1,19	1,68	2,16	2,46.

Hiernach entspricht der Wert 2,16 einer Temperatur von 1205°.

Leider ist es recht schwierig, die Temperatur eines glühenden Platindrahtes zu bestimmen. Mit Hilfe eines von der phys. Reichsanstalt geprüften Pyrometers von Wanner, dessen Benutzung ich dem freundlichen Entgegenkommen des Herrn Prof. Koch, Direktors des phys. Instituts der Universität, verdanke, fand ich bei einem Versuche, der K zu 2,56 ergab die Temperatur von 1365°. Dieser Wert befindet sich in befriedigender Übereinstimmung mit dem obigen Wert 2,46 bei 1405°, besonders wenn man bedenkt, daß die Beobachtung bei Einstellung des Pyrometers auf einen Draht etwas schwieriger und unsicherer ist, als bei Einstellung auf eine glühende Fläche.

Die bei diesen Versuchen auf den ersten Blick befremdliche Tatsache, daß das Volumen des Kohlenoxyds so sehr von dem des Wasserdampfes abweicht, wo man doch nach der Gleichung  $\text{CO}_2 + \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$  gleiche Volumina erwarten sollte,

erklärt sich aus der kühlenden Wirkung des Sperrwassers, das den Wasserdampf zur Kondensation zwingt.

Im Sinne des Massenwirkungsgesetzes muß deshalb die Konzentration des Kohlenoxyds ansteigen, während die Konstante ihren Wert bei gleichbleibender Temperatur beibehält.

Die Abhängigkeit der Konstante von der Temperatur ist durch die van 'tHoff'sche Gleichung

$$\frac{d(\log K)}{dT} = \frac{q}{RT^2}$$

gegeben. Die nach dieser Gleichung — bzw. nach ihrer Integration — errechneten Werte von  $K$  stimmen mit den von O. Hahn gefundenen bis  $1000^\circ$  genau überein, von da ab bleiben die gefundenen erst wenig, dann immer mehr hinter den errechneten zurück.

Es mag noch darauf hingewiesen sein, daß die auf Grund der Konstanten  $1,3$  für die Temperatur  $986^\circ$  errechnete Zusammensetzung des Wassergases sehr nahe mit der des technischen Wassergases übereinstimmt, daß also die Konstante auch für die Praxis unter Umständen von Bedeutung sein kann (s. a. Küster, Lehrbuch der phys. Chemie).

Im vorstehenden glaube ich gezeigt zu haben, wie es möglich ist, in einer Unterrichtsstunde das Wassergasgleichgewicht — eines der wichtigsten von allen — nicht nur herzustellen, sondern auch zu analysieren und den Wert der Gleichgewichtskonstante zu ermitteln.

## Kleine Mitteilungen.

### Normen für Luftpumpenglocken.

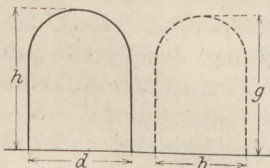
Von Dr. Wilhelm Volkmann in Berlin-Steglitz.

Mitteilung der staatlichen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht.

Die wichtigsten Schulapparate zur Luftpumpe haben allmählich ziemlich einheitliche Größe angenommen und passen zu einer Luftpumpenglocke von ungefähr 13 cm Weite und 18 cm innerer Höhe. Der Rauminhalt dieser Glocke ist etwas mehr als 2 Liter. Einige kleinere Apparate verwendet man gern mit einer kleineren Glocke, um eine schnellere Wirkung zu erzielen. Hier herrscht nicht ganz dieselbe Übereinstimmung, es dürfte aber fast immer mit einer Glocke von 8 cm Weite und 16 cm Höhe, deren Rauminhalt 0,7 Liter ist, auszukommen sein.

Um diese erfreuliche Übereinstimmung ganz allgemein zu machen und für die Zukunft festzuhalten, um ferner die Anschaffung und Lagerhaltung nur ausnahmsweise nötiger Glockengrößen einzuschränken, empfiehlt die staatliche Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht, Berlin W 35, Potsdamer Straße 120 die Mindestmaße dieser beiden Glockengrößen und die entsprechenden Höchstmaße für die Apparate als Normen für den Schulgebrauch festzusetzen. Sie bittet um sofortige Stellungnahme zu diesem Vorschlag, damit baldigst durch den Normenausschuß der Deutschen Industrie ein Normenblatt veröffentlicht werden kann. Das Bedürfnis für die Normung noch einer größeren Glocke von etwa 5 Liter Inhalt scheint nicht vorzuliegen.

### Schulnormen für Luftpumpenglocken.



	Geringstes Innenmaß der Glocken		Größtes Außenmaß der Apparate	
	Durchmesser $d$	Höhe $h$	Breite $b$	Höhe $g$
Normal-Glocke 1	80 mm	160 mm	70 mm	155 mm
Normal-Glocke 2	130 "	185 "	120 "	180 "

Beide Glocken sowohl mit Knopf wie mit Hals.  
Randbreite 17—23 mm.

## Über einen Apparat für die unmittelbare Beobachtung der Schallwellen.

Von C. J. Petropulos in Athen.

Bekanntlich kann man durch die TÖPLERSche Schlierenmethode die in der Luft beim Durchgang elektrischer Funken entstehenden Schallwellen sichtbar machen.

WOOD und nach ihm MACH und später anderen Beobachtern ist es gelungen, durch diese Methode die Schallwellen zu photographieren, so daß man heute die Schlierenmethode allgemein zu diesem Zweck anwendet.

Leider sind dazu verwickelte Einrichtungen notwendig und die Regulierung hauptsächlich des optischen Teils ist sehr zeitraubend. Eine einfachere Anwendung der Schlierenmethode nach DVORÁK haben FOLEY und SOUDER (*ds. Zeitschr.* 27, 42: 1914) angegeben. Die Schallwellen werden nach dieser Methode als eine Art Schatten durch Projektion auf einem in einiger Entfernung von der Schallquelle befindlichen Schirm ohne Einschaltung irgendwelcher optischer Vorrichtung sichtbar. Die Beobachtung ist also nicht unmittelbar.

Im folgenden beschreibe ich eine Versuchsanordnung, welche die unmittelbare Beobachtung der Schallwellen gestattet.

Das Prinzip der Methode zeigt Fig. 1. *A* ist eine gewöhnliche Kugelfunkenstrecke. *B* ist die Funkenstrecke für

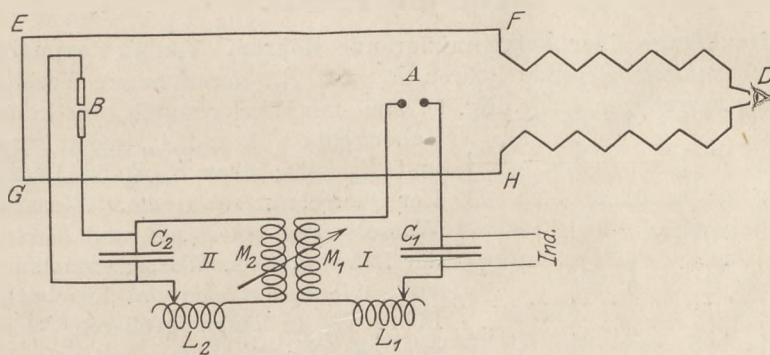


Fig. 1.

den Beleuchtungsfunken, bestehend, nach WOOD, aus zwei Mg-Streifen, welche in horizontaler Lage zwischen zwei dicke Glasplatten gepreßt sind. Man beobachtet in *D*. Damit die Beobachtung ohne Verdunkelung des Zimmers möglich wird, sind die beiden Funkenstrecken in einen Holzkasten *EFGH* eingeschlossen, welcher, zur Regulierung des Abstandes des Auges *D* von der Funkenstrecke *A*, einen Balgenfortsatz hat. Zur Erzeugung der Schallwellen und Beleuchtung des optischen Feldes wenden wir folgendes neue Verfahren an.

Die Funkenstrecke *A* gehört einem Schwingungskreis I an mit der Kapazität  $C_1$ , der regulierbaren Selbstinduktion  $L_1$  und der Koppelungsspule  $M_1$ . Ein zweiter Schwingungskreis II mit der Kapazität  $C_2$  der veränderlichen Selbstinduktion  $L_2$  und der Koppelungsspule  $M_2$  ist mit dem ersten veränderlich gekoppelt. Diesem zweiten Schwingungskreis gehört die Beleuchtungsfunkenstrecke *B* an. Sind die beiden Schwingungskreise durch die Selbstinduktionsspulen  $L_1$ ,  $L_2$  auf Resonanz gebracht und ist die Koppelung verhältnismäßig lose, so erreicht bekanntlich die Schwingung im sekundären Kreis ihre maximale Amplitude einige Perioden nach dem ersten Funken in *A*. Es ist danach möglich, durch geeignete Regulierung des Abstandes der Elektroden in *B* sowie der Koppelung oder der Potentialdifferenz in *A* zu erreichen, daß der Beleuchtungsfunken in *B* in einer bestimmten Anzahl von Perioden nach den Funken in *A* erzeugt wird.

Bei richtiger Wahl der elektrischen Wellenlänge (3000 m und mehr) und des Abstandes der Elektroden in *B* können wir in weiten Grenzen den Diameter der

sichtbaren Schallwellen verändern durch einfache Änderung der Koppelung der beiden Schwingungskreise.

Die Schallwellen erscheinen als deutlich sichtbare helle Ringe, deren Durchmesser leicht auf 8 cm gebracht werden kann.

Die Methode zeichnet sich durch eine bemerkenswerte Konstanz des Beleuchtungsfunkens aus. Ich möchte besonders hervorheben, daß man nicht bloß eine Welle beobachtet, sondern es werden bei jedem Beleuchtungsfunken mehrere konzentrische Wellenringe sichtbar, wegen der oszillierenden Entladung in  $A$ . Die Vorrichtung kann demnach die oszillatorische Entladung des Kreises I demonstrieren. Der Beleuchtungsfunken  $B$  ist fast aperiodisch.

Die optische Regulierung der Versuchsanordnung ist sehr einfach. Die drei Punkte  $A$ ,  $B$  und  $D$  brauchen nur auf einer Geraden zu liegen, damit die Kugeln der Funkenstrecke  $A$  dem Auge  $D$  das direkte Bild des Beleuchtungsfunkens  $B$  verhüllen. Die Abstände  $AB$ ,  $AD$  wählen wir gleich 55—75 bzw. 50—60 cm.

Physikalisches Institut der Universität.

## Für die Praxis.

**Eine Denkfrage über kommunizierende Röhren.** Von V. Kommerell in Reutlingen. Zwei kommunizierende Röhren  $R_1$  und  $R_2$ , deren untere Verbindung nach oben U-förmig umgebogen ist (s. Fig. 1), sind mit Wasser gefüllt, das in den längeren Schenkeln bis  $A_1$  und  $A_2$ , in den kürzeren bis  $B_1$  und  $B_2$  steht; über  $B_1$ ,  $B_2$  ist Luft abgesperrt.

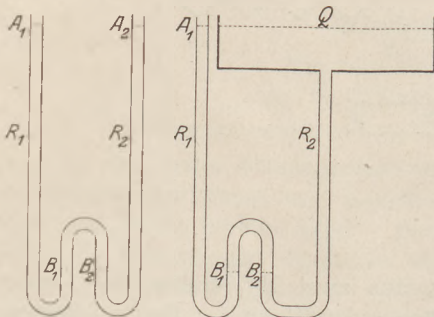


Fig. 1.

Fig. 2.

Der Querschnitt sei 1 qcm. Wie stellt sich der Wasserspiegel bei  $A_1$ ,  $B_1$  und  $B_2$  ein, wenn aus der Röhre  $R_2$   $l$  ccm Wasser entnommen werden?

Wie ändert sich das Ergebnis, wenn die Röhre  $R_2$  in einen größeren Wasserbehälter von der Oberfläche  $Q$  mündet (s. Fig. 2) und in diesem der Wasserspiegel um  $l$  cm sinkt? (Anwendung zu einem Wasserstandsmesser für hochliegende Wasserbehälter; Patent von R. Kommerell in Stuttgart.)

**Anodenbatterie aus Sammlern.** Von Dr. W. Nitsche in Brieg. In dieser Zeitschrift wurde mehrfach empfohlen, beim Betriebe der Glühkathodenröhre die erforderliche Spannung von etwa 100 Volt durch Abzweigung dem Netz zu entnehmen. Für den Empfangsverstärker ist bekanntlich diese Spannungsquelle nicht zu empfehlen, weil der Maschinenstrom geringen Schwankungen unterworfen ist, und empfindliche Störungen auch dann nicht ausbleiben, wenn die Zentrale reinen Sammlerstrom liefert. Anodenbatterien aus Beutel- oder Trockenelementen sind zu kostspielig, ihre Selbstherstellung nicht minder. Als recht zweckmäßig und leistungsfähig (auch für andere Versuche), dabei leicht und billig herstellbar erwies sich eine Hochspannungsbatterie von kleinen Sammlern. Bei ihr werden Platten, die positiven etwa 5 cm<sup>2</sup>, die negativen 9 cm<sup>2</sup> groß, benutzt, die mit der Laubsäge aus unbrauchbar gewordenen Platten zurecht geschnitten wurden. (Das Material ist wohl überall in den Reparatur- und Ladestellen erhältlich.) Die Platten wurden mit dem Spiralbohrer vorsichtig gelocht und mit 3 mm Bleidraht mit gut metallischer Oberfläche zu Paaren verbunden. Als Behälter sind Kruken zu 100 g (in jeder Apotheke zu haben) empfehlenswert, noch billiger sind gebrauchte 9 cm hohe Mostriehgläser von der bekannten Form.



## Berichte.

### 1. Apparate und Versuche.

**Glühkathodenröhren zur Demonstration von Glimmlichtentladungen.** A. WEHNELT beschreibt einige solche Röhren unter dem Namen „Oxydkathodenröhren“ in der *Zeitschr. f. praktische Physik* 1921, Nr. 10 (man vergleiche ds. *Zeitschr.* 25, 177; 1912). Die einfachen Kathodenröhren erfordern zur Überwindung des hohen „Kathoden-

Stück dicken Stahldrahtes, eine Hilfsanode *H* aus weit schwächerem Draht. Die Verdünnung ist bis auf einige Tausendstel mm getrieben. Man bringt die Kathode wie vorher zum Glühen und legt zwischen *A* und *K* eine Spannung von 110 bis 440 Volt unter Vorschaltung einer oder mehrerer Glühlampen an. Erst wenn man die Anode *A* mit der Hilfsanode *H* verbindet, wird die Feldstärke so groß, daß die Entladung einsetzt, die dann auch bei Wiederabschaltung von *H* bestehen bleibt. Die Entladung zeigt bei  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{1}{2}$  Amp. Stromstärke hell leuchtende Schichten, die den ganzen Querschnitt des Rohres ausfüllen. Messungen ergeben, daß der Anodenfall etwa 30 Volt beträgt, der hierdurch bedingte starke Wärmeumsatz (bis zu 15 Watt in 1 Sek.) erfordert eine besonders starke Anode.

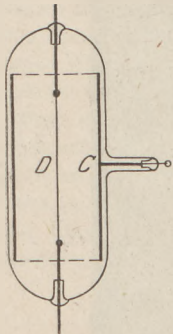


Fig. 1.

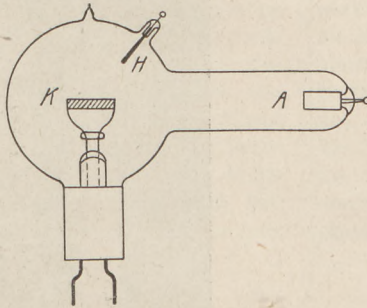


Fig. 2.

falles“ mindestens 200 bis 300 Volt, bei geringem Drucke einige Tausend Volt. Durch sekundär erzeugte Elektronen, die von einer Glühkathode ausgesandt werden, kann man den Kathodenfall herabsetzen oder sogar ganz zum Verschwinden bringen, so daß eine viel geringere Potentialdifferenz zum Betrieb hinreicht. Zweckdienlich für die Demonstration dieser Erscheinung ist eine Röhre von der Form Fig. 1, die man in mindestens zwei Exemplaren benötigt. Das zylindrische Rohr enthält einen Blechzylinder *C* mit seitlicher Zuleitung und einem axial eingeschmolzenen Platiniridiumdraht *D*, der bei einer Röhre blank, bei einer zweiten mit Metalloxyd bedeckt ist. Man zeigt zunächst, daß bei etwa 50 Volt Potentialdifferenz kein Strom durch die Röhre geht. Man erhitzt dann die Drähte der beiden hintereinandergeschalteten Röhren durch einige Akkumulatoren mit Regulierwiderstand und legt die Potentialdifferenz von etwa 50 Volt einmal an die eine, dann an die andere Röhre unter Einschaltung eines Galvanometers an. Sind beide Röhren gleich gut evakuiert, so kann man zeigen, daß der mit Metalloxyd bedeckte Draht ungefähr 1000mal mehr Elektronen aussendet, als der unbedeckte Draht. Wird *D* zur positiven Elektrode gemacht, so fließt kein Strom durch das Rohr.

Eine zweite Röhrenform (Fig. 2) dient zur Vorführung der geschichteten Entladung. Die Glühkathode *K* besteht hier aus zwei Platindrähten, zwischen denen ein Streifen Iridiumblech von etwa 1 qcm Oberfläche gespannt und mit CaO bedeckt ist. Die Anode *A* besteht aus einem

Die Röhre Fig. 3a und b enthält ebenfalls als Kathode ein Iridiumband, das aber nur auf einer Seite einen sehr kleinen Fleck aus CaO trägt. Bringt man dieses zum Glühen und verbindet *K* und *A* mit den Polen der Gleichstromzentrale, so geht von dem Fleck der Kathode ein hellleuchtendes Bündel von Kathodenstrahlen (Fig. 3b) aus. Die Elektronen sind in diesem Falle, da die Temperatur niedrig gehalten wird, so stark beschleunigt, daß sie das vorhandene Gas durch Stoßioni-

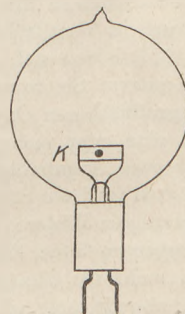


Fig. 3a.

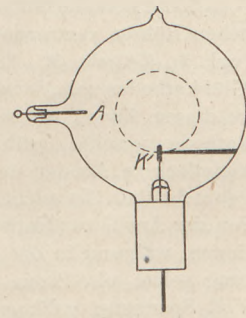


Fig. 3b.

sation ionisieren und durch ihr helles Leuchten auf ihrer ganzen Bahn erkennbar sind. Setzt man das Rohr nunmehr in das homogene Magnetfeld einer weiten und langen stromdurchflossenen Spule, so kann man das Strahlenbündel zu einem vollkommenen Kreise (Fig. 3b) zusammenbiegen, dessen Durchmesser sich leicht bestimmen läßt, wenn man hinter das Rohr einen kleinen Spiegel setzt, auf den eine Millimeter-skala geklebt ist. Bestimmt man mit einem Volt-

meter die Potentialdifferenz zwischen  $A$  und  $K$  und zieht davon den Anodenfall von 30 Volt ab, so erhält man den Kathodenfall, der den Elektronen ihre Geschwindigkeit erteilt. Aus Kathodenfall, Feldstärke und Krümmungsradius der Strahlen läßt sich ihre Geschwindigkeit und das Verhältnis  $e/m$  berechnen.

Die letzte Form Fig. 4 unterscheidet sich von der vorigen dadurch, daß den Strahlen eine

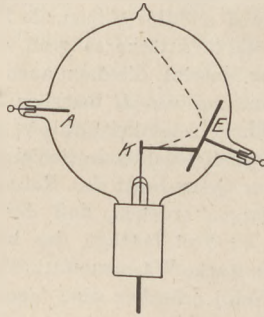


Fig. 4.

plattenförmige Elektrode  $E$  entgegengestellt ist. So lange diese isoliert oder mit der Anode verbunden ist, wird sie von den Kathodenstrahlen getroffen; verbindet man sie jedoch mit der Kathode, so werden die Strahlen in eine parabelförmige Bahn abgelenkt. Hierbei bildet sich an  $E$  ein dunkler Kathodenraum und ein geringer Teil des in  $A$  eintretenden Stroms fließt durch  $E$  ab.

Bei Gleichstromspannung von 800 und mehr Volt kann man die Glühkathoden auch zu Braunschens Röhren verwenden. Auch in Ventilröhren (vgl. *ds. Zeitschr.* 33, 272; 1921) lassen sich die Glühkathoden mit Vorteil benutzen. Sie werden zu diesem Zweck mit einer großflächigen Oxydkathode versehen, während eine oder mehrere kleinflächige Anoden in sehr enge Ansatzröhren gebracht sind. In solchen Röhren wird ein Strom von der Anode zur Kathode geringen Widerstand finden, während in der entgegengesetzten Richtung selbst ein Strom von mehreren Tausend Volt Spannung vollkommen abgedrosselt wird.

Die Wehneltströhren werden von der Phyx A. G. in Göttingen geliefert, die Ventilröhre von der Akkumulatoren-Fabrik A. G. in Berlin. P.

**Das Mutoskop als Kinematograph.** Von K. GENTIL (*Deutsche Optische Wochenschr.* 1921, Nr. 15). Beim Mutoskop ist an eine Walze, wie die Blätter eines Buches, eine große Zahl von Bildern befestigt, die die aufeinanderfolgenden Bewegungszustände eines Vorganges darstellen. Durch rasches Abblättern (wie Fig. 1 zeigt), wird für den Betrachtenden der Eindruck einer Be-

wegung hervorgerufen. Man kann diese Wirkung objektiv sichtbar machen, wenn man (Fig. 2) den sich abrollenden Blättern eine Beleuchtungslinse  $C$  mit Lichtquelle  $L$  gegenüberstellt und von einem Objektiv durch einen Spiegel  $S$  und ein Projektionsobjektiv  $P$  das Bild  $B$  wie bei einem Epidiaskop auf einen Schirm wirft.

Einfacher noch dürfte es sein, an die Stelle des Spiegels  $S$  eine Linse zu setzen und die

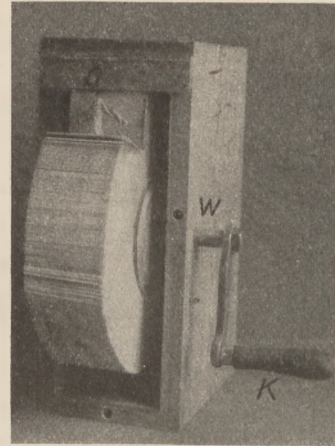


Fig. 1.

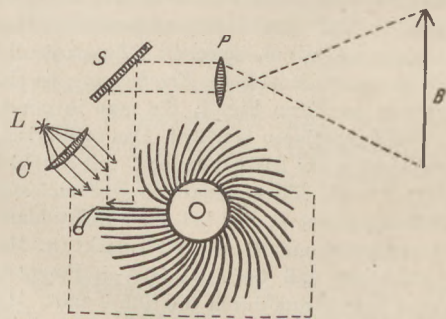


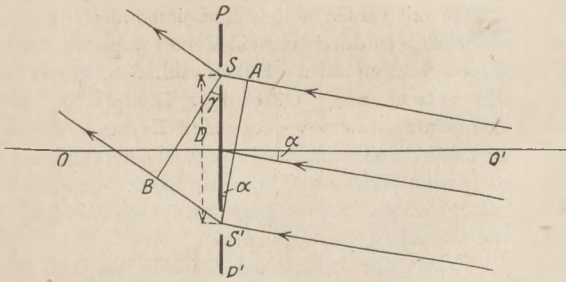
Fig. 2.

Bilder direkt auf einen durchscheinenden Schirm zu werfen. Die Bilder haben den Vorteil vor den Kinematographen, daß auch Farben in dem Laufbild wiedergegeben werden.

Mutoskoprollen gewöhnlicher Größe enthalten bei einem Durchmesser von 24 cm 1200 Bilder, was einem Filmstreifen von 40 m Länge entspricht. Die Bilder eines Lehrfilms, dessen Länge gewöhnlich nicht über 120 m beträgt, werden sich gut auf einer Mutoskoprolle von 46 cm Durchmesser unterbringen lassen. Das Mutoskop in Verbindung mit einem Epidiaskop wird also in vielen Fällen namentlich für Unterrichtszwecke den Kinematographen ersetzen können. P.

2. Forschungen und Ergebnisse.

**Aus der Astronomie.** 1. Methoden zur Bestimmung von Sterndurchmessern. Nach E. v. D. PAHLEN<sup>1)</sup>. Eine Interferenzmethode zur Bestimmung der Ausdehnung sehr kleiner Lichtquellen war schon 1890 von MICHELSON angegeben und auf die Bestimmung der scheinbaren Durchmesser der Jupitermonde angewandt worden. Im vorigen Jahre wurde sie auf dem Mount Wilson mit Erfolg zur Bestimmung von Sterndurchmessern benutzt. Das von der ganzen Oberfläche eines Sterns kommende Licht stellt ein System ebener Wellen dar, die sehr kleine Winkel miteinander bilden; die Aufgabe besteht darin, den größten dieser Winkel, den die von zwei entgegengesetzten Enden des Sterndurchmessers ausgehenden Wellen bilden, zu messen. Der Interferenzapparat muß aus jeder einfallenden Welle zwei Stücke aussondern und diese, nach Einschaltung eines Gangunterschiedes, zur Deckung



bringen. Zu dem Zweck wird ein mit zwei gleichen spaltförmigen Öffnungen versehener Schirm  $PP'$  vor das Objektiv des Fernrohrs gesetzt, so daß das Licht nur durch diese Öffnungen hindurchgeht und in der Brennebene zur Interferenz gelangen kann. Eine unter einem Winkel  $\alpha$  gegen die Fernrohrachse geneigte Welle trifft die beiden Spalte  $SS'$ , (Fig. 1), von denen dann nach dem Huygensschen Prinzip neue Wellen ausgehen. In der Figur sind von diesen zwei parallele Wellen ausgesondert, die einen kleinen Winkel  $\gamma$  mit der optischen Achse bilden und auf der Brennebene des Fernrohrs zur Interferenz gelangen. Der für die Interferenz in Betracht kommende Gangunterschied ist  $\Delta\lambda = S'B - SA = D \sin \gamma - D \sin \alpha$ , wo  $D$  die Entfernung der beiden Spalte bedeutet. Da die Winkel sehr klein sind, können die Sinus durch die Winkel ersetzt werden, und man hat  $\Delta = D \lambda \cdot (\gamma - \alpha)$ . Für alle  $\gamma$ , bei denen  $\Delta$  eine ganze Zahl ist, erhält man Interferenzmaxima, für solche  $\gamma$ , bei denen  $\Delta = \pm \frac{1}{2}, \pm \frac{3}{2}$ , usw. ist, Minima. Sind  $\gamma_m$  die für die Maxima zutreffenden Werte von  $\gamma$ ,

so ist  $\gamma_m = n \cdot \lambda/D + \alpha$ , wo für  $n$  alle ganzen Zahlen gesetzt werden können. Eine unter einem anderen Winkel  $\alpha$ , gegen die Fernrohrachse ankommende Welle erzeugt entsprechende Maxima und Minima, aber an anderer Stelle. Beobachtet man nun einen Stern vom scheinbaren Winkeldurchmesser  $\bar{\alpha}$ , so kann der Winkel  $\alpha$  alle Werte von  $-\bar{\alpha}/2$  bis  $+\bar{\alpha}/2$  annehmen und man erhält viele sich überlagernde Interferenzstreifen. Ist  $\alpha$  kleiner als der Abstand  $\lambda/D$  zweier aufeinanderfolgender Maxima oder Minima, so liegen die Maxima bei  $\gamma = 0, \pm \lambda/D, \pm 2 \lambda/D$  usw. Die Maxima der anderen Wellen lagern sich zu beiden Seiten der ersteren und nehmen einen Streifen von der Breite  $\bar{\alpha}$  ein. Bei größerem  $D$  werden die Abstände zwischen den Maximis kleiner und die Ränder der Maximagruppen rücken näher aneinander. Ist  $\lambda/D = \bar{\alpha}$ , so hören die Zwischenräume zwischen den Maximagruppen ganz auf und man erhält ein gleichmäßiges Gesichtsfeld, da jetzt an jeder Stelle des Bildes ein Maximum liegt. Wird  $D$  größer, so entstehen die Streifen wieder; sie verschwinden immer, wenn  $\bar{\alpha}$  ein ganzes Vielfaches von  $\lambda/D$  ist. Die Betrachtungen gelten nur für eine lineare Lichtquelle. Ist diese dagegen eine gleichmäßig erleuchtete kreisförmige Scheibe, so fand MICHELSON durch eine genaue Rechnung, daß das Verschwinden der Streifen für solche Werte von  $D$  stattfindet, bei denen  $\bar{\alpha} = 1,22 \lambda/D, 2,24 \lambda/D, 3,26 \lambda/D$  ist. Denkt man sich die Sonne so weit entfernt, daß sie einen scheinbaren Durchmesser von  $0,01''$  hätte, so würde nach MICHELSONS Rechnung beim ersten Verschwinden der Streifen  $D = 13$  m sein müssen.

Das Verfahren wurde zuerst auf den Doppelstern Capella angewandt, dessen Bahnelemente und Parallaxe ziemlich gut bekannt sind und bei dem der Winkelabstand der Komponenten auf  $\frac{1}{20}''$  geschätzt wurde. Die Spalte wurden ersetzt durch zwei in großer Entfernung voneinander aufgestellte Spiegel, als Objektiv diente der große Spiegel des Mount Wilson-Observatoriums von 2 m Durchmesser. Die beiden Öffnungen befanden sich nicht vor dem Objektiv, sondern in dem vom Objektiv kommenden konvergierenden Strahlenbündel, wodurch eine Verringerung ihres Abstandes erzielt werden konnte. Ein Rohr mit stark vergrößerndem Okular diente zur Beobachtung der Streifen. Die in dieser Weise bestimmten Bahnelemente des Doppelsterns (große Halbachse  $= 0'',05249$  usw.) stimmten mit den sonst berechneten Werten überraschend gut überein. Aus der Parallaxe  $\pi = 0'',06$  ergab sich der lineare Abstand der beiden Sterne zu 131 Millionen Kilometer.

<sup>1)</sup> Die Naturwissenschaften 9, 599 (1921).

Für den Versuch der Messung eines Sterndurchmessers wurde  $\alpha$  Orionis (Beteigeuze) ausgewählt, da dieser wegen seiner Helligkeit und der Art seines Spektrums als ein Riesenstern zu betrachten war. Der Beobachter PRASE ersetzte die Spalte durch Spiegel, die in 10 Fuß Abstand auf einem Balken montiert waren; die von diesen Spiegeln aufgefangenen, vom Sterne kommenden Wellen wurden nach zwei einander näheren inneren Spiegeln und von diesen in den Objektivspiegel des Fernrohrs geleitet. Bei 10 Fuß Abstand der Spiegel ergab dann  $\alpha$  Orionis keine Interferenzstreifen, während diese bei mehreren anderen Sternen deutlich sichtbar waren. Daraus ergab sich für  $\lambda = 550 \mu\mu$  für den Winkeldurchmesser von  $\alpha$  Orionis der Wert  $\alpha = 0'',045$ . Nimmt man das Mittel der direkt gemessenen Parallaxe dieses Sterns zu  $\pi = 0'',018$  an, so ergibt sich, daß sein linearer Durchmesser  $192 \cdot 10^6$  km beträgt. Dagegen ist der Sonnendurchmesser nur  $0,7 \cdot 10^6$  km, der Radius der Erdbahn  $149 \cdot 10^6$ , der der Marsbahn  $228 \cdot 10^6$  km. Nach einer in der Berliner Phys. Gesellsch. am 9. Dez. 1921 gemachten Mitteilung ist der Wert von  $\pi$  wohl dreimal kleiner als  $0'',018$ ; der Durchmesser des Sterns würde dann noch dreimal größer sein.

Die scheinbaren Sterndurchmesser lassen sich auch auf indirektem Wege aus der scheinbaren Helligkeit erschließen, sobald man bestimmte Annahmen über die von den Sternen der verschiedenen Typen emittierten Strahlung macht. Diese Annahme besteht darin, daß die Körper als schwarze Körper strahlen, d. h. daß ihre Strahlungsintensität in jeder Wellenlänge durch die Wiensche oder Plancksche Formel als Funktion der absoluten Temperatur des Sterns dargestellt wird. Die Berechtigung dieser Annahme haben WILSING und SCHEINER in Potsdam durch Ausphotometrierung der Sternspektren und Vergleich der so erhaltenen Intensitätskurve mit der Planckschen theoretischen Kurve dargetan. Da diese Methode zur Bestimmung der Sternstrahlung ziemlich schwierig und zeitraubend ist, so hat SCHEINER neuerdings eine „kolorimetrische“ Methode entwickelt, die darin besteht, daß das Licht des zu untersuchenden Sterns durch geeignete optische Vorrichtungen mit der Strahlung eines von einer elektrischen Glühlampe erzeugten künstlichen Sterns nach Intensität und Farbe zur Übereinstimmung gebracht wird. Dazu dienen ein selektiv absorbierender Glaskeil und ein Zöllnersches Photometer; die den Keil bewegende Schraube und der Intensitätskreis des Photometers wurden gleichzeitig gedreht, bis völlige Gleichheit der Farbe und Helligkeit der beiden Sternbilder erreicht war. Aus besonderen Formeln lassen sich dann die Sterntemperaturen und, in Verbindung mit den scheinbaren Helligkeiten,

die Winkeldurchmesser der Sterne bestimmen. Unter den so von WILSING gemessenen Sternen befindet sich auch  $\alpha$  Orionis, dessen scheinbarer Durchmesser bei Annahme der gleichen Parallaxe den Wert  $0'',039$  ergab. Da die amerikanischen Astronomen  $0'',045$  erhalten hatten, so zeigen beide Methoden eine erfreuliche Übereinstimmung.

2. Über das Vorkommen und den Zustand der Elemente in der Atmosphäre der Sonne und der Fixsterne. Von MEGH NAD SAHA in Calcutta nach dem Bericht von W. Westphal<sup>1)</sup>. Die neuen Fortschritte der Astrophysik sind bedingt durch die Fortschritte der Atomphysik, wie sie in der Deutung zahlreicher spektraler Phänomene durch die Bohrsche Theorie zum Ausdruck kommen. Die Spektren der Sonne und der Sterne (abgesehen von den gasförmigen Nebeln) sind kontinuierlich, durchzogen von dunklen Absorptionslinien. Daß die in der Sonnenatmosphäre enthaltenen Gase auch selbst strahlen, zeigt das bei totaler Verfinsterung aufgenommene „flash“-Spektrum der Chromosphäre mit seinen hellen Emissionslinien. Diese zeichnen sich durch verschiedene Länge aus und lassen dadurch auf die Höhen schließen, in denen die verschiedenen Gase oder Dämpfe in der Sonnenatmosphäre vorkommen. Dadurch wurde z. B. festgestellt, daß die größten Höhen (14 000 km) nicht vom Wasserstoff, sondern vom Calcium erreicht werden. SAHA führt das auf eine Wirkung des Strahlungsdruckes zurück.

Nach der Bohrschen Theorie werden die „Hauptserien“ der Spektrallinien veranlaßt durch äußere Elektronen der niedrigst möglichen Quantenzahl. Zur Absorption der Linien höherer Serien muß eines der äußeren Elektronen durch eine mit der Temperatur wachsende „Erregung“ auf eine höhere Quantenbahn gebracht werden. Bei sehr großer Erregung kann ein Elektron völlig von seinem Atom entfernt werden. Das Atom wird dann zum positiven Ion und ändert sein Spektrum, indem dieses aus einem „Bogenspektrum“ zu einem „Funkspektrum“ wird. Aus der modernen Thermodynamik läßt sich die Abhängigkeit des Ionisationsgrades (Zahl der ionisierten: Gesamtzahl der Atome) eines Gases in Abhängigkeit von Temperatur und Druck berechnen; SAHA benutzte dazu eine von NERNST für dissoziierte Substanzen abgeleitete Formel. Besonders geeignet war hierfür das Calcium, da sowohl die Hauptserie des neutralen Ca (g-Linie des Sonnenspektrums) als auch die Serie des ionisierten Ca (H- und K-Linien) im sichtbaren Gebiet liegen. Aus den für Ca berechneten

<sup>1)</sup> Phil. Mag. 40, 472, 809 (1920); Zeitschr. f. Physik 6; 40 (1921); Die Naturwissenschaften 9, 863 (1921).

Werten des Ionisationsgrades für verschiedene Temperaturen und Drucke ergibt sich bei 7500° und 1 Atm. Druck eine Ionisation von 34%; für geringere Temperaturen und niedere Drucke ist sie fast vollständig. Dem entspricht, daß in der Sonnenatmosphäre die g-Linie des neutralen Ca nur bis zu 5000 km Höhe (wo SAHA noch eine Temperatur von 7500° annimmt), die Linien des ionisierten Ca<sup>+</sup> aber bis zu 14000 km (wo eben Temperatur und Druck entsprechend niedriger sind) beobachtet werden. Ähnliches ergibt sich für Barium und Natrium. Für Wasserstoff liegt nur die Neben-Balmerserie im sichtbaren Wellenbereich, die Hauptserie im Ultraviolett. Die Balmerieserie, die schon einer gewissen Anregung bedarf, wird auf der Sonne bis zu 8000 km Höhe beobachtet. Die vollständige Ionisation des H-Atoms tritt erst bei etwa 10000° ein, einer Temperatur, die auf der Sonne nicht mehr vorkommt. Da das Spektrum des Wasserstoffmoleküls auf der Sonne gar nicht beobachtet wird, so müssen dort die H-Moleküle sämtlich dissoziiert sein. — Das Helium wird nur im „flash“- , nicht im Fraunhoferschen Spektrum beobachtet, was SAHA darauf zurückführt, daß die große Dichte der umkehrenden Schicht die Hebung einer größeren Elektronenzahl in höhere Quantenbahnen verhindert. Aus der Berechnung des Ionisationsgrades ergibt sich, daß keine merkliche Ionisation des He in der Sonnenatmosphäre zu erwarten ist. Daß auf der Sonne sehr viele Elemente gar nicht beobachtet werden, dürfte darin liegen, daß unter den dort vorhandenen Anregungsbedingungen keine der Beobachtung zugänglichen Strahlen emittiert bzw. absorbiert werden oder daß ihr Funkenspektrum aus Laboratoriumsversuchen nicht bekannt ist.

Bei Anwendung der SAHA'schen Betrachtungen auf Sterne muß vor allem die Verschiedenheit der Sternklassen und der aus Strahlungsversuchen abgeschätzten Temperaturen in Rechnung gezogen werden. Zwischen den einzelnen Sternklassen gibt es alle denkbaren Übergänge, so daß man das räumliche Nebeneinander auch als ein zeitliches Nacheinander ansehen kann. Es gibt in der Sternentwicklung einen aufsteigenden Ast mit Riesensternen und steigender und einen absteigenden Ast mit Zwergsternen und abnehmender Temperatur. Aus einer von SAHA aufgestellten Tabelle der Intensitäten einiger besonders wichtiger Spektrallinien in den verschiedenen Sternklassen erkennt man einen allmählichen Anstieg der Intensitäten mit steigender Temperatur bis zu einem Maximum und darauf folgendem Abfall. Die Linien von H und He entsprechen nur höheren Serien; ihr Auftreten ist an eine bestimmte Mindesttemperatur geknüpft. Dagegen erscheint die Ca-Linie g bereits bei

Sternen tiefster Temperatur (3000°). Der Abfall der Intensitäten von Linien neutraler Atome bei hohen Temperaturen erklärt sich aus der dabei einsetzenden Ionisation. Dies wird besonders deutlich bei He und Ca, wo der Abfall der Linien der neutralen von einem Intensitätsanstieg der Linien der ionisierten Atome begleitet ist. Bei noch höheren Temperaturen verschwinden die Linien der ionisierten Atome wieder, was durch eine neue Spektrumsänderung infolge Abschneidung eines zweiten Elektrons, also zweifache Ionisation erklärt wird. Das Spektrum zweifach ionisierter Elemente ist allerdings noch unbekannt. Aus der Rechnung ergibt sich, daß Ca bei 1400°, das einmal ionisierte Ca<sup>+</sup> bei 21000° zum zweiten Male vollständig ionisiert wird; beide Temperaturen treten bei zwei Sternklassen auf, bei denen in der Tat die Linien des Ca bzw. Ca<sup>+</sup> verschwinden. Die erste Ionisation des neutralen He tritt nach der Berechnung bei 23000° und  $\frac{1}{100}$  Atm. Druck, die zweite bei 30000° und  $10^{-5}$  bis  $10^{-6}$  Atm. Druck ein. Die Beobachtungen zeigen das Verschwinden der Linien des ionisierten He bei Nebelsternen von der Temperatur 30000°, bei denen jener geringe Druck ja auch zutreffen würde.

Die Untersuchungen SAHA's lassen verstehen, warum das Auftreten einzelner Elemente in den Sternspektren an Temperatur und Druck geknüpft ist. Da nach neueren Untersuchungen NERNST's auch die höchsten auf den Sternen vorkommenden Temperaturen die Atomkerne selbst noch nicht beeinflussen können, so müssen wir annehmen daß auch auf den frühesten Entwicklungsstufen der Sterne sich unsere irdischen Elemente vorfinden werden. Die vorliegenden Beobachtungen sind damit in Übereinstimmung.

3. Über Sternhaufen und Milchstraßensysteme. Von HARLOW SHAPLEY. Nach dem Bericht von A. KOPF<sup>1)</sup>. Die Untersuchungen SHAPLEY's beruhen auf der Voraussetzung, daß überall im Kosmos die physikalische Beschaffenheit der Himmelskörper dieselbe ist. Während die Spektralanalyse die allgemeine Gleichheit der chemischen Konstitution bestätigt, wird auch angenommen, daß überall Sterne mit besonderen spektralen Eigentümlichkeiten dieselbe absolute Helligkeit besitzen und daß eine aus dem Gesetz der Lichtänderung von variablen Sternen abgeleitete Beziehung zwischen Periodenlänge und mittlerer absoluter Helligkeit überall im Weltall gültig sei. Die Untersuchungen SHAPLEY's gehen aus von der Bestimmung der Entfernung der kugelförmigen Sternhaufen und beruhen auf photographischen Aufnahmen mit den großen Spiegelteleskopen des Mt. Wilson Observatoriums.

<sup>1)</sup> Die Naturwissenschaften 9. 769, 1921.

Die kugelförmigen Sternhaufen sind Anhäufungen von Sternen, deren Dichten von außen nach innen stark zunehmen. In vielen dieser Sternhaufen gibt es kurzperiodische Veränderliche vom Charakter der  $\delta$ -Cephei-Sterne, die einen Zusammenhang zwischen Periodenlänge und Helligkeit zeigen. Das gleiche gilt für die isoliert auftretenden  $\delta$ -Cephei-Veränderlichen in der Nähe der Sonne. Da wir für diese eine mittlere Parallaxe und damit ihre Entfernung kennen, so läßt sich die absolute Helligkeit ermitteln, die ein veränderlicher Stern von einer gewissen Periode in der Einheit der Entfernung (Parallaxe  $0''$ ,1) besitzt. Entspricht nun derselben Periodenlänge überall dieselbe absolute Helligkeit, so kann man mit Hilfe der scheinbaren Helligkeit der  $\delta$ -Cephei-Veränderlichen deren Entfernung von der Sonne herleiten. In dieser Weise wurden die Entfernungen von 7 kugelförmigen Sternhaufen bestimmt. Diese 7 Sternhaufen zeigten eine gemeinsame Eigenschaft, die zu weiteren Methoden der Entfernungsbestimmung führten. Wenn man den Mittelwert der Helligkeit der 25 hellsten Sterne des Sternhaufens bildet, so ist das Verhältnis dieses Mittelwerts zur mittleren Helligkeit aller kurzperiodischen Sternhaufenvariablen stets dasselbe. Fehlen nun in einem Kugel-Sternhaufen die kurzperiodischen Veränderlichen, so kann ein Vergleich der mittleren Helligkeit der 25 hellsten Sterne mit dem sonst errechneten Verhältniswert die Entfernung des Sternhaufens liefern. Ferner hat sich gezeigt, daß Sternhaufen mit bekannter, durch eine der angegebenen Methoden bestimmter Entfernung Durchmesser derselben Größe besitzen und daß die absolute Gesamthelligkeit aller Sterne eines Haufens immer denselben konstanten Betrag zeigt. Das gibt eine vierte Methode zur Entfernungsbestimmung. Überall, wo verschiedene dieser vier Methoden angewandt werden konnten, erhielt man übereinstimmende Werte. Im ganzen wurden die Entfernungen von 86 kugelförmigen Sternhaufen bestimmt; sie liegen zwischen 21 000 Lichtjahren für  $\omega$ -Centauri und 200 000 Lichtjahren für den Nebel 7006 des Katalogs.

Die Eigenschaften der Kugelsternhaufen sind dieselben wie die der Sterne in der Nähe der Sonne. Die hellsten Sterne sind rot und gelb und haben die Spektraltypen  $G$  und  $K^1$ ); die schwächeren Sterne werden mehr und mehr blau (Spektraltypen  $B$  und  $A$ ). Dasselbe gilt für die Sterne in der Umgebung der Sonne, von denen die hellsten als Riesensterne, die schwachen des-

selben Spektraltyps als Zwergsterne angesehen werden. Daher dürften die hellen Sterne der Sternhaufen auch Riesensterne sein, während die Zwergsterne nicht mehr sichtbar sind. Das Verhältnis der Intensität von Rot zu Blau, ebenso wie die Verteilung dieser beiden Sterngruppen ist auch bei den Sternhaufen das gleiche wie bei den Sternen in der Umgebung der Sonne.

Aus den Entfernungsbestimmungen erhält man auch Aufschluß über die räumliche Anordnung der Kugelsternhaufen. Sie befinden sich innerhalb eines Rotationsellipsoids, von dem die große Achse 200 000, die dazu senkrechten Achsen 130 000 Lichtjahre betragen; die Sonne liegt innerhalb der Milchstraßenebene auf der großen Achse 60 000 Lichtjahre von der Mitte entfernt. Die Milchstraßenebene ist Symmetrieebene auch in bezug auf die Verteilung der Sternhaufen. Die Sternhaufen haben auch galaktische Ebenen, die für die der Milchstraße nächsten der allgemeinen galaktischen Ebene parallel sind. Sie bewegen sich mit großen Geschwindigkeiten auf die Milchstraße zu.

Im Gegensatz zu den kugelförmigen Sternhaufen stehen die offenen Sternhaufen, die eine Verdichtung von außen nach innen zu nicht zeigen. Auch für diese suchte SHAPLEY Entfernung und räumliche Anordnung zu ermitteln. Er fand für 70 solcher Sternhaufen Entfernungen zwischen 1300 und 52 000 Lichtjahren. Angeordnet sind sie in einer flachen Scheibe, die mit der Milchstraße zusammenfällt; ihre Verteilung ist weit gleichmäßiger als die der kugelförmigen Sternhaufen. Daß die entferntesten offenen Sternhaufen nur etwa bis zum vierten Teil der Entfernung der Kugelsternhaufen reichen, erklärt SHAPLEY dadurch, daß die in größerer Entfernung innerhalb der Milchstraße liegenden durch dunkle Materie verdeckt werden. Für die Milchstraße selbst kommt er zu dem Schluß, daß diese sich nicht, wie man bisher annahm, nur auf eine Entfernung von 30 000 bis 40 000 Lichtjahren erstreckt, sondern in ihrer längsten Ausdehnung bis zu 200 000 Lichtjahren mit Materie angefüllt ist. Zu dieser Annahme führt auch die Untersuchung der hellen Sternwolken der Milchstraße, deren Sterne dem Spektraltypus  $A$  angehören. Da diese in der Umgebung der Sonne sehr große Leuchtkraft besitzen, so kann die scheinbare geringe Helligkeit jener nur auf ihre sehr bedeutende Entfernung zurückzuführen sein. Auch die auf Sternabzählungen beruhenden Ergebnisse der Untersuchungen von PANNEKOCK führen für die hellen Wolken in Cygnus und Aquila zu Entfernungen von durchschnittlich 160 000 Lichtjahren.

Schk.

<sup>1)</sup> Vgl. den Bericht in ds. Ztschr. 32, S. 98 (1919).

### 5. Technik und mechanische Praxis.

#### Die elektrische Anziehung nach Johnsen-Rahbeck und ihre technische Verwertung.

Eine eigentümliche Form der elektrostatischen Anziehung bildet den Ausgangspunkt von Versuchen, über die Dr. ROTTGART (Berlin) auf dem Physikertag in Jena im September 1921 vortrug. Eine etwa 20 qcm große Platte des bekannten Solnhofener Lithographenschiefers ist auf der unteren Seite mit einer festen Metallbelegung versehen; die obere ist plan geschliffen. Legt man auf sie eine ebenfalls ebene Metallplatte und verbindet nun die beiden Belegungen mit einer Gleichstromquelle von beispielsweise 220 Volt, so bleibt beim Heben der Metallplatte der Stein an ihr haften. Zwischenschaltung des menschlichen Körpers oder sogar eines Widerstandes von etwa 100000 Ohm in jede der beiden Leitungen ändert hieran nichts.

Der genannte Stein ist ein Halbleiter. Es fließt unter den angegebenen Umständen durch ihn ein Strom von der Größenordnung  $10^{-6}$  Amp. Der gesamte Widerstand beträgt also etwa  $2,2 \cdot 10^8$  Ohm. Er wird stark herabgesetzt, wenn man den Elektrizitätsübergang zwischen Metallplatte und Stein durch Benetzen mit einer halbleitenden Flüssigkeit, z. B. mit Alkohol, fördert. Der Strom steigt dann auf etwa  $10^{-3}$  Amp. Die Anziehung aber wird viel geringer. Durch Aufhängen der Metallplatte an einer Wage stellt man fest, daß sie etwa 10 g-Gewicht beträgt. Beim Verdunsten des Alkohols nimmt der Strom ab und erreicht schließlich die Größenordnung  $10^{-6}$  Amp. Die Anziehung aber nimmt zu bis auf etwa  $\frac{1}{2}$  kg.

Es folgt hieraus, daß der hohe Widerstand fast ausschließlich an der Grenze der beweglichen Platte gegen den Stein zu suchen ist, daß demnach hier fast die ganze Spannung liegt. Die beiden Grenzflächen bilden die Belegungen eines sehr dünnen Luftkondensators und ziehen sich deshalb mit großer Kraft an. Diese Grunderscheinung wollen wir im folgenden den Johnsen-Rahbeckeffekt oder kurz JR-Effekt nennen.

In Fig. 1 sind als Abszissen die Spannungen  $e$ , als Ordinaten die Anziehungen  $K$  aufgetragen, die zwischen einer Schieferplatte von 20 mm Dicke und einer Metallplatte von 4 qcm Oberfläche auftreten. Die bekannte Formel für die Anziehung  $K$  zwischen zwei geladenen Platten von der Oberfläche  $O$  und einer Zwischenschicht von der Dicke  $d$  lautet:  $K = \frac{O \cdot e^2}{8 \cdot d^2}$ . Berechnet man hieraus für den letzten Kurvenpunkt die Dicke der Zwischenschicht, so ergibt sich der Wert  $\frac{1}{198}$  mm. Aus den Anfangspunkten der Kurve ergibt sich  $\frac{1}{137}$  mm. Diese Werte sind sowohl der absoluten Größenordnung nach plau-

sibel, als auch ihrem Verhältnis nach; denn es ist verständlich, daß bei wachsender Anziehungskraft die Zwischenschicht dünner wird.

Die technische Bearbeitung der geschilderten Erscheinung erfolgte durch die Gesellschaft für Funkentelegraphie Dr. Erich F. Huth, deren Direktor Dr. ROTTGART ist. Es war hierbei auf folgende Besonderheiten zu achten: Der benötigte Strom ist äußerst gering, die erforderliche Spannung hingegen verhältnismäßig hoch. Es ist also ein außerordentlich hoher Leitungswiderstand zulässig. Ferner ist im Vergleich zum Elektromagnet die sehr geringe Trägheit zu beachten, der allerdings als Nachteil der Mangel einer anziehenden Fernwirkung gegenübersteht. Arbeit — Kraft mal Weg — steht also wegen der geringen Größe des zweiten Faktors nur in unbedeutendem Ausmaße zur Verfügung, und

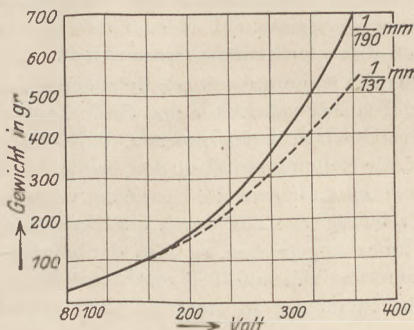


Fig. 1.

dadurch liegen notwendigerweise die Anwendungen in der Richtung einer Auslösung, nicht in der einer Leistung. Man kann unterscheiden

1. Apparate, bei denen Leiter und Halbleiter aufeinander ruhen,
2. solche, bei denen sie sich gegeneinander bewegen.

Zu den ersteren gehört eine Anordnung, die man als Ruhestromrelais bezeichnen könnte. Leiter und Halbleiter haften infolge einer an ihnen liegenden Spannung aneinander. Hebt man die Spannung auf, so trennen sie sich unter dem Einfluß mechanischer Kräfte (Federn) und betätigen Kontakte, die mit einer Lokalbatterie verbunden sind. Bei einem solchen Relais betrug die Spannung 110 Volt, der Strom  $10^{-6}$  Amp., die benötigte Leistung also nur  $1,1 \cdot 10^{-4}$  Watt. Die Rückkehr in die ursprüngliche Lage erfolgt durch eine mit dem Zweck der betreffenden Anwendung zusammenhängende Betätigung, z. B. durch Wiederanhängen eines Telephonhörers. Die Einstellung der Federn kann so vorgenommen werden, daß nicht ein völliges Aufhören, sondern

nur eine Verminderung der Spannung um vielleicht 20% zur Auslösung nötig ist.

Gleichsam in der Mitte zwischen den Vorrichtungen erster und zweiter Art steht ein „Elektroskop“, wie es Fig. 2 darstellt. *H* ist ein Halbleiter in Form eines Keils mit etwas gekrümmter Oberfläche; *II* stellt die feste, *I* die bewegliche Metallbelegung dar. Diese letztere ist ein sehr biegsames Metallblättchen, z. B. aus Aluminium, dessen unteres Ende an den Halbleiter angeklemt und mit der Zuleitung *a* versehen ist. Legt man hier und bei *b* Spannung an, so schmiegt sich das Blättchen an die gekrümmte Fläche. Dadurch kann ein Kontakt berührt werden, der über die Leitung *c* mit einer Batterie in Verbindung steht; dann erhalten wir ein Relais mit Arbeitsstrom, das sich ohne äußeren mechanischen Eingriff spannt und entspannt. Auch ist von der genannten Firma ein einfaches Instrument hergestellt worden, das etwa die Größe eines kleinen Bleistifts hat und beim Aufsetzen seiner Spitze auf einen Draht erkennen läßt, ob dieser elektrische Spannung führt.

Für die Apparate mit relativ zueinander bewegten Flächen von Leiter und Stein kann man als Grundgedanken aussprechen, daß der J.R.-Effekt die Reibung zwischen den beiden Flächen während des Anliegens der Spannung vergrößert. Ist der bewegliche Teil durch ein Uhrwerk oder einen Motor angetrieben, so wird der bewegliche, aber zunächst ruhende Teil erst unter dem Einfluß der Spannung so stark an dem laufenden Teil haften, daß er mitwandert. Bei der hier-

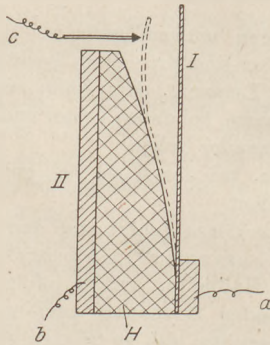


Fig. 2.

durch erzielten Arbeitsleistung fällt also dem J.R.-Effekt nur die Aufgabe zu, eine Kuppelung herzustellen, während die Energie einer fremden Quelle entstammt.

Die Vorrichtung Fig. 3 zeigt einen entsprechenden Versuch. Auf einem Halbleiter, z. B. einer aus Achat bestehenden Rolle *H*, die auf einer leitenden Achse sitzt, schleift ein Metallband *M*. Es wird einerseits durch eine Feder

gespannt, die an der Rückwand *R* befestigt ist, andererseits durch ein Gewicht. Ohne Anlegung elektrischer Spannung gleitet die Rolle unter dem Metallband hinweg. Verbindet man *A* und *M* mit einer 220 Volt-Leitung, so wird die Reibung zwischen Stein und Metallband gesteigert und

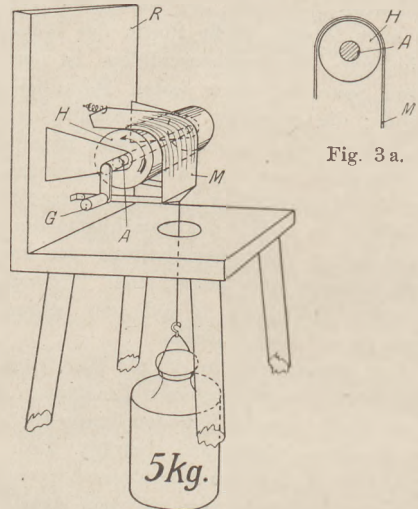


Fig. 3 a.

Fig. 3.

das Gewicht wird angehoben. Der Strom beträgt hierbei  $4 \cdot 10^{-4}$  Amp. Es wird also die Last von 5 kg durch eine Leistung von  $8 \cdot 10^{-2}$  Watt hochgehalten.

Diese Vorrichtung wurde u. a. zur Feststellung der Beziehung zwischen Spannung und Kraft benutzt, deren Kenntnis für die vielen weiteren Konstruktionen von Wichtigkeit ist. Es ergab sich, daß bei zylindrischen Flächen die Kraft mit mehr als der vierten Potenz der Spannung steigt, was durch die mechanische Abstandsverringerung der beiden Oberflächen infolge des Zuges der angehängten Gewichte seine Erklärung findet. Eine Folgerung aus dieser funktionellen Abhängigkeit besteht darin, daß der Einfluß einer auf das System wirkenden wechselnden Spannung von z. B. 10 Volt durch eine zusätzliche „Vorspannung“, von z. B. 70 Volt erheblich gesteigert wird; näheres hierüber siehe weiter unten.

Die Anwendungsmöglichkeiten dieses rotierenden Zylinders sind recht mannigfaltig. Von fertigen Apparaten seien zwei erwähnt, nämlich

1. Der Schnellschreiber und das Schnellrelais (Fig. 4). *H* stellt den zylindrischen Halbleiter dar, *II* seinen metallenen Kern, an dem die Zuleitung 2 liegt, während an dem Metallband *I* bei *I* die Ableitung angebracht ist. Gespannt wird das Band rechts durch die Feder *f*, links durch den Winkelhebel *V* in Verbindung



mit der Feder *F*. Das untere Ende *T* des senkrechten Hebelarms ist als Schreibstift ausgebildet. Werden dem System durch die Leitungen 1 und 2 Morsezeichen übermittelt, so nimmt das Band

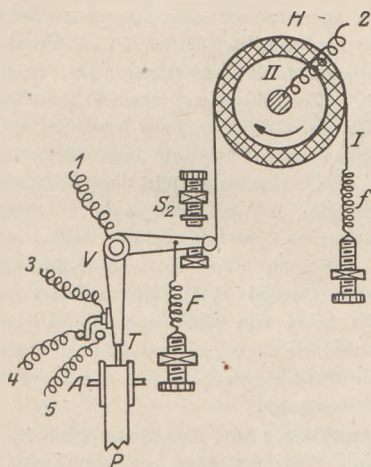


Fig. 4.

in schnellem Wechsel an der Drehung der Walze teil oder nicht, mit der Folge, daß der Schreibstift abwechselnd nach rechts oder links schwingt. Auf dem Papierstreifen *P*, der über eine Walze mit der Achse *A* abläuft, entsteht dadurch die bekannte Wellenschrift<sup>1)</sup>. Zugleich kann, ähnlich wie beim Morseschreiber, die Bewegung des Hebels *V* zur Betätigung eines Relais benutzt werden, indem die Zuleitung 3 bei dem Hin- und Hergang des Hebels abwechselnd mit den Ableitungen 4 oder 5 in Kontakt tritt. Der Feder *F* liegt außer der Zurückführung des Hebels *V* auch noch die Aufgabe ob, die oben erwähnte „Vorspannung“ zu kompensieren. In dem angeführten Beispiel würde nur der geringe Strom, der der Spannung von 10 Volt entspricht, durch die Fernleitung zu liefern sein, während die Vorspannung von 70 Volt einer Lokalbatterie entstammt.

Bei Anwendung eines leichten Schreibsystems ist die Leistungsfähigkeit dieses Schnelltelegraphen eine außerordentliche. Fig. 5 zeigt, daß selbst 2000 Worte in der Minute mit größter Deutlichkeit telegraphiert werden können. Als Sender wird hierbei irgend einer der üblichen Schnelltelegraphen benutzt.

Auch für die drahtlose Telegraphie dürfte der vorliegende Schreiber von größter Bedeutung sein, da er wohl das empfindlichste Relais darstellt, das augenblicklich existiert. Bei der Tele-

<sup>1)</sup> Man führt sie auf die Morseschrift in der gewöhnlichen Strich-Punktform zurück, indem man die untere Hälfte abdeckt.

graphie mit Draht wird dieser Umstand zu wesentlichen Ersparnissen an den Kupferquerschnitten der Leitungen führen.

2. Die Anwendung im Fernsprechwesen schließt sich der in der Telegraphie ebenso an, wie der Bellsche Hörer dem Morseschreiber. An Stelle des bewegten Schreibhebels tritt eine Membran, wie dies in Fig. 6 dargestellt ist. Sie kann nach Stoff und Form sehr verschieden sein. Eine laute und von Nebengeräuschen ziemlich freie Wiedergabe von Musik und Sprache erhält man, wenn als Membran der Resonanzboden einer Geige oder Mandoline etc. benutzt wird. Schwierig ist es, für die Betätigung dieser Lautsprecher geeignete Mikrophone zu finden, da die Nebengeräusche der üblichen Mikrophone zwar bei der üblichen leisen Wiedergabe nur wenig, hier aber stark auffallen.

Bemerkenswert ist, daß auch bei diesen Lautsprechern die erforderliche Stromstärke nur etwa ein Zehntausendstel Ampere beträgt. Die Spannung läßt sich, ähnlich wie dies auch jetzt im Fernsprechbetriebe üblich ist, durch Transformatoren oder besser durch eine Verstärkerlampe auf den gewünschten Betrag bringen.

Aus alledem erhellt, daß durch den J.R.-Effekt ein neues Prinzip für alle die Anwendungen

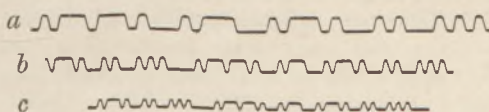


Fig. 5.

Morsestreifen auf etwa  $\frac{1}{2}$  verkleinert.

- a = 400 Buchstaben in der Minute.
- b = 1200 " " " "
- c = 2000 " " " "

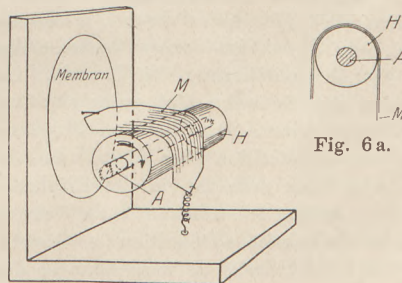


Fig. 6 a.

Fig. 6.

des elektrischen Stromes gefunden ist, bei denen es sich um „Auslösungen“ handelt; und dahin gehört ja im besonderen alle Nachrichtenübermittlung. Hier dürfte dem alten Elektromagnet ein scharfer Konkurrent erwachsen sein. Sp.

## Neu erschienene Bücher und Schriften.

**Die Idee der Relativitätstheorie.** Von H. THIRRING, a. o. Prof. an d. Univ. Wien. Berlin, J. Springer, 1921. 170 S. Geb. M. 24,—.

Die Absicht des Verf. ist, durch eine klare und durchsichtige Darstellung dessen, was der Physiker zur Einsteinschen Theorie zu sagen hat, den Boden für die philosophische Diskussion der berührten Grundfragen zu ebnet. Die flüssig geschriebene Arbeit, der man überall die Überzeugung von der Richtigkeit der Einsteinschen Formulierungen anmerkt, vermeidet daher die Mathematik und sucht — etwa auf dem Wege, wie ihn Kirchberger eingeschlagen hat — das Verständnis für die Relativitätstheorie zu wecken. Um dem Laien eine Vorstellung von der Winzigkeit der auftretenden Effekte zu machen, gibt Th. meist Zahlenbeispiele für die Formeln der Theorie, die der Leser allerdings auf Treu und Glauben hinnehmen muß, da die Formeln selbst nicht vorkommen. Eine am Schluß angefügte Tabelle zeigt, wo hypothetische und wo logische Schlüsse im Aufbau der Theorie eine Rolle spielen, was Erfahrungsgrundlage ist und was nachher experimentell bestätigt wurde. Zu wünschen wäre wohl eine Figur zum Michelsonschen Versuch, da der Laie sich aus der Beschreibung allein kaum ein zutreffendes Bild machen kann. — Sonst aber erscheint der Zweck des Buches wohl erreicht, wenn der Verf. auch an vielen Stellen bei allgemeinen Bemerkungen die positivistische Einstellung Einsteins schon deutlich hervortreten läßt. Man kann diese neue Einführung nur empfehlen. S.

**Raum und Zeit im Lichte der speziellen Relativitätstheorie.** Von Dr. CL. v. HORVATH, Priv.-Doz. a. d. Univ. Kasan. Berlin, J. Springer, 1921. 58 Seiten. Geb. M. 12,—.

Das Heft gibt keine neue Darstellung der R.Th., sein Zweck ist der synthetische Aufbau, eine Art Axiomatisierung der Theorie. Leitend ist dabei der Gedanke, daß jeder physikalische Begriff erst einen Sinn für den Physiker hat, wenn seine Definition eine Methode enthält, mit deren Hilfe man ihn in der Erfahrung der Messung zugänglich machen kann (man denke etwa an die bekannte Definition der Gleichzeitigkeit bei Einstein!). Es wird dann so das Koordinatensystem, das Zeitintervall, die Länge zunächst für relative Ruhe eingeführt, dann auf bewegte Systeme erweitert und gezeigt, daß die Relativität der Meßergebnisse zu erwarten ist. Die Relativitätstheorie, die gewisse Erfahrungstatsachen hinzuzieht, erweist sich als mathematisch-physikalische Bestätigung dieser Erwartung. Damit verliert sie viel von ihrem scheinbar so revolutionären Charakter: ihre Mittel sind die

jeder anderen physikalischen Theorie, und ihre Ergebnisse enthalten auch keine Widersprüche, wenn man ihren Sinn, vor allem das benutzte Bezugssystem, angibt. H. weist in diesem Zusammenhang auf Kants Lehre hin, nach der Raum und Zeit Formen unserer Anschauung seien, faßt aber den Begriff der Anschauung reinpsychologisch auf und betont mehr das „unserer“ als die „Form“. Das entspricht der empiristischen Stellungnahme des Verf., der in der Unveränderlichkeit (Starrheit) der Maßstäbe kein Problem, sondern eine notwendige Annahme sieht (S. 11). [Vgl. hierzu Dingler, Physik und Hypothese]. Das Heft wird die philosophische Diskussion fördern, da wichtige Leitgedanken Einsteins gerade durch die gewählte Art der Darstellung scharf hervortreten. S.

**Valenzkräfte und Röntgenspektren.** Von W. KOSSEL. Zwei Aufsätze über das Elektronengebäude des Atoms. 70 S. mit 11 Abb. Jul. Springer, Berlin 1921. M. 12,—.

Die beiden in diesem Buch enthaltenen Aufsätze sind zuerst für die „Naturwissenschaften“ geschrieben und dort 1919 und 1920 erschienen; sie sind aber hier durch Abbildungen und Zusätze erweitert. Im ersten wird die physikalische Natur der Valenzkräfte in populärer, doch wissenschaftlicher Form behandelt, während der zweite die Bedeutung der Röntgenstrahlen für die Erforschung des Atombaus auseinandersetzt, beides Themen, die heute unsere hervorragendsten Physiker beschäftigen. Jedem Physiker und auch den Chemikern sei die Lektüre dieser Arbeiten sehr warm empfohlen. Jeder wird Gewinn daraus ziehen; mag er sich den neuen Theorien über den Atombau gegenüber auch noch so ablehnend verhalten, er wird die Erfolge und damit den Wert dieser Theorien nicht mehr leugnen können. A. Wenzel.

**Abhandlungen über den Atombau aus den Jahren 1913—1916.** Von N. BOHR. Autor. deutsche Übersetzung mit einem Geleitwort von N. Bohr von H. Stintzing. 155 S. Braunschweig, Fr. Vieweg u. Sohn, 1921, geh. M. 20,—.

Eine Übersetzung der Arbeiten N. Bohrs rechtfertigt sich von selbst. Sind sie doch für die Ausgestaltung der Atomtheorie von grundlegender Bedeutung geworden. Sie setzen allerdings einige Vertrautheit mit dem Stoff voraus, so wie man sie sich z. B. durch das Studium des Buches von Sommerfeld „Atombau und Spektrallinien“ erwerben kann. Wiedergegeben werden hier folgende Abhandlungen: Über Konstitution von Atomen und Molekülen; die Spektren von Wasserstoff und Helium; Atommodelle und X-Strahlenspektren; über den Einfluß elek-

trischer und magnetischer Felder auf Spektrallinien; über das Serienspektrum des Wasserstoffs und die Struktur des Atoms; die Spektren von Wasserstoff und Helium; über die Quantentheorie der Strahlung und die Struktur des Atoms; die Anwendung der Quantentheorie auf periodische Systeme. Die letzte Arbeit war bisher unveröffentlicht; 1916 sollte sie im *Phil. Mag.* erscheinen, wurde jedoch wieder zurückgezogen. Durch ihre Veröffentlichung an dieser Stelle gewinnt das Buch auch für den Kenner an Interesse. Es mag jedem zum Studium empfohlen sein, der über einige Kenntnisse aus der theoretischen Physik verfügt.

A. Wenzel.

**Das physikalische Weltbild.** Von M. v. LAUE, Prof. der theoretischen Physik an der Universität Berlin. Karlsruhe i. B., C. F. Müllersche Hofbuchhandlung, 1921. 25 S. M. 4,80.

Dieser auf der Kieler Herbstwoche 1921 gehaltene Vortrag gibt aus der Feder eines Meisters der Forschung eine willkommene Übersicht über den heutigen Stand der Wissenschaft, das Erregene sowohl als das noch Unausgeglichene. Das Bemerkenswerteste ist wohl, daß das Gesetz von der Erhaltung der Masse in dem Gesetz von der Erhaltung der Energie aufgegangen und damit die Vereinheitlichung des Weltbildes außerordentlich gefördert ist. Hervorgehoben sei die Zahlangabe, daß die einem Gramm Masse entsprechende Energie in Wärme umgewandelt hinreichen würde, um mehr als 200 000 cbm Wasser von 0° auf 100° C zu erwärmen. Auch die heutige Atomenlehre, von der eine eingehendere Darstellung gegeben wird, hat zu einer längst gesuchten Vereinheitlichung bezüglich des Aufbaues der Materie aus Urbestandteilen geführt. Von den hiermit gewonnenen neuen Einsichten glaubt der Verfasser, daß sie den Wandel der Zeiten und der Anschauungen überdauern werden. P.

**Theorie der Wechselströme.** Von Dr.-Ing. ALFRED FRAENCKEL. 2. erweiterte und verbesserte Auflage. Mit 237 Textfiguren. 352 S. Berlin, Julius Springer, 1921. Geb. M. 63,—.

Die moderne Behandlung der Wechselströme unterscheidet sich dadurch ganz wesentlich von der früheren, daß sie vorwiegend mit graphischen Methoden arbeitet, hinter denen die analytischen für die praktische Anwendung zurücktreten. Der Einführung in diese Methoden ist daher eines der einleitenden Kapitel gewidmet. Zur Behandlung kommen dann Schaltung und Zusammensetzung von Stromkreisen, mehrwellige Ströme und Mehrphasenströme, Stromkreise mit gegenseitiger Induktion und mit Eisen, Leitungen mit verteilter Selbstinduktion und Kapazität, Ausgleichsvorgänge in quasistationären und in nichtstationären Stromkreisen. Anwendungen auf einfachste technische Probleme sind eingefügt. Das

Buch wurde bei dem letzten Berliner Ferienkursus von einem hervorragenden Fachmann, G.-R. Orlich, als besonders geeignet zur Einführung in das Gebiet empfohlen. P.

**Elektromagnetische Schwingungen und Wellen.** Von Dr. JOSEF GEITLER, o. Professor a. d. Universität Graz. 2. verm. Aufl. mit 113 Abbildungen. 218 S. (Die Wissenschaft, Bd. 6.) Braunschweig, Friedrich Vieweg u. Sohn, 1921. M. 30,—, geb. M. 38,—.

Die erste Auflage der Schrift erschien 1905, das Erscheinen dieser zweiten ist durch den Krieg und insbesondere die Rumänisierung der Universität Czernowitz lange verzögert worden. Die wichtigsten seither gemachten Fortschritte sind in die Darstellung einbezogen worden, die sonach ein treues Bild der Entwicklung bis zu den Röhrendern hin gibt. (Der Verf. macht übrigens darauf aufmerksam, daß die Verwendung der Gitterelektrode auf rein wissenschaftlichen Arbeiten von Lenard fußt, der sich ihrer bei seinen Arbeiten über langsame Kathodenstrahlen bedient hat.) Die theoretischen Grundlagen des Gebiets werden mehr angedeutet als entwickelt, die experimentelle und die praktische Seite jedoch eingehend behandelt. Das Buch kann jedem empfohlen werden, der ein klares Bild des geschichtlichen Werdeganges dieses Zweiges der angewandten Wissenschaft zu gewinnen wünscht.

P.

**Physikalisch-chemische Übungen.** Von Prof. Dr. W. A. RORH, Braunschweig. 3. verm. u. verb. Aufl. Mit 75 Abb. Leipzig, L. Voß, 1921. VIII u. 278 S. Geb. M. 30,—.

Das schnelle Erscheinen der neuen Auflage des in dieser Zeitschrift wiederholt gewürdigten Buches beweist, welchen Anklang die zweite, fast ganz neu bearbeitete Ausgabe gefunden hat. Der Text der letzteren wurde fast unverändert übernommen, nur mit einigen Zusätzen und Verbesserungen versehen, erhielt jedoch eine wesentliche Vermehrung durch Berücksichtigung der Kolloidchemie (S. 254/275), wobei die von dem Kolloidchemiker H. Freundlich für das Braunschweiger Institut ausgearbeitete Anleitung mit herangezogen werden durfte. In dem Kapitel „Wanderung der Kolloide“ konnte wohl auch der bei den Kolloidchemikern vielfach übliche Begriff der Kataphorese mit einfließen, schon um den ganz ohne Membran oder sonstiges Diaphragma stattfindenden elektrischen Transport der Teilchen von der Elektrosmose zu unterscheiden, zu der im Buche als Beispiel die elektrische Entwässerung des Torfes erwähnt wird. In dem neuen, mit zahlreichen Übungen durchsetzten Abschnitt sind die Beziehungen dieses modernen Gebietes der Chemie zu den benachbarten Gebieten mit besonderer Sorgfalt herausgearbeitet.

Gerade diese Hinzufügung wird mit dazu beitragen, der neuen Ausgabe den verdienten schnellen Eingang zu verschaffen.

O. Ohmann.

**Übungsbeispiele aus der unorganischen Experimentalchemie.** Von HEINRICH BILTZ und WILHELM BILTZ. Mit 26 Figg. 3. u. 4. Aufl. Leipzig, W. Engelmann, 1920. 242 S.

Ein eigenartiges wertvolles Buch, an welchem Interesse zu nehmen, die Mittelschulmethodik alle Ursache hat; nicht, weil von den zahlreichen klar herausgearbeiteten Versuchen sich auch einige für das Schülerpraktikum eignen, oder weil es bei den Versuchen mehrfach von Mineralien ausgeht, oder weil es so willkommene genaue Einzelheiten der Versuchsanordnungen gibt, sondern wegen der Stoffanordnung im allgemeinen. Es verläßt die übliche Systematik und verwendet als wesentliches Einteilungsprinzip die Verbindungstypen, also die Oxyde (nachdem die Elemente vorangegangen sind), die Sulfide, die Halogenverbindungen usw. Die Verfasser berufen sich hierbei, obwohl sie durchaus selbständig vorgehen, auf die Stoffanordnung, die W. Ramsay dem II. Teile seiner „Modernen Chemie“ zugrundegelegt hat und die in ihrer Bedeutung für die Mittelschulmethodik hier eingehend dargelegt wurde (*ds. Zeit.-chr.* 19, 322; 29, 224), sowie auf die Einteilung in den Berichten von A. Werner und P. Pfeiffer (für das R. Meyersche Jahrbuch d. Chemie), wie auch in A. Werners Arbeit „Neuere Anschauungen usw.“ Auf diese bedeutsamen Zusammenhänge wird hier noch zurückzukommen sein. Das Buch berücksichtigt auch fernerliegende theoretisch interessante Dinge, wie die Kobaltammoniakverbindungen und die reizvolle Landoaltsche Zeitreaktion. Bei Herstellung von Natriumamalgam (S. 20) ist es instruktiver, zuerst nicht zu erwärmen, sondern das erste Na-Stückchen auf eine Stricknadel zu spießen und unter dem Hg schwach gegen die Glaswand zu reiben; auch ist am Schluß, nach Erhärten und Erkalten der Masse, das Zerschlagen des Probierglases nicht erforderlich. Für die Neuauflage sei empfohlen -superoxyd in -peroxyd zu kürzen. Das beachtenswerte Buch ist eine erhebliche Bereicherung der Literatur des akademischen Praktikums.

O. Ohmann.

**Quantitative Analyse unorganischer Substanzen.** Von HEINRICH BILTZ. Mit 8 Abb. 8. bis 10. Aufl. Berlin, Leipzig 1920. Verein wiss. Verl. 64 S.

Diese kurz gefaßte „Analyse“ ist ganz auf das Praktische eingestellt. Sie leitet dazu an, möglichst einfach und schnell zu verfahren, länger währende Operationen nicht für sich abzuwarten, sondern neben anderen in Betrieb zu nehmen, die Mengen möglichst zu beschränken usw. Allenthalben treten solche zweckmäßige Gesichtspunkte

hervor. Wer in den chemischen Schülerübungen die Analyse nicht ganz auslassen möchte, wird in dem Buche manche Anregung und willkommene Fingerzeige finden.

O.

**Praktikum und Repetitorium der quantitativen Analyse.** III. Teil: Elektroanalyse. BREITENSTEINS Repetitorien Nr. 37 c. Mit 27 Abb. Leipzig 1920. J. A. Barth. 96 S. M. 10,80, geb. 12,75.

Das Buch ist eine erste Einführung in die immer mehr Boden gewinnende Elektroanalyse und gibt zunächst in einem „Theoretischen Teile“ die wichtigsten elektrochemischen Begriffe und Gesetze ziemlich ausführlich und sehr anschaulich, an der Hand instruktiver Figuren, was auch für den „Methodischen Teil“ gilt, in dem die Zurüstung u. a. behandelt wird. Die sog. Wasserelektrolyse ist jedoch unvollkommen dargestellt (S. 27). Die Elektroanalyse wird in fünf Vorübungen, zwanzig Metall- und einigen Anionen-Bestimmungen exakt durchgeführt. Das Buch ist seinem Zwecke sehr gut angepaßt. Ob der Herausgeber der umfangreichen Sammlung auch der Verfasser dieses Heftes ist, läßt sich nicht erkennen.

O.

**Beiträge zum geologischen und mineralogischen Unterricht.** Heft 3 der „Mitteilungen der Preußischen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht“. Abhandlungen von FISCHER, HUCKE, SCHNEIDER, REIN, URBAHN, SCHULZ, BÖTTGER. Mit 12 Abb. Leipzig 1919, Quelle & Meyer. 92 S.

Die vorliegenden geologischen Aufsätze stehen in enger Beziehung zu dem bekannten Geologie-Erfaß (1918). H. FISCHER weist darin auf die Schwierigkeiten hin, die der geologischen Betätigung in der Schule entgegenstehen und gibt Fingerzeige für die Gestaltung naturwissenschaftlicher Ausflüge. K. HUCKE zeigt, in welcher Weise auf den Ausflügen Beobachtungen aus der dynamischen und historischen Geologie zu verknüpfen sind, und wünscht, daß den Ausflügen auch eine heimatkundliche Wendung gegeben werde. O. SCHNEIDER, von der Preußischen Geologischen Landesanstalt, behandelt ausführlich seine auf Veranlassung der Hauptstelle unternommenen Lehrausflüge in die nähere Umgebung Berlins und weiterhin bis Senftenberg, Staßfurt, Boberkatzbachgebirge. Die zwölf auf besonderen Tafeln beigegebenen Naturansichten bilden eine anschauliche Stütze der interessanten sachlichen Darbietungen, deren Wert durch eine genauere Literaturübersicht noch wesentlich erhöht wird. Die Ausführungen und Vorschläge von R. REIN bilden eine willkommene Ergänzung zu den vorhergehenden Aufsätzen; sie geben u. a. eine genauere, bis in die einzelnen Klassenstufen durchgeführte „Verteilung geologischen Lehrstoffs auf die Nach-

barwissenschaften“ (Erdkunde, Naturkunde, Chemie). Der Aufsatz von P. URBAHN behandelt dieselben Fragen vom Standpunkt des Erdkunde-Unterrichtes aus und stellt, ebenfalls für alle Klassen, das Übungsmaterial für die Ausflüge zusammen. Der Beitrag von K. SCHULZ und

H. BÖTTGER behandelt „die Fortbildung des Lehrers in der Mineralogie“.

Insgesamt bieten die Aufsätze reiche Belehrungen und Anregungen hinsichtlich aller den geologischen Unterricht betreffenden Fragen.

O.

## Vereine und Versammlungen.

### Wiener Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichtes. Schuljahr 1920—21.

#### a) Sitzungen:

9. Okt. 1920: Univ.-Prof. Hofrat Dr. Ernst Lecher sprach über Beugungserscheinungen in optischen Instrumenten.

16. Okt. 1920: Schulrat Prof. Friedrich Brandstätter zeigte einige neue, den gegenwärtigen Zeit- und Preisverhältnissen angepaßte chemische Schulversuche. Sie werden nebst anderen Versuchen in dem demnächst bei A. Pichlers Witwe & Sohn erscheinenden Buche Brandstätters über „Chemische Schulversuche“ (einige auch in ds. Zeitschr.) veröffentlicht werden.

23. Okt. 1920: Univ.-Assistentin Dr. Else Norst berichtete über Rutherford's und Aston's Arbeiten über die Konstitution der Atomkerne.

30. Okt. 1920: Univ.-Assistent Dr. Leopold Richtera erläuterte verschiedene Anschlußmöglichkeiten von Schwachstromanlagen an Starkstromleitungen.

15. Jan. 1921: Dr. Josef N. Dörr, Sekretär der Wiener Wetterwarte, sprach über den wetterkundlichen Unterricht an Mittel- und Bürgerschulen.

22. Jan. 1921: Prof. Dr. Rudolf Beranek hielt einen Experimentalvortrag über die Ostwaldsche Farbentheorie. Im Anschluß daran sprach Zeichenprofessor O. Rainer unter Vorweisung zahlreicher Schülerarbeiten über die Wechselbeziehungen zwischen Musik- und Farbenharmonien.

29. Jan. 1921: Hofrat Dr. J. Sahulka, Prof. am Wiener Elektrotechnischen Institut, demonstrierte Neuerungen auf dem Gebiete der elektrischen Beleuchtung.

5. Febr. 1921: Technik-Prof. Dr. Hugo Strache sprach über Kohlenwirtschaft.

24. Febr. 1921: Fachlehrer Hans Kellermann zeigte selbsthergestellte Lehrmittel für den elementaren physikalischen Unterricht.

5. März 1921: Fachlehrer Franz Mollik führte den chemischen Zellgleichrichter von Kremenetzky und dessen Verwendung bei Schulversuchen vor.

13. März 1921: Fachlehrer Leopold Waldherr zeigte selbsthergestellte Lehrmittel und deren Verwertung im Unterricht.

16. März 1921: Fachlehrer Adolf Fabich wies Ergebnisse physikalischer Schülerübungen vor und gab Aufschluß über deren Herstellung.

6. April 1921: Anlässlich des Geburtstags des Regierungsrates Konrad Kraus, Vorführung von Schulversuchen mit einfachsten Mitteln und selbsthergestellten Apparaten durch die Vereinsmitglieder: Deisinger, Kellermann, Mollik, Müllner, Straschak und Wohlrab.

16. April 1921: Univ.-Prof. Dr. Stefan Jelinek sprach über die Gefahren der Elektrizität und die Organisation der Verhütungs- und Rettungsmaßnahmen. Im Anschlusse an den Vortrag zeigte Prof. Jelinek das von ihm geschaffene Museum für gerichtliche Medizin, Abteilung für elektrische Unfälle.

7. Mai 1921: Prof. Dr. Karl Ippisch sprach über die Quantenbahnen der Elektronen in ihrer Abhängigkeit vom zugrundegelegten Kraftgesetze.

#### b) Besichtigungen:

25. Febr. 1921: Physikaaleinrichtung und physikal.-chem. Lehrmittelsammlung der Knabenbürgerschule 2, Sterneckplatz 1 (Kustos Franz Mollik).

27. Febr. 1921: Physikaaleinrichtung und physikal.-chem. Lehrmittelsammlung der Knabenbürgerschule 12, Hetzendorferstraße 66 (Kustos Leopold Waldherr).

2. und 11. März 1921: Physikaaleinrichtung und physikal.-chem. Lehrmittelsammlung der Knabenbürgerschule 3, Hörnesgasse 12 (Kustos Hans Kellermann).

6. März 1921: Physikal.-chem. Lehrmittelsammlung der Knabenbürgerschule 18, Schopenhauerstraße 79 (Kustos Adolf Fabich).

16. März 1921: Schülerarbeiten-Ausstellung am Landes-Lehrer-Seminar 1, Hegelgasse 12 (Prof. Karl Müllner).

5. Mai 1921: Ateliers der Sascha-Filmindustrie A. G. Wien 19.

6. Mai 1921: Straßenbahnhof und Straßenbahn-Trieb- und Beiwageneinrichtung.

9. und 13. Mai 1921: Reichswetterwarte Wien, 19.

23. Mai 1921: Zentrale Simmering der Wiener städtischen Elektrizitäts-Werke.

25. Mai 1921: Unterstation Alsergrund der städtischen Elektrizitäts-Werke. Karl Müllner.

## Zur astronomischen Tafel für 1922.

Von M. Koppe.

1. Der Zyklus der Frühlingsvollmonde wiederholt sich alle 19 Jahre in folgender Art (M = März, A = April)

1900	01	02	03	04	1905	06	07	08	09	1910
A 14	A 3	M 23	A 11	M 31	A 19*	A 8	M 28	A 16	A 5	M 25
1911	12	13	14	15	1916	17	18	(19)		
A 13	A 2	M 22	A 10	M 30	A 18*	A 7	M 27	(A 15?)		

Das Datum nimmt jedes Jahr um 11 Tage ab oder um 19 Tage zu. Der Stern \* bedeutet, daß für die Osterbestimmung (s. unten Nr. 5) der Vollmond 1 Tag früher angesetzt wird. Die übrigen Vollmonde folgen in Abständen von abwechselnd 29 und 30 Tagen auf den Frühlingsvollmond.

2. Die Finsternisse. Es ereignen sich zwei Sonnenfinsternisse, keine Mondfinsternis. Von jenen ist die erste in Berlin sichtbar. Die Zeiten für die 3 Hauptpunkte mit zugefügten Sonnenörter sind

Anfang (a)	Größe Phase = 0,25	Ende (e)
März 18; 14 <sup>h</sup> 32 <sup>m</sup> MEZ	15 <sup>h</sup> 28 <sup>m</sup>	16 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>
Höhe 37°		26°
◉ Azimut 28°		57°

Wird tangential zum Himmelsgewölbe in jedem Zeitpunkt durch den Mittelpunkt der Sonnenscheibe eine wagerechte und eine dazu

senkrechte Achse gelegt, so zeigt Fig. 1 den Weg des Mondmittelpunktes gegen dieses Achsen-system. Es ergibt sich eine Kurve von sehr geringer Krümmung. Zeichnet man für mehrere Zeiten die Lage der Mondscheibe, so erhält man die Gestalten der verfinsterten Sonne. Sie sind

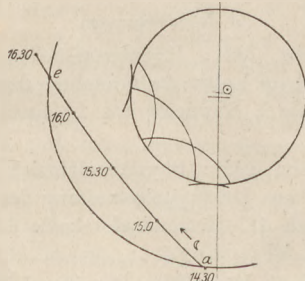


Fig. 1.

senkrechte Achse gelegt, so zeigt Fig. 1 den Weg des Mondmittelpunktes gegen dieses Achsen-system. Es ergibt sich eine Kurve von sehr geringer Krümmung. Zeichnet man für mehrere Zeiten die Lage der Mondscheibe, so erhält man die Gestalten der verfinsterten Sonne. Sie sind

### 3. Elemente der Planetenbahnen und des Mondlaufs. Aspekte.

Helio-zentrisch	Mittlere Länge 1922 Jan. 0 0 <sup>h</sup>	Änderung der mittleren Länge in		Möglicher Fehler	Radius der Bahn
		365 <sup>d</sup>	366 <sup>d</sup>		
Merkur	298,21°	4 <sup>n</sup> 53,72°	4 <sup>n</sup> 57,81°	23°	0,39
Venus	255,33°	1 <sup>n</sup> 224,79°	1 <sup>n</sup> 226,39°	1°	0,72
Erde	98,83°	359,76°	1 <sup>n</sup> 0,75°	2°	1,00
Mars	184,37°	191,29°	191,81°	11°	1,52
Jupiter	185,95°	30,34°	30,43°	6°	5,20
Saturn	175,72°	12,23°	12,26°	6°	9,54
Uranus	338,68°	4,30°	4,31°	5°	19,2
Neptun	133,38°	2,20°	2,20°	1°	30,1

	Trop. Monat M <sub>1</sub>	Drachenmonat M <sub>2</sub>	Anomalist. Monat M <sub>3</sub>
Dauer . . .	27,322	27,212	27,555
Epoche 1921	Okt. 14,93	Okt. 2,63	Okt. 25,70

<sup>1)</sup> Diese Zeitschr. 25, 278; 1912.

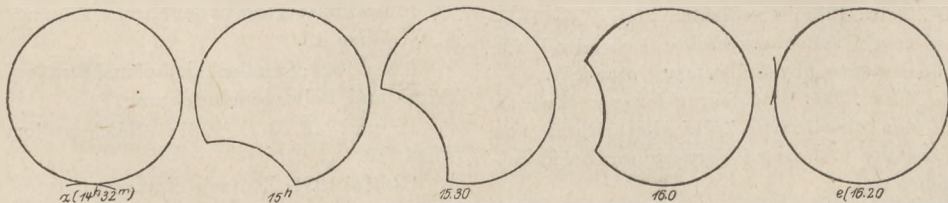


Fig. 2.

Aspekte. Kulmination nach Ortszeit.							
♀	Ob. Konj. II 8	östl. Elong. IX 15	Gr. Glanz X 20	Stillstand XI 4	unt. Konj. XI 24 rückläufig	Stillst. XII 14	Gr. Glanz XII 30
♂	Quadratur II 19	Stillst. V 8	Opposition VI 10 rückläufig	Stillst. VII 17	Quadratur X 4		
	Kulmin. 6h		0h		18h		
♃	Quadr. I 8	Stillst. II 4	Oppos. IV 4 rückläufig	Stillst. VI 6	Quadr. VII 2	Konj. X 23	
	Kulmin. 6h		0h		18h	12h	
♄		Stillst. I 17	Oppos. III 25 rückläufig	Stillst. VI 4	Quadr. VI 24	Konj. X 4	
	Kulmin.		0h		18h	12h	

**4. Sichtbarkeit der Venus.**

Venus ist als Abendstern von März 15 bis Okt. 27 sichtbar, wird dann auf einige Zeit, nämlich n Tage, unsichtbar und erscheint als Morgenstern von Dez. 2 ab. Für die letzten Erscheinungen des 8jährigen Zyklus ist

1916 Juli	1918 Febr.	1919 Sept.	1921 Apr.	1922 Nov.
n = 27	0	43	0	36

Die tägliche Sichtbarkeit zur Zeit des größten Glanzes wechselt sehr, sie beträgt in Stunden:

	1914	1916	1918
Abendstern <sup>1)</sup>	Okt. 29; 0,2	Juni 1; 2,3	Jan. 9; 2,9 St.
Morgenstern	Dez. 31; 3,0	Aug. 3; 1,5	Mz. 11; 1,3 St.
	1919	1921	1922
Abendstern	Aug. 9; 0,0	Mz. 16; 3,6	Okt. 21; 0,1 St.
Morgenstern	Okt. 20; 3,2	Mai 28; 0,4	Dez. 31; 2,7 St.

Nach 8 Jahren kehren angenähert dieselben Zeitangaben wieder, z. B. 1922 nahezu wie 1914.

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

<sup>1)</sup> Im vorigen Jahrg. S. 45 ist die Angabe über 1914 hiernach zu berichtigen.

	St ☉	Mo ☾	Di ♂	Mi ♀	Do ♃	Fr ♀	Sb ♃
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 unserem Jahrhundert nach je 28 Jahren. Im Jahre 1922 fällt der Frühlingsvollmond, wie 19 Jahre früher, nach Nr. 1 auf April 11. Der Wochentag von April 1 ist Sonnabend. Daher sind Sonntage April 2; 9; 16. Mithin fällt Ostern auf den ersten Sonntag nach Frühlingsvollmond, also April 16.

**6. Die Himmelserscheinungen am Schluß** jedes Heftes beziehen sich auf den Meridian von Stargard mit bürgerlicher Stundenzählung von 0h (= Mitternacht) bis 24h. Liegt ein Ort von Stargard aus n Grad nach Westen, so ist die Größe Δ (Differenz der Sternzeit und mittleren Sonnenzeit) um <sup>2</sup>/<sub>3</sub> n Sek. zu vergrößern.

M. Koppe.

**Korrespondenz.**

In der Woche nach Ostern soll von 18. bis 22. April eine „pädagogische Woche“ in Hamburg stattfinden, deren Mittelpunkt der Arbeitsschulgedanke bilden wird. Aus diesem Anlaß wird die Oberrealschule a. d. Uhlenhorst alle ihre großenteils von Grimsehl herrührenden physikalischen Versuchsanordnungen gebrauchsfertig aufstellen und anordnen, so wie sie auf der Unter- und Oberstufe verwendet zu werden pflegen. Ähnlich wird gezeigt werden, wie auch in der Chemie, Biologie, Mathematik und Erdkunde die praktische Arbeit der Schüler in den Dienst des Unterrichts gestellt wird.

**Astronomische Tafel für 1922.** Die Sonderausgabe der Tafel erscheint wiederum ohne begleitenden Text und wird, mit Umschlag versehen, zum Preise von 3 M. geliefert.

Die diesjährige Hauptversammlung des Vereins zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts findet in Bonn vom 10. bis 12. April statt. Näheres bringen die Unterrichtsblätter für Mathematik und Naturwissenschaften Nr. 2.

## Himmelserscheinungen im März und April 1922.

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

MEZ 0h	März							April						
	1	6	11	16	21	26	31	5	10	15	20	25	30	
♃ {	AR	21h 13m	21.22	21.39	22.0	22.24	22.50	23.18	23.48	0.20	0.53	1.30	2.8	2.49
	D	- 14°	- 15	- 15	- 14	- 12	- 10	- 7	- 4	0	+ 4	8	13	17
♀ {	AR	23h 5m	23.28	23.51	0.14	0.36	0.59	1.22	1.45	2.8	2.32	2.56	3.21	3.46
	D	- 7°	- 5	- 2	0	3	5	8	10	12	15	17	18	20
☉ {	AR	22h 45m	23.3	23.22	23.40	23.58	0.17	0.35	0.53	1.11	1.30	1.48	2.7	2.26
	D	- 8,0°	- 6,1	- 4,1	- 2,2	- 0,2	1,8	3,8	5,7	7,6	9,4	11,2	12,8	14,4
♂ {	AR	16h 13m	16.23	16.33	16.42	16.51	16.59	17.7	17.14	17.21	17.26	17.31	17.35	17.38
	D	- 20°	- 21	- 21	- 22	- 22	- 22	- 22	- 23	- 23	- 23	- 23	- 24	- 24
♃ {	AR	13h 8m		13.5		13.2		12.57		12.52		12.47		12.43
	D	- 6°		- 5		- 5		- 4		- 4		- 3		- 3
♃ {	AR	12h 26m				12.21				12.15				12.11
	D	0°				0				1				2

Δ = Sternzeit - mittl. ☉ Zeit für Stargard, Zeitgl. = mittl. ☉ Zeit - wahre Sonnenzeit.

Zeitgl.	22h	22.	23.	23.	23.	0.	0.	0.	1.	1.	1.	2.	2.
	31m 54s	51.37	11.20	31.2	50.45	10.28	30.11	49.54	9.36	29.19	49.2	8.45	28.27
	12m 42s	11.40	10.27	9.4	7.37	6.7	4.35	3.5	1.40	0.19	- 0.51	- 1.53	- 2.42

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

☉ Aufg.	6h 48m	6.37	6.25	6.14	6.3	5.51	5.39	5.27	5.15	5.4	4.53	4.42	4.32
	17h 38m	17.47	17.56	18.4	18.13	18.22	18.31	18.40	18.49	18.57	19.6	19.15	19.24

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

März	☾ Aufgang	3d 20h 55m	9. 0.59	14. 7.42	19.13.33	24.16.35	29.18.31
	☾ Untergang	4d 11h 52m	9.16.26	14.19. 8	19.22.26	25. 3.22	30. 8.42
April	☾ Aufgang	3d 21h 43m	9. 3.48	14.10.19	19.14.10	24.16. 9	29.18.49
	☾ Untergang	4d 13h 36m	9.16.34	14.19.28	20. 0.10	25. 5.26	30.10.43

Mondphasen MEZ	Neumond		Erstes Viertel		Vollmond		Letztes Viertel	
		März 28d 14h 3m	April 5. 6. 46	März 6d 20h 22m	April 11.21.44	März 13.12.14	April 20. 9.43	März 20. 9.43
		April 27d 6h 4m	Mai 4. 13. 56					

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	2,8d	5,3	7,6	9,7	11,7	13,7	15,7	17,8	20,1	22,5	25,1	27,6
März	30,1d	1,5	3,8	6,0	8,1	10,2	12,2	14,2	16,5	18,8	21,3	23,9
April	26,4d	28,8	1,1									

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

☿ unsichtbar.	Tag	♀ Abendstern	♂ (Sp)	♀ (Jungfrau)		♃ (Jungfrau)	
		nachm.	vorm. nachm.	nachm.	vorm.	nachm.	vorm.
A = Aufgang	März 1	(März 15, 6,8 <sup>h</sup> )	A 1,5 v D <sub>m</sub> 5,6	A 9,0	D <sub>m</sub> 5,7	A 7,8	D <sub>m</sub> 5,6
U = Untergang	21	D <sub>a</sub> 6,9 <sup>h</sup> U 7,1	A 1,0 v D <sub>m</sub> 4,9	A 7,5	D <sub>m</sub> 5,0	D <sub>a</sub> 7,4	D <sub>m</sub> 4,9
D <sub>a</sub> = Abenddämmerung	Apr. 10	D <sub>a</sub> 7,5 <sup>h</sup> U 8,2	A 0,3 v D <sub>m</sub> 4,0	D <sub>a</sub> 7,9	D <sub>m</sub> 4,1	D <sub>a</sub> 8,0	D <sub>m</sub> 4,0
D <sub>m</sub> = Morgendämmerung.	30	D <sub>a</sub> 8,2 <sup>h</sup> U 9,3	A 11,4 n D <sub>m</sub> 3,1	D <sub>a</sub> 8,6	D <sub>m</sub> 3,3	D <sub>a</sub> 8,8	D <sub>m</sub> 3,1

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

März 5, 9h 0m EI	März 21, 9.11 EII	April 10, 8.41 AIII
März 5, 10h 28m EIII	März 28, 9. 8 EI	April 13, 9.36 AI
März 12, 10h 53m EI	April 4, 10. 2 EI	April 15, 8.56 AII.

Frühlingsanfang März 21; 11h MEZ. — Sonnenfinsternis. Vgl. oben S. 46. *M. Koppe.*

Nachdruck nur mit Quellenangabe und mit Genehmigung der Verlagsbandlung gestattet.



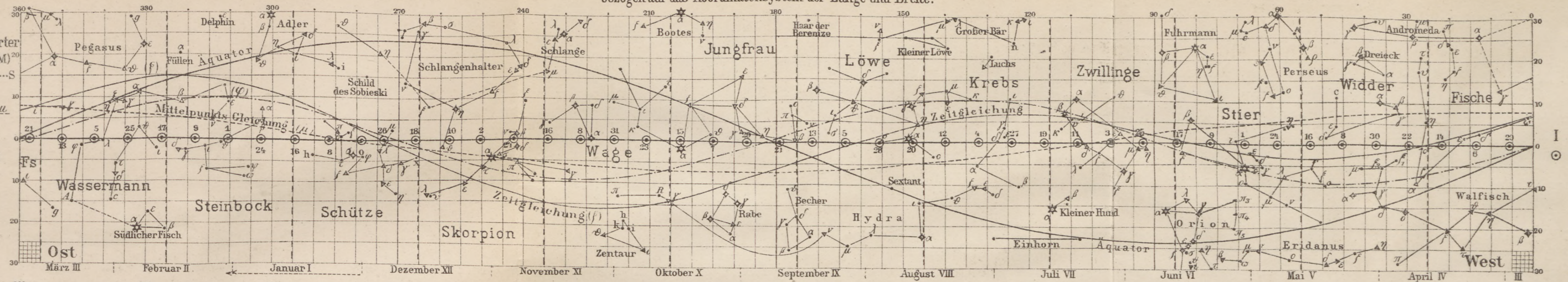
# Die Bahnen der beweglichen Gestirne im Jahre 1922

bezogen auf das Koordinatensystem der Länge und Breite.

I. Tierkreisgürtel und Örter der mittleren Sonne (M)<sup>20</sup>  
Länge der wahren Sonne...S

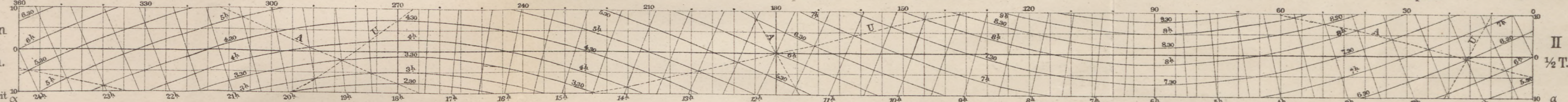
Mittelpunkts-Gleichung S-M =  $\mu$   
 $M-F = \varphi$   
( $\mu$  und  $\varphi$  in 4-fachem Maßstab)  
Zeitgleichung (in Min)  $\mu + \varphi = f$   
(Abstand 8 Tage)

Sterngrößen  
★ + ▲ \*  
1 2 3 4

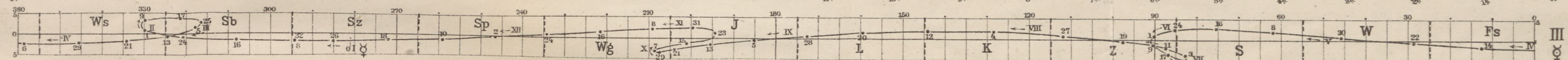


II. Halbe Tagesbogen für die Polhöhe von Berlin. 1/2 T.

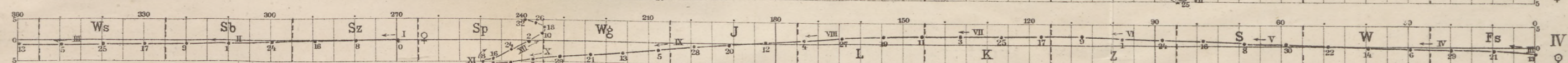
Kulmination nach Sternzeit



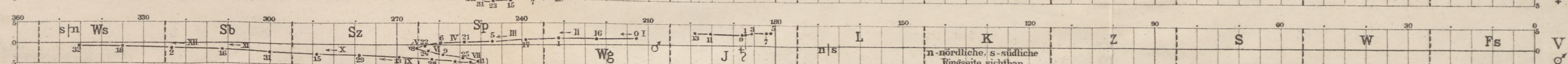
III. Merkur ♀ (Abstand 8 Tage)



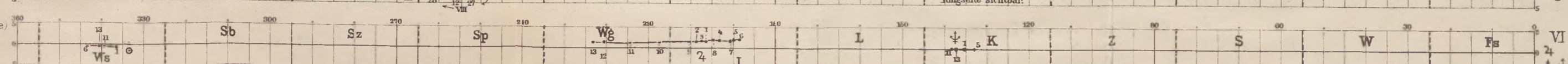
IV. Venus ♀ (8 Tage)



V. Mars ♂ (16 Tage)  
Saturn ♄ (64 Tage)

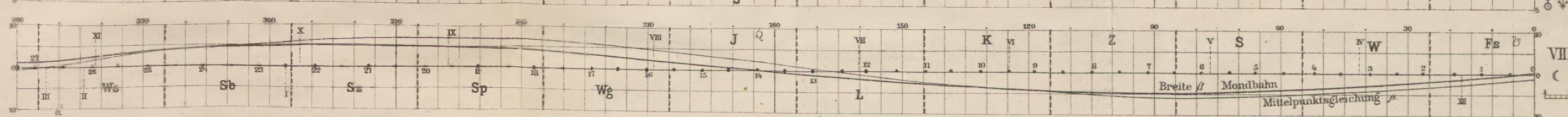


VI. Jupiter ♃ (32 Tage)  
Uranus ♅  
Neptun ♆

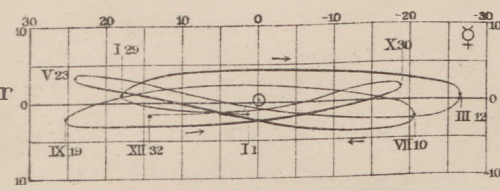


VII. Mond ☾

Cin II: Febr. 0  
in V: Mai 0  
Eine Tagreise



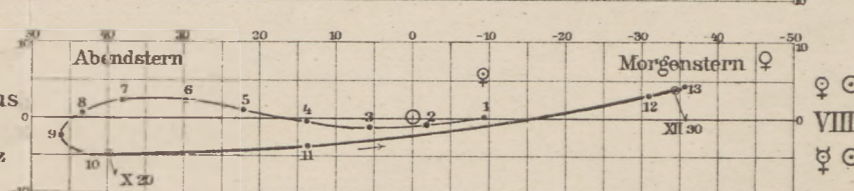
VIII<sup>a</sup> Stand des Merkur zur Sonne



Abkürzungen für  
♃, ♄, ♅, ♆, ♁, ♀, ☾, ☉

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

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



IX. Kalender der Finsternisse

☉ Neumond, ☉ Vollmond

☉ Sonne im Knoten der Mondbahn

p-partiell  
t-total  
r-ringförmig

