

Die physikalischen Übungen am Sophienrealgymnasium zu Berlin¹⁾.

Von

P. Johannesson.

Die hier beschriebenen Übungen besitzen die Eigenart, sich der Persönlichkeit des Schülers möglichst anzupassen. Bisher sind sie auf Primaner und Obersekundaner beschränkt geblieben. Die Beteiligung ist durchaus freiwillig. Bei den Messungen, die Ostern 1896 begannen, arbeitete jeder Teilnehmer im Durchschnitt wöchentlich eine Stunde, genauer in jeder dritten Woche einen dreistündigen Nachmittag. Dabei folgte ich dem Grundsatz, von den einfachsten Versuchen abzusehen und selbst vor den schwierigsten nicht zurückzuschrecken; wollen doch unsere Übungen nicht der Vorbereitung auf den gemeinschaftlichen Klassenunterricht der Schüler, sondern der Einübung und Vertiefung des Gelernten dienen und noch dem Begabtesten eine Höhe bieten, deren Erklommung ihn mit Stolz erfüllt. So beginnen zwar unsere Schüler mit der Handhabung des Kraftmessers, der Schublehre und des Spiegelmaßes, mit Dichtebestimmungen und verhältnismäßig einfachen thermometrischen und galvanometrischen Beobachtungen, in der Optik mit der Auffindung von Brennweiten und Brechungszahlen, in der Akustik mit der Messung von Tonhöhen und Wellenlängen; doch kommen sie auch an ein Normalmeter, das bei uns an Stelle des Kathetometers tritt, und an die chemische Wage; sie arbeiten mit hochgradigen und Normalthermometern, um schwierige Schmelzpunkte, spezifische, Schmelz- und Verdampfungswärmen aufzufinden; sie handhaben das Voltmeter, das Spiegelgalvanometer und das Quadrantenelektrometer; sie messen die Fallbeschleunigung nach dem Bordaschen Verfahren und Zeitsrecken mit dem Hipschen Chronoskop; sie enden beim Spiegelsextanten und dem Spektrometer, welche 10- und 30-Sekundenablesungen gestatten. Dabei entscheidet nicht, daß, sondern wie eine Aufgabe erledigt ist; kann ja doch eine einfache Längenmessung mit sauberster Beobachtungskunst, dagegen eine Spektrometerbestimmung als Pfuscherarbeit ausgeführt werden. Daher gilt bei uns eine Aufgabe erst dann als gelöst, wenn das Ergebnis jenes Maß von Genauigkeit aufweist, welches die verwendete Vorrichtung gestattet. Jeder Schüler soll sich eben bei uns insofern als junger Forscher fühlen, als er für die Schärfe seiner Beobachtungen einzustehen hat; deshalb führt er seine Messung im allgemeinen mehrfach, gewöhnlich 5- oder 10 mal durch, um den Mittelwert seiner Beobachtungen als seine Leistung anzugeben. Ist die geforderte Genauigkeit dann nicht erreicht, so muß die ganze Messungsreihe wiederholt werden. Ein kurzer Bericht über die Beobachtungen und über deren rechnerische Verwertung ist in ein Beobachtungsheft einzutragen.

Da an einer Aufgabe stets nur ein Schüler tätig ist und Anfänger in praktischer Arbeit viel Anleitung gebrauchen, so muß die Zahl der gleichzeitig Arbeitenden nach

¹⁾ Der oben stehende Aufsatz ist eine verkürzte, durch eine Abbildung ergänzte Wiedergabe des Artikels, der unter der Aufschrift „Physikalische Schülerübungen“ im Jahrgang 1910 der „Monatsschrift für höhere Schulen“ veröffentlicht worden ist. Herrn Wirkl. Geh. Oberregierungsrat Dr. A. Matthias danke ich für die gütigst erteilte Erlaubnis zum Neudruck, dem Herausgeber dieser Zeitschrift für die freundliche Aufforderung dazu.

den gemachten Erfahrungen etwa sieben betragen. Weniger Schüler beschäftigen den Lehrer nicht ganz und entbehren zugleich der Anregung, die eine größere Zahl Gleichstrebender aufeinander auszuüben pflegt; wächst die Teilnehmerzahl auf neun oder gar zwölf und mehr, wie wir dies oft gehabt haben, so reicht die Anleitung nur eines Lehrers nicht hin, um Stauungen in der Arbeit und damit Augenblicke der Langenweile gerade bei den am schnellsten Vorwärtstrebenden zu verhüten. Damit die Zeit mit theoretischen Aufklärungen nicht verloren geht, werden die zu bearbeitenden Aufgaben eines Halbjahrs, etwa ein Dutzend, aus dem Lehrinhalt des zuletzt verflorenen Semesters entnommen und am ersten Arbeitsnachmittag den Schülern mit der Weisung mitgeteilt, die erforderlichen Vorstellungen und Gesetze sich gegenwärtig zu halten. Die Rücksicht auf die begrenzte Zahl der vorhandenen Geräte fordert, daß zu einem Arbeitsnachmittag Schüler von verschiedenen Arbeitsgebieten vereinigt werden; daher arbeiten Angehörige der beiden Primen mit Obersekundanern zugleich und wirken nebenher durch ihre schwierigeren Aufgaben anregend auf diese.

Die benutzten Geräte sind die gleichen, die auch im Klassenunterricht verwendet werden. Die anfänglich gehegte Befürchtung, daß die Zerstörungen der Ungeübten die Sammlung in kurzer Zeit verwüsten und also dem Verwalter die Bürde der Instandhaltung unerträglich machen würden, hat sich nicht bestätigt; sind doch an kostbareren Apparaten bisher nur einige Normalthermometer zerbrochen worden; zudem leitet mich die Überzeugung, daß eine Vorrichtung besser von den ungeschickten Händen eines Strebsamen verdorben als unbenutzt gelassen wird.

Der obige Bericht läßt erkennen, daß bei uns die physikalischen Schülermessungen im wesentlichen der Form nachgebildet sind, welche die Hochschulübungen der Anfänger innehalten. Zwar liegt es nicht in der Absicht dieser Zeilen, für die gewählte Lehrform die psychologischen Gründe zu entwickeln; mit Rücksicht auf die Tatsache indessen, daß unter dem Einfluß amerikanischer Neuerungen das beschriebene Lehrverfahren nicht selten als veraltet gebrandmarkt wird, mögen allgemeinere Erwägungen wenigstens gestreift werden. Gemeinhin wird den physikalischen Schülerübungen die Wirkung beigemessen, die Sinne der Arbeitenden zu bilden; und da diese Wirkung allen Schülern zugute kommen müsse, so seien die Übungen als verbindlich anzusetzen. Ferner ist die Meinung verbreitet, daß die physikalischen Gesetze den Schülern nicht mitgeteilt, sondern von letzteren gefunden werden müßten; daher sei es erforderlich, die Übungen dem Klassenunterricht vorauszuschicken. Beiden Anschauungen jedoch widerspricht meine Unterrichtserfahrung. Diese hat mich erkennen lassen, daß selbst durch mehrjährige Übungen der erwähnten Art die Beobachtungsfähigkeit der Jugend nicht nennenswert verändert wird. Zwar können einige Handgriffe der praktischen Physik gelernt und geläufig gemacht werden, aber die Schärfe der Auffassung wird dadurch nicht umgebildet; es zeigt sich eben, daß der praktisch Begabte von der ersten Stunde an den Anforderungen gewachsen ist, während dem praktisch Unbegabten noch in der letzten Stunde die Umsicht fehlt; dabei sind es häufig gerade die besten Theoretiker, die in der Betätigung von Hand und Auge durchaus versagen. Vielmehr meine ich: Wer der Jugend die Auffassung körperlicher Formen schärfen will, bedient sich statt der physikalischen Übungen erfolgreicher des Zeichenunterrichts. Aber auch, daß ein Durchschnittsschüler physikalische Gesetze findet, erscheint mir völlig ausgeschlossen; kein sokratisches Verfahren vermag das Vorrecht des großen Geistes umzustößen. Wohl kann man durch passende Veranstaltungen in dem Schüler die Selbsttäuschung erwecken, er habe eine alte Wahrheit neu gefunden; aber über das Wachsen der Wahrheit und damit über das Wesen der Forschung und zugleich über seine Befähigung wird man ihn dabei hintergangen haben. Weil danach ich weder eine Ausbildung der Sinne in den Schülermessungen anstrebe, noch auch die Jugend physikalische Gesetze finden lassen will, sondern nur jedem Teilnehmer die Gelegenheit zur Selbstprüfung und zur Ver-

tiefung seines Wissens geben möchte, so dürfen bei uns die Übungen wahlfrei bleiben und dem Klassenunterrichte folgen. Erst wenn unsre Messungen dadurch in Bankrott geraten, daß die freiwillige Beteiligung der Schüler nachläßt oder aufhört, würde ich genötigt sein, die bisher geübte Lehrform umzuwandeln.

Eins freilich muß, soll der Jugend die Lust an der Sache erhalten bleiben, wie bei jedem Unterricht, so auch bei den physikalischen Übungen verhütet werden, nämlich die Versteinerung, und gerade dieser Gefahr sind die fest gefügten unterrichtlichen „Methoden“ vor allem ausgesetzt. Daher habe ich frühzeitig und regelmäßig für Zuführung frischen Bluts gesorgt. Als eine der ersten Neuerungen wurden Vermessungen im Felde ausgeführt. Der Kostenaufwand, den die Ausrüstung erforderte, war nur gering; enthielt unsre Sammlung doch bereits einen Repetitions-theodoliten, dessen Horizontalkreis halbe, dessen Vertikalkreis ganze Minuten anzeigt, so daß nur noch Fluchtstäbe, eine vier Meter hohe Nivellierlatte und ein dreißig Meter langes Meßband aus Stahl zu beschaffen waren. Die ersten Vorversuche machte ich vor Jahren mit vier, oft auch mit sechs Untersekundanern während der Sommerferien. Zunächst wurden einfachere Höhen- und Längenmessungen auf dem Schul- und Turnhofe unsrer Anstalt, und zwar nach wechselnden Methoden, ausgeführt. Dann ging es hinaus auf die Plätze Berlins und ins freie Gelände. So haben wir die Breite der Spree an der Nationalgalerie und zwischen Stralau und Treptow wie auch die Breite des Tegeler Sees gemessen. Die Benutzung des Vertikalkreises wurde an den Höhen verschiedener Kirchen geübt; doch auch bei schwierigeren Aufgaben, bei den umfangreichen Vermessungen der St. Hedwigs-Kirche, der Siegessäule und des Doms, sind die Schüler nicht erlahmt. Dabei wichen die von zwei Standpunkten aus gewonnenen Ergebnisse voneinander um Beträge ab, die fast immer unter eins vom Tausend blieben.

Die Frage, ob trigonometrische Messungen sich zu Schülerübungen eignen, möchte ich nicht unbedingt bejahen. Wer gern mit den jungen Leuten ins Freie zieht und sich beim gemeinsamen Frühstück mit ihnen der getanen Arbeit freut, wer selbst voll froher Erwartung an eine Messung wie in einen Feldzug geht, zunächst noch ungewiß, wo und wie am geschicktesten der Angriff zu unternehmen ist, und wer es freudig fühlt, daß seine Spannung die jüngeren Mitarbeiter auch gefangen nimmt, der wird aus trigonometrischen Schülerübungen Befriedigung und das Bewußtsein schöpfen, daß er seinen Zöglingen genützt, sie nämlich die Schwierigkeiten und die Lust der Meßkunst hat empfinden lassen. Wer aber seinen Unterricht nicht gern von den Launen des Wetters abhängig macht, wen es verdriest, daß er das Großstadtpublikum der Straße wieder und immer wieder mit freundlichster Geduld ermahnen muß, die Messung durch wohl- oder übelwollende Anteilnahme nicht zu stören, wer den Arger über die mathematische und rechnerische Ungeschicklichkeit der Schüler nicht unter einem Lächeln zu verbergen weiß, der spare die Kosten für die Unternehmung. Als Bedingung des Gelingens ist jedenfalls die Teilnehmerzahl auf vier zu beschränken; auch muß von vornherein auf die große, für die Sache erforderliche Geduld verwiesen werden; denn genaue Winkelleinstellungen und -ablesungen, die unter den Schülern wechseln, rauben Zeit und dem müßigen Zuschauer, wenn er *invita Minerva*, nämlich ohne innere Erwartung des erstrebten Ziels, zur Teilnahme sich entschlossen hat, die Laune.

Einer besonderen Beliebtheit erfreuen sich bei den Schülern unsere photographischen Übungen. Ich möchte sagen, mit Unrecht; denn meine Sachkenntnis ist nur die eines Liebhabers, so daß ich eine fachmännische Anleitung nicht geben kann. Daher habe ich die Übungen verschieden gestaltet, je nachdem die gleichfalls auf vier beschränkten Teilnehmer unkundig oder vorgeschritten waren. Die Anfänger

machen sich zunächst mit der Einrichtung und der Handhabung unsrer sehr schönen Kamera vertraut. Dann folgen Aufnahmen von Häusern, Bäumen, Denkmälern, Apparaten, Gruppen und schließlich einzelnen Personen. Dabei wird jeder Gegenstand zunächst in drei verschiedenen Belichtungszeiten aufgenommen; auch werden gewöhnliche, farbenempfindliche und Isolarplatten benutzt und die Verwendung der Gelbscheibe geübt. Als Entwickler benutzen wir Glyzin, selbst bei den langsamen Momentaufnahmen. Um mißlungene Platten zu verbessern, werden mehrere Verfahren der Verstärkung und der Abschwächung angewendet; auch flecken wir die Fehlstellen aus und wagen uns an leichtere Retuschen. Die Positive fertigen wir auf Zelloidin- und Bromsilberpapier, doch auch als Diapositive. Das Beschneiden, Aufkleben und Satinieren der Kopien bildet den Beschluß.

Die Übungen der Fortgeschrittenen, von Schülern nämlich, die nicht selten bereits eine vieljährige Praxis hinter sich und ausgezeichnete Leistungen aufzuweisen haben, verfolgen ein anderes Ziel. Die photographische Technik einschließlich der wichtigeren Regeln, deren Befolgung die Ästhetik fordert, ist diesen jungen Leuten selbstverständlich. Ihre Schularbeit verfolgt das Ziel, die photographischen Hilfsmittel zu prüfen. So haben wir die Schärfen verschiedener Objektive miteinander verglichen und die Größen der noch verwendbaren Gesichtsfelder gefunden. Auch wurde die Zuverlässigkeit verschiedener Belichtungsmesser ermittelt. Ferner bestimmten wir die Empfindlichkeiten gewöhnlicher und farbenempfindlicher Platten, dazu den Lichtvernichtungsbruch der Gelbscheibe und zwar nicht nur für weißes Licht, sondern auch für die verschiedenen Spektralgebiete. Am wenigsten erfolgreich war unsre Prüfung der Momentverschlüsse. Um so mehr Freude hatten die Schüler von ihren Röntgenbildern, die wohlgelungene Hand-, Fuß- und Armaufnahmen zeigen.

Den beiden nur für den Sommer geeigneten Übungen, der trigonometrischen und der photographischen, stehen zwei Winterkurse gegenüber. Sie sind für Experimentalvorträge und die Durcharbeitung wichtiger Schriftwerke bestimmt. Es ist nicht jedermanns Sache, den Ablauf einer Messung geduldig zu erwarten. Wem diese Selbstlosigkeit nicht gegeben ist, wer vielmehr dazu neigt, sich und sein Licht leuchten zu lassen vor den Leuten, der findet dazu in den Demonstrationsvorträgen die Gelegenheit. Ich kann mir denken, daß mancher sittenstrenge Leser bei dem Gedanken die Stirn in Falten zieht, daß so die Eitelkeit der Jugend großgezogen wird; doch lege ich an das Handeln der Schüler nicht den höchsten Sittenmaßstab, sondern betrachte den von mir geübten Kunstgriff, die menschliche Selbstbespiegelung nämlich in den Dienst des physikalischen Unterrichts zu stellen, als unschuldiges Mittel, das im vorliegenden Falle durch den Zweck geheiligt wird. Das weitere Für und Wider zu erwägen, ist hier nicht der Ort; im übrigen gibt der unbewußte Trieb, sich in den Vordergrund zu schieben, nicht stets den Ausschlag; sogar sind manche Teilnehmer schüchterne Naturen, welche die Blicke der Zuhörer ertragen lernen und so ihrer unglückseligen Veranlagung entgegenwirken wollen. Ein kleiner Bruchteil folgt der Nebenabsicht, seine Begabung für den Lehrberuf zu prüfen.

Die Aufgabe jedes Teilnehmers ist, über irgendeinen Abschnitt der Physik vor etwa 40 Primanern und Obersekundanern kurz und zusammenhängend zu berichten und seinen Vortrag durch besonders eindrucksvolle Vorführungen zu würzen. Da am Ende des Berichts Fragen und Urteile der Zuhörer nicht nur zugelassen, sondern sogar herausgefordert werden und der Vortragende darauf die Antwort geben muß, so hat er sich auf sein Lehrgebiet sorgfältig einzurichten. Daher geht jedem Vortrage eine emsige Hausarbeit voraus, welche auf die Durchdringung des Behandelten, aber auch auf das Ziel gerichtet ist, die Darstellung durch geschichtliche Hinweise zu bereichern. Die Formgebung des Gesagten ist bei den einzelnen verschieden. Die einen lernen ihre Niederschrift und sind dann freilich Sklaven des Gelernten; die

andern treten mehr frei und unbefangen an den Rednertisch und lassen sich an der aufgeschriebenen Zergliederung ihres Lehrinhalts genügen, haben sie ja doch in den vorangehenden Proben ihren Beruf zum Stegreifredner prüfen können. Damit die Versuche ohne störende Pausen aufeinander folgen, leisten die Teilnehmer nach vorausbestimmtem Plan ihrem gerade vortragenden Genossen Vorbereitungshilfe und müssen also auch die Aufstellungen der Mitschüler beherrschen.

Was die Versuche anbelangt, so wiederholen diese zum Teil das im Klassenunterricht Gezeigte; die andern sind theaternäßig auf den Sinnenreiz berechnet. Ich liebe im Unterricht nicht die Sensation, sondern halte mich ledern, wie mancher sagen wird, an die wahrhaft beweisenden, nicht an die blendenden Versuche. Da aber die gleiche Beschränkung nicht allerwärts geübt wird, so empfinde ich gegen meine Schüler die Pflicht, sie etwas zu entschädigen. So geben wir uns denn bei den Vorträgen alle Mühe, uns den Zuhörern, die ja doch freiwillig den Nachmittag opfern, gefällig zu erweisen. Die Mitteilung einer Vortragsreihe wird dies erkennen lassen. Ich nehme, übrigens ganz willkürlich, ein Programm aus dem Winter 1906/07. Acht Schülern war die Aufgabe gestellt, durch einen insgesamt zwei-stündigen Vortrag ihre Hörer in die Lehren vom Galvani-Element, vom Magnetismus, der Wärme und dem Licht wiederholend einzuführen und so besonders den vor der Reifeprüfung Stehenden einen Rückblick über das einst Geschehene zu geben. Jeder Abschnitt war also zwei Schülern übertragen, deren jeder eine Viertelstunde zur Verfügung hatte. Die Aufzählung der 34 gezeigten Versuche hat freilich keinen Reiz²⁾; aber aus jeder Gruppe mag wenigstens an einem Beispiel die Art der Ausführung erläutert werden.

Ein Sensationsversuch oder schon mehr ein Schlager war aus der ersten Gruppe die Aufstellung, welche die Knallgasentwicklung durch Elektrolyse zeigte. Eine riesige Schweinsblase wurde gasdicht durch einen Kork verschlossen, welcher zwei Zuleitungsdrähte und ein Gaseinführungsrohr hindurchließ. Nachdem die Blase durch Knallgas aufgetrieben war, wurde sie an einer entfernten Stelle des Schulhofs aufgehängt und das Gas mit Hilfe einer besonders verlegten langen Leitung durch den Induktorfunken angezündet. Gewiß trägt solch Versuch zur physikalischen Bildung nicht bei; aber wie gelegentlich Scherze den Unterricht beleben, so hob auch unser Knalleffekt die Stimmung und steigerte sie zu hellstem Jubel, als die Bestürzung der erschreckten Umwohner sich zeigte. Die Vorführung des Elektromagnetismus in der zweiten Gruppe war lediglich eine Wiederholung der Unterrichtsversuche. Es wurde die Magnetkraft einer stromdurchflossenen Spule, die Erhöhung der Polstärke durch den Eisenkern, die Magnetisierung und Ummagnetisierung einer Stricknadel, die bedeutende Tragkraft, der remanente und der permanente Magnetismus unseres großen Elektromagneten vorgeführt. Aus der dritten Gruppe war es ein niedlicher Versuch, welcher die Wärmeausdehnung fester Körper zeigte. Ein Messingstab von etwa einem Meter Länge war einseitig an der dicken Eichenplatte des Vorlesungstisches festgeklemmt; dem andern Ende war ein Stricknadelstück mit angeklebtem Spiegel unterlegt, welcher das wirkliche, durch eine Sammellinse erzeugte Bild eines Nernststäbchens auf eine ferne Teilung warf. Wurde der Messingstab durch einen Bunsenbrenner nur mäßig angewärmt, so rollte sich das freie Ende auf der Nadel ab, und der Lichtzeiger schlug um fast zwei Meter aus. Die Empfindlichkeit dieses übrigens auch für genaue Messungen sehr geeigneten Verfahrens wurde besonders dadurch eindrucksvoll, daß der Lichtzeiger den winzigsten auf die Tischplatte ausgeübten Fingerdruck und damit die sonst für uns unmeßbar kleine Durchbiegung der Eichenplatte zeigte. Für den Versuch der vierten Gruppe, welcher den Gang der vom Brennpunkt einer Sammellinse herkommenden Strahlen liefern

²⁾ Sie sind in der Monatschr. f. h. Schulen angegeben.

sollte, wurde das Kondensatorsystem der Projektionslampe benutzt; die in der Achsenrichtung austretenden Strahlen wanderten fünfzig Meter weit in die Finsternis hinaus und beleuchteten scharf bis in die fernsten Tiefen auf dem Hofe unsrer und der Nachbarschule die wundervoll bereiften Zweige, und als sich noch der Schnee in großen Flocken durch die Strahlen senkte, entstand ein Anblick, der auch mein älteres Herz gefangen nahm.

Die in unsrer Sammlung nicht vorhandenen einfachen Zusammenstellungen, welche die Schüler für ihre Vortragsversuche nötig haben, werden von jenen eigenhändig angefertigt. Aber die Aufstellung des Programms mit allen seinen Einzelheiten gelingt den Teilnehmern entgegen meiner ursprünglichen Erwartung nicht. Das Maß für das Erreichbare fehlt ihnen ganz, und so bleibt ihre häufig nur allzu reiche Phantasie für unsere Zwecke unfruchtbar; dazu bedürfen sie für ihre experimentelle Vorbereitung der Anleitung so sehr, daß in Entwurf und Ausführung die Hauptlast auf dem Lehrer liegt. Auch hat hier mehr als bei den andern Übungen unsre Instrumentensammlung unter den Händen der Unerfahrenen gelitten, besonders in einem Fall, wo Quecksilber in die Luftpumpe floß und einen beträchtlich hohen Schaden (173 Mark) stiftete. Aber wenn dann nach vielfachen Proben die Vorträge und Vorführungen unter dem Beifall der Zuhörer glatt vonstatten gehen, so vergißt man leicht die nicht geringe Vorbereitungs mühe.

Die bisher beschriebenen Übungen vermitteln den Umgang mit physikalischen Geräten. Aber die Physik, und noch dazu die praktische, paßt nicht für jeden Kopf. So nahm ich darauf Bedacht, auch die einseitig für Sprachen und Literatur begabten Schüler einer vertieften Naturbetrachtung zuzuführen. Diesem Zwecke diente der schon erwähnte Lesezirkel. Um mit der Physik nicht aufdringlich zu sein und unvermerkt die Herzen der Teilnehmer zu gewinnen, wählte ich zum Gegenstand der Verhandlung sternkundliche Schriften, die ohnehin der Phantasie reichere Nahrung geben und mit den ewigen Fragen sich berühren, die so manchen jungen Zweifelgeist belasten. Als erste zu lesende Schrift hatte ich Kants Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels ausgesucht. Und diese Aussicht, Kant zu lesen, wirkte auf die jungen Literaturfreunde mit zündender Gewalt; spielte doch in ihrer dunklen Vorstellung der Name Kant die Rolle eines rätselhaften Geistesriesen, welcher der Weisheit letzten Schlüssel birgt. Aber wie immer, wo Flammen der Begeisterung lohnen, so blieb auch hier die Enttäuschung nicht aus. Obgleich ja doch Kants Schrift im ganzen volkstümlich gehalten ist und er offenbar der Sprache und Darstellung möglichste Sorgfalt zugewendet hat, so stürzte doch eine nicht geringe Zahl der jungen Himmelstürmer ab. Aber die Stärkeren, die, wo es nottat, durch den Satzbau sich hindurchkonstruierten wie durch eine fremde Sprache, die ferner hinreichende mathematische Spannkraft hatten, um die von Kant bloß mitgeteilten Resultate durch Rechnung zu begründen, oder schließlich durch die großen Fragen vom Weltursprung und Weltende und durch deren Beziehung zur Religion im Innersten getroffen waren, — sie hielten aus und offenbarten mir im Laufe unserer gemeinschaftlichen Arbeit ein reiches Innenleben. So habe ich manchen jungen Menschen, der mir im physikalischen Klassenunterricht den Eindruck eines unklar übereilten, schwachen Kopfes machte, als innerlich gestimmte, aber als solche tatkräftige Natur erkennen dürfen, die Fragen über Religion und Kunst und Menschen schicksal mit Ernst und Tiefe zu behandeln wußte.

Was aber hat solche literarische Übung mit Physik zu tun? Unmittelbar nur das eine, daß die Schulmechanik herangezogen wurde, Kants Weltbild nachzuprüfen; und als es gelang, einen Fehler in Kants Weltmechanik nachzuweisen, erweckte dies bei den Lesern Stolz und Freude; auch kann man die Benutzung des Fernrohrs, die wir bei klarem Himmel an die Lesestunde schlossen, die Vorführung der Mond-

gebirge, der Marsscheibe, der Venusphasen, der Jupitermonde und der Ringe des Saturn, einmal sogar des Merkur, einiger Doppelsterne, Sternhaufen und Nebelflecke als physikalische Belehrung gelten lassen; aber der Hauptgewinn floß dem Physikunterricht aus unserem Kränzchen auf einem Umweg zu. Die Mitglieder lernten die Bedeutung der Naturwissenschaften für die Fragen auch ihrer Anteilnahme kennen, und so wurde mancher durch physikalische Betrachtungen und Rechnungen gefesselt, der vordem, nur der Not gehorchend, Physik getrieben hatte. Dazu kam, daß bei unseren durch keine Regel eingegengten Redekämpfen die Herzen sich öffneten und die innersten Wünsche und Ziele jedes einzelnen sich geltend machen durften; so führten mir nach getaner Arbeit musikbegabte Schüler ihre Tonschöpfungen und Gesänge vor und sprachen sich frei über Kunst und Dichtung aus, wobei ich als Physiklehrer zwar die bescheidene Rolle eines jeder Überlegenheit entkleideten Mitunterredners spielte, aber durch augenfällige Zurückhaltung die Neigung zu jugendlich-vorschnellem Urteil sänftigte. Wenn irgendwer, so bin ich gesonnen, den Segen persönlicher Beziehung zwischen Lehrer und Schüler nicht zu überschätzen; aber in dem beschriebenen Falle entnahmen die beteiligten Schüler dem gewonnenen Anschluß ganz unverkennbar die innere Verpflichtung, meinen Ansprüchen im Klassenunterricht nach Kräften zu genügen; so kam es, daß Schüler, die sonst in der Physik unter genügend standen, fast gute Leistungen aufzuweisen hatten.

Um den sprachlich Begabten Anziehendes zu bieten, legte ich unserer Arbeit im nächsten Winter das letzte Buch der Exposition du système du monde von LAPLACE zugrunde, worin eine Geschichte der Astronomie gegeben und zum Schluß die Weltentstehungshypothese dargelegt wird. Da der Sonderdruck dieser Histoire de l'astronomie nicht mehr im Handel ist, so hatten wir erst Mühe, die Bücher zu beschaffen; doch wurde schließlich unser Bedarf durch einen Pariser Antiquar gedeckt. Es klingt ja sonderbar, aber es ist Tatsache, daß die äußerst glänzende Sprache des Franzosen den Schülern nicht merklich größere Mühe machte als Kants gedanklich überladene Perioden. Die Schwierigkeiten lagen fast einzig auf astronomischem Gebiet, lösten jedoch bei manchen einen staunenswerten Eifer aus, die Dunkelheiten aufzuhellen. Erleichtert wurde ihnen die Vorbereitung durch die mannigfachen sternkundlichen Volksbücher, die es gibt, doch auch durch die in ihrer Hand befindliche Astronomische Geographie von MARTUS. Da aber die Darstellung des LAPLACE nicht selten die Kulturgeschichte streift und Urteile über Menschenwerte ausspricht, so zogen die Schüler für ihre Erläuterung und Kritik auch Konversationslexika und Geschichtswerke zu Rate.

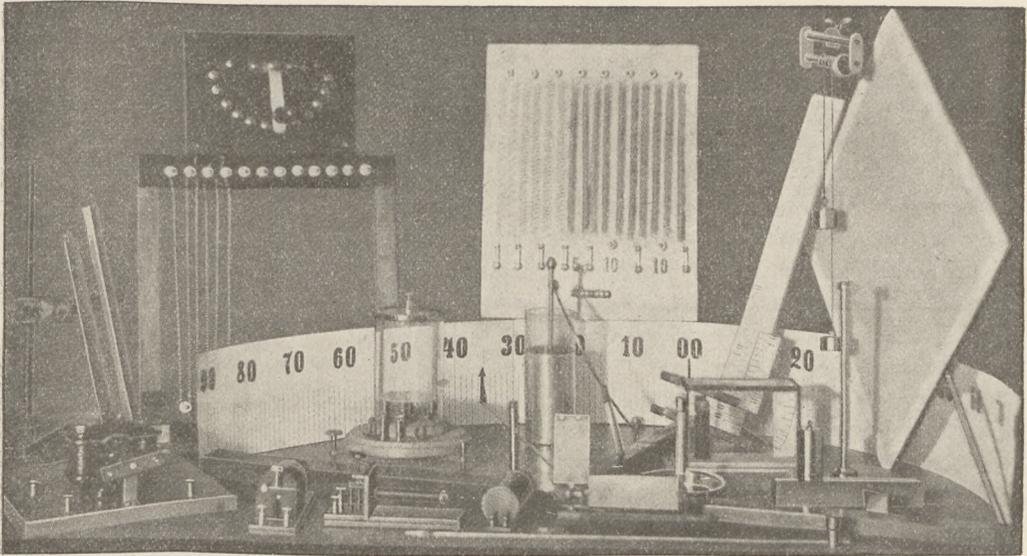
Im folgenden Winter knüpfte unsere Betrachtung an BREWSTERS Martyrs of science an. Auch hier war die Auflage vergriffen, so daß von den noch erhältlichen Abzügen nur einer auf je zwei oder drei Schüler kam. BREWSTER schildert in seinem Buch die Schicksale von Galilei, Tycho Brahe und Kepler mit anziehender Lebendigkeit; zugleich vertieft er sich in Neigungen, Naturanlagen und Gesinnung seiner Helden und wägt den Wert ihres Gelehrten-daseins ab. Diese begründende und zergliedernde Behandlung des Gegenstandes macht, daß trotz aller Biegsamkeit der Sprache die scharfe Erfassung ihres Inhalts bisweilen schwierig ist. Aber entsprechend der alten Erfahrung, wonach den rüstigen Kletterer die schwer zugänglichen Gipfel stets am meisten locken, so traten auch hier gelegentliche Leistungen zutage, die nur als glänzend zu bezeichnen sind. Manche Schüler unterzogen sich der zwar sehr großen Mühe, um bei dem zu liefernden Bericht die treffendsten Ausdrücke zur Hand zu haben, den ganzen jeweils vorliegenden Abschnitt (durchschnittlich 11 Druckseiten) zu Hause schriftlich zu verdeutschen; indessen die Formschönheit, die zumal ein besonders begabter Obersekundaner so erreichte, war einfach wundervoll. Man wird erwidern, daß solche Künste für den Physikunterricht

durchaus belanglos sind. Wer aber so spricht, der verkennt, scheint mir, die verschlungenen Pfade, auf welchen der wachsende Menscheng Geist ins Land der Wahrheit vordringt. Das Wort Luthers, wonach die Sprachen um des Evangeliums willen hervorgekommen sind, gilt auch für die Wissenschaften, auch für die Physik; kann doch eine schlagende Übersetzung nur aus der klaren Sachvorstellung folgen, so daß, wer jene sucht, zunächst um diese sich bemühen muß. Während sonst in der Physik die Sache vorangeht und die Sprachform schafft, diene hier zunächst der fremdsprachliche Ausdruck als Beweggrund, der Sache nachzuzrübeln. Es gibt eben im Unterricht keine alleinseligmachenden „Methoden“; zu finden, wo die Herzen offen sind, und auf die schlichte Pflichterfüllung kommt es an.

Was die äußere Einrichtung unseres Lesezirkels anlangt, so schloß sich die dafür angesetzte wöchentliche Stunde stets an die sonst vorhandenen Übungen an. In der ersten Stunde gab ich eine einleitende Betrachtung; danach meldeten sich für jede Zusammenkunft zwei Schüler, von welchen der eine den Haupt-, der andere den Ergänzungsbericht zu liefern hatte. Dabei waren die sorglich vorausbestimmten Abschnitte, über die in jeder Stunde zu berichten war, so zugeschnitten, daß der Winter zur restlosen Durcharbeitung des gewählten Werks genügte. Der Hauptbericht bestand entweder in der freien Inhaltswiedergabe oder bei den fremdsprachlichen Werken auch, falls der Berichtersteller solches vorzog, in der mehr oder minder wörtlichen Verdeutschung. Jedoch behielt ich mir in jedem Falle vor, besonders bei schwierigeren Stellen die sprachlich genaue Übertragung zu verlangen; und wenn auch die grammatische Erörterung und somit ein Hineinpfuschen in den Sprachunterricht grundsätzlich ausgeschlossen war, so machten doch gelegentliche Fragen für mich auch die sprachlich-formale Vorbereitung nötig, wobei mir etwaige Zweifel durch die zuständigen Amtsgenossen freundlichst behoben wurden. Der Ergänzungsberichtersteller hatte die sachlichen und geschichtlichen Aufklärungen zu geben und alle angreifbaren Punkte vor seinen Richterstuhl zu ziehen; an diese Kritik schloß sich ein Meinungs austausch. Nun könnte man einwenden, daß der so zugelassene jugendliche Streit selbst über die letzten Lebensfragen altkluges Schwätzer tum begünstige. Gewiß tritt es hervor; aber darin besteht eben die Aufgabe des Lehrers, die hartnäckigen Besserwisser mit den gediegenen Naturen in Gegensatz zu bringen und dadurch die Voreiligkeit ihrer Schlußweise empfinden zu lassen; und selbst auf die Eitelsten, die ihre Belesenheit gern auf den Scheffel stellen und bei der Rede eine Miene zeigen, als blickten sie verliebt in einen Spiegel, blieb es nicht ohne Eindruck, wenn ich meinen Gegen Gründen, nicht etwa ironisch, das bescheidene Gewand des Laienhaften gab; die Zuversichtlichkeit des jungen Reformators kam allemal zum Schweigen und wich nicht selten der sachgemäßen ungeschminkten Ehrlichkeit. Freilich ging es ohne gelegentliche Beschämungen besonders Voreiliger nicht ab; denen verging dann bisweilen die Lust an der Sache, und da die Beteiligung selbst an jeder einzelnen Stunde durchaus freiwillig war, so blieben sie allmählich zusamt den Schwachen fort, die obnehin im Wettkampf Lorbeeren nicht geerntet hatten. Die Folge war, daß regelmäßig gegen Ende des Winters die Teilnehmerzahl bis auf ein Drittel der Anfangsziffer sank und in einigen Stunden sogar den Tiefstand von vier erreichte. Aber die Güte der geleisteten Arbeit stieg entsprechend, waren die Dauerhaften ja doch die Ausgesiebten.

Noch von einer letzten Art der Übung wäre zu berichten. Es gibt Schüler, welchen die messende Physik und trigonometrische Aufnahmen zu mathematisch sind, denen auch das mehr leidende Abwarten der photographischen Entwicklungen nicht paßt; für Experimentalvorträge fehlt ihnen die schauspielerische Ader und alles Literarische, das Phantasievolle und rein Gedankliche, dazu der sprachliche Formsinn liegt ihnen himmelfern. Und doch sind sie darum nicht minderwertig;

vielmehr birgt noch mancher unter ihnen einen hebenswerten Schatz, die Gabe nämlich für praktisches Gestalten. Die Vorstellungen und Strebungen solches Menschen drängen dahin, daß er den Kampf mit dem mechanischen Widerstand der Stoffe aufnimmt und so auf dem Grunde fremder oder eigener Gedanken die handgreifliche Wirklichkeit erbaut. Im täglichen, sinnfälligen Schaffen ist er der Tüchtigste. Freilich sehen unsere Lesekränzler auf solche Schüler, die an unserer Werkstattarbeit sich beteiligen, nicht selten ein wenig mißachtend hinab; jenen beschwingten Geistern ist Hobeln, Sägen, Feilen, Schraubendrehen Sache des Handwerks und nicht achtenswert; sie ahnen eben nicht, welche eigentümlichen Seelenkräfte, welche bildnerisches Schauen, welche Anspannung des Willens und straffe Zügelung der Gedanken dazu nötig sind, um ein physikalisches Gerät — wohl-gemerkt nur eins in seiner Art, nicht dutzendweis — zu formen. Aber die jugendlichen „Handwerker“ werden durch solche Mißachtung nicht eingeschüchtert, sondern



sehen mit berechtigtem Stolz auf ihre Werke; nur verfallen auch sie in den Fehler ihrer Gegner, sofern sie nämlich lange Gedankenreihen, überhaupt jede Entfernung von der Wirklichkeit leicht für ein vorspiegelndes und deshalb windiges Gebaren halten. Ich bemühe mich nicht darum, diese gegeneinander kämpfenden Auffassungen zu versöhnen; vielmehr genügt mir, daß jeder die Eule des andern für seine Nachtigall erklärt; meine ich doch, daß lediglich die wachsende Erfahrung, nicht aber Aufklärung und Zureden das unbillige Urteil der jungen Leute ändern können.

Über die hier zu behandelnde Bestrebung habe ich mich bereits im Jahre 1909 in den Aufsätzen „Eine Schülerwerkstatt“ und „Über Handfertigkeitsunterricht an höheren Schulen“ in der Monatschrift für höhere Schulen ausgesprochen³⁾. So genüge denn an Stelle eines näheren Berichts die Abbildung der zwanzig Schülerarbeiten, die auf der Weltausstellung in Brüssel 1910 in dem Raum „Physikalische Schülerübungen“ vereinigt waren⁴⁾. Das Ehrendiplom, welches diese Arbeiten unserer Werkstatt eintrugen, war für die Hersteller eine nicht geringe Freude.

Über die Beteiligungsziffern und die genauere Zeitverteilung aller beschriebenen Übungen gibt die erste ausführlichere Darstellung Auskunft.

³⁾ Ein Bericht über den ersten dieser Aufsätze ist in dieser Zeitschr. 1909, S. 259 gegeben.

⁴⁾ Sie sind beschrieben in dem Katalog der „Deutschen Unterrichtsausstellung auf der Weltausstellung in Brüssel 1910“ (Berlin, Kommissionsverlag der Weidmannschen Buchhandlung, S. 61 ff.).

Ist es erforderlich, auf das Dargelegte zum Schluß zurückzublicken? Ich wüßte dem Gesagten doch nichts hinzuzufügen. Vor allem sei es ferne von mir, das geschilderte Verfahren der physikalischen Schülerübungen anzupreisen. Überhaupt will mir scheinen, als wenn im Unterricht der Stein der Weisen sich nicht finden läßt. Die beteiligten Persönlichkeiten, daneben äußere wie innere Umstände, die keiner allgemeinen Regel unterliegen, sondern allein durch das Zartgefühl des Lehrers richtig bewertet werden können, sind vielfach ausschlaggebend. So wirke denn ein jeder redlich, solange es Tag ist, in seiner Weise, und der unsichtbare Segen des Erziehungswerks wird ihm nicht fehlen.

Elektro-optische Aufnahme von physikalischen Vorgängen mit dem Oszillographen.

Von

Dr.-Ing. K. Fischer in Hamburg.

Der Oszillograph in der üblichen Form ist mit den Jahren mehr und mehr zu einem unentbehrlichen Werkzeug sowohl für wissenschaftliche Laboratorien als auch für die elektrotechnische Praxis geworden. Eine Reihe von Problemen der Wechselstromtechnik und auch solche über die Unterbrechung von Gleichströmen sind damit in bequemer Weise gelöst worden. Auch für den Unterricht wird der sinnreiche Apparat seit langem benutzt, allerdings wohl meist nur an den Hochschulen. Denn der Preis ist ziemlich bedeutend und dürfte die Anschaffung nur dann rechtfertigen, wenn es sich nicht um reinen Physikunterricht handelt, sondern um eine gründliche Einführung in die Elektrodynamik und besonders in die Wechselstromtechnik.

Im folgenden soll einerseits gezeigt werden, daß eine Reihe von Versuchen auch ausgeführt werden kann, wenn nicht der ganze Apparat mit dem üblichen Zubehör angeschafft wird. Bei den nachstehend zunächst beschriebenen Versuchen ist nur eine Meßschleife in der von Siemens & Halske ausgearbeiteten Form verwendet worden. Alle anderen Teile sind in jedem Physikkolaboratorium entweder vorhanden oder können mit Leichtigkeit von einem Mechaniker oder ev. von den Praktikanten angefertigt werden. Es soll ferner gezeigt werden, daß durch Anschaffung einer zweiten, besonders konstruierten Meßschleife eine Anzahl von weiteren Versuchen möglich ist, die dann die Anschaffung der Einrichtung um so eher rechtfertigen.

Es muß von vornherein bemerkt werden, daß die meisten der nachstehend beschriebenen Versuche nicht Anspruch erheben können auf Verwendbarkeit für wissenschaftliche Zwecke, sondern daß sie nur zu Demonstrationszwecken geeignet sind.

Die Meßschleife des Oszillographen besteht bekanntlich aus einem feinen Metallfaden, welcher über eine Rolle gespannt und so zurückgeleitet ist, daß die Hinleitung und die Rückleitung nur einen winzigen Abstand voneinander haben. Durch eine Feder, welche auf die Rolle wirkt, ist eine Anspannung des Fadens möglich, dessen beide Enden an zwei Metallkontakten befestigt sind. Die Ebene der Fäden geht parallel mit den Kraftlinien eines sehr starken magnetischen Feldes; sie dreht sich daher, wenn durch die Fäden ein Strom geleitet wird. Diese Drehung wird optisch kenntlich gemacht, nämlich dadurch, daß ein kleiner Spiegel auf die Metalldrähte aufgeklebt wird. Zur noch besseren Dämpfung wird das Ganze in Öl gesetzt. Schickt man beispielsweise einen Wechselstrom durch die Meßschleife, dann zeichnet der ausfallende Lichtstrahl einen hellen Strich auf einen vorgehaltenen Schirm auf. Zur Zerlegung dieses alle Momentanwerte enthaltenden Striches in eine Kurve mit der Zeit als Abszissenachse gibt es eine ganze Reihe von zum Teil sehr interessanten

Methoden, die aber alle den Nachteil haben, daß sie einen synchronen Wechselstrommotor benötigen, und daß sie hierdurch die Anschaffung des Apparates sehr verteuern.

Das störende Geräusch des Synchronmotors hat den Verfasser bewogen, ihn durch eine andere Einrichtung zu ersetzen, die besonders für Demonstrationen geeignet ist und weiter unten näher beschrieben werden soll. Für photographische Aufzeichnungen läßt sich ein Film benutzen, welcher von einem Uhrwerk mit konstanter Geschwindigkeit angetrieben wird. Da man mit der Entwicklung des Films aber warten muß, bis eine genügende Zahl von Aufnahmen gemacht ist, ist es vorteilhafter, eine photographische Platte zu benutzen, die mit gleichmäßiger Geschwindigkeit an dem ausfallenden Lichtstrahl vorbeibewegt wird. Um eine solche Bewegung zu erzielen, ist eine Fallmaschine ein recht geeignetes Mittel. Es ist selbstverständlich, daß der Raum sich dann gut gegen äußere Lichtstrahlen abschließen lassen muß.

An das eine Ende des Fadens wird eine Kasette befestigt und an das andere ein Gegengewicht, welches so groß gewählt wird, daß es nicht nur das Gewicht der Kasette, sondern auch das Gewicht einer eingelegten photographischen Platte aufhebt. Das Übergewicht wird darauf passend ausgewählt und die Abhebevorrichtung so eingestellt, daß das Übergewicht, kurz bevor die Platte dem ausfallenden Strahl gegenübertritt, abgehoben wird. Um seitliche Drehungen der Kasette zu verhindern, wurden Führungsleisten aus vierkantigen Messingstäben angebracht. Es ist zweckmäßig, die Maschine mit einem Schutzkasten zu umgeben und auf diese Weise Nebenstrahlen abzuhalten. Da das Lichtbild bei diesen Versuchen nur einmal seinen Weg über die Platte nimmt, ist es erforderlich, eine möglichst starke Lichtquelle zu nehmen, z. B. eine Gleichstrombogenlampe. Eine Wechselstrombogenlampe ist deswegen ausgeschlossen, weil ihr Licht während der in Betracht kommenden kurzen Zeit sich stark verändert. Will man z. B. mit dieser Einrichtung den zeitlichen Verlauf eines Wechselstromes aufzeichnen, dann gestaltet sich die Anordnung, wie folgt: Von der Wechselstrommaschine wird der Strom über einen Widerstand in die Schleife geschickt (Fig. 1). Diese sitzt in dem das magnetische Feld erzeugenden Eisenring, welcher mit Rücksicht auf die weiteren Versuche zweckmäßig nicht aus massivem Eisen, sondern aus aufgeschichteten Blechen zusammengesetzt und für den vorliegenden Fall mit Gleichstrom erregt wird. Alles übrige ist aus der Figur erkenntlich. In der Fig. 2 ist eine so gewonnene Kurve wiedergegeben. Wie ersichtlich, sind die Abstände der einzelnen Wellen gleichgroß, wodurch bewiesen ist, daß die Bewegung trotz der nicht zu vermeidenden Reibung eine genügend gleichförmige war. Zu bemerken ist, daß man auch leicht die Achse aufzeichnen kann. Zu dem Zweck läßt man die Platte ein zweites Mal vorübergehen, während der Stromkreis des Oszillographen geöffnet ist, und der Spiegel in der Ruhelage steht.

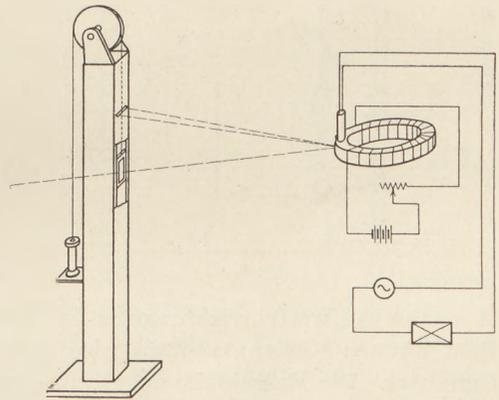


Fig. 1.

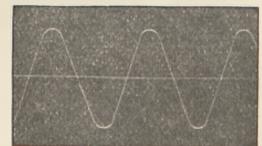


Fig. 2.

Die in Fig. 1 skizzierte Anordnung läßt sich benutzen, um manche Bewegungsvorgänge aufzuzeichnen. Das interessanteste Beispiel dafür dürfte die senkrechte Wurfbewegung sein. Es ist dazu erforderlich, einen Strom in der Meßschleife zu erzeugen, welcher proportional der zurückgelegten Weglänge ist. Einen solchen Strom gewinnt man, wenn man den steigenden oder fallenden Körper sich längs eines

Widerstandsdrahtes bewegen läßt, dessen Querschnitt möglichst gleichmäßig sein muß. Schickt man durch diesen Draht einen konstanten Strom, dann ist die Spannungsdifferenz zwischen dem Fallgewicht und dem einen Ende des Drahtes der Entfernung von diesem Ende proportional. Der benutzte Apparat ist in Abbildung 3 dargestellt. Ein Gasrohr wurde mit dem einen Ende an einem Holzfuß befestigt und oben und unten mit seitlichen Armen versehen. An diesen Armen wurden Hartgummistücke befestigt, die mit zwei parallelen Löchern durchbohrt wurden. Es wurden ein dünner Konstantandraht und ein dickerer Kupferdraht zwischen diesen beiden Armen ausgespannt und mit Klemmen oben und unten befestigt. Die mechanische Spannung dieser Drähte konnte mit Schrauben reguliert werden. Vorher waren diese beiden

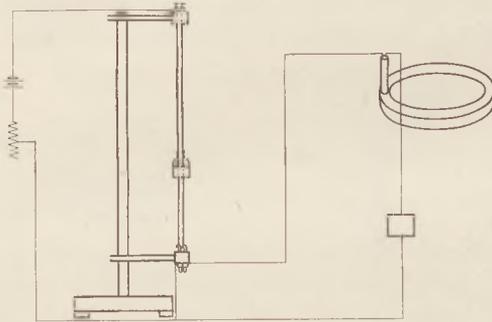


Fig. 3.

Drähte durch zwei entsprechende Löcher des Fallgewichtes gesteckt worden. Das letztere war noch mit zwei federnden Schleifbürsten versehen, um die Stromabnahme zu verbessern. Unten wurde noch ein Hebel angebracht, mit Hilfe dessen eine Feder gespannt werden konnte, die dem Fallgewicht den nötigen Stoß nach oben erteilte. Um die Reibung möglichst gering zu machen, wurden die Drähte sehr straff gespannt und mit Öl eingerieben. Die Schaltung ist in der Fig. 3 wiedergegeben.

Die Aufwerfvorrichtung ist im Interesse der Deutlichkeit nicht mitgezeichnet. Dem dünnen Konstantandraht wird oben und unten Gleichstrom von einer Batterie zugeführt. Die Meßschleife des Oszillographen ist über einen angemessenen Vorschaltwiderstand an das untere Ende dieses Drahtes einerseits und an den Kupferdraht andererseits angeschlossen. Sie liegt also im Nebenschluß zu dem Drahtabschnitt zwischen dem unteren Ende und dem Gewicht. Der Hauptstrom muß ziemlich beträchtlich gewählt werden, damit der Nebenschlußstrom, der ungefähr $\frac{1}{10}$ Ampere

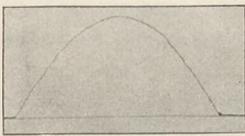


Fig. 4.

betragen muß, nicht zu viel ausmacht. In der Fig. 4 ist eine Kurve wiedergegeben, die auf diese Weise gewonnen wurde. Von der ursprünglich erhaltenen Platte ist ein Diapositiv genommen worden, weil die schwarzen Linien sich besser hervorheben, und weil es auf diese Weise möglich ist, die nicht zu vermeidenden Flecke durch Nebenstrahlen zu beseitigen. Der in der Figur sichtbare Strich wurde in der Weise gewonnen, daß die Platte bei Ruhelage des Gewichtes vorbeibewegt wurde.

Sehr viel wertvoller für den Unterricht kann der Oszillograph dadurch gemacht werden, daß man das von der Meßschleife kommende Lichtbild auf den Spiegel einer zweiten Meßschleife fallen läßt, deren Achse um 90° gegenüber derjenigen der ersten gedreht ist. Es wird dadurch die Möglichkeit gegeben, zwei Veränderliche, die abhängig von der Zeit sind, in ihrer gegenseitigen Abhängigkeit aufzuzeichnen. Es ist zur Erreichung dieses Zieles nur erforderlich, dem Spiegel auf der zweiten Meßschleife eine genügende Breite zu geben, damit er den vom ausfallenden Strahl der ersten Schleife gezeichneten Strich auch aufzunehmen vermag. Außerdem muß bei der üblichen Einrichtung der Meßschleifen das Öl fortbleiben. Es ist selbstverständlich, daß dadurch die Eigenschwingungszahl wesentlich herabgesetzt wird. Für die Zwecke der Demonstration ist sie aber immer noch groß genug. Bei einigen der nachbeschriebenen Versuche ist die Geschwindigkeit der Hauptbewegung übrigens nur klein, so daß es auf möglichst kleine Eigenschwingungszahl nicht so sehr ankommt.

Vom Verfasser wurde für einige Versuche auch eine selbstgefertigte Meßschleife benutzt, die in Fig. 5 abgebildet ist, und deren Herstellung verhältnismäßig einfach

ist. Sie ist so eingerichtet, daß sie in den Luftspalt eines Toroides eingepaßt werden kann. Damit der Spiegel nicht allzu breit gewählt werden muß, ist es erforderlich, die zweite Meßschleife der ersten möglichst zu nähern. Bei den nachbeschriebenen Versuchen war der Abstand meist nur 2 bis 3 cm, während die Breite des Spiegels 4 mm betrug bei 0,7 mm Höhe.

Um einige Beispiele für die Verwendbarkeit dieser Anordnung zu geben, führe ich die folgenden Versuche an.

1. Aufzeichnung von Magnetisierungskurven bei Wechselstrom. Die dazu nötige Schaltung ist schematisch in Fig. 6 wiedergegeben. Die Eisenringe zur Erzeugung des magnetischen Feldes sind im Interesse der Deutlichkeit fortgelassen.

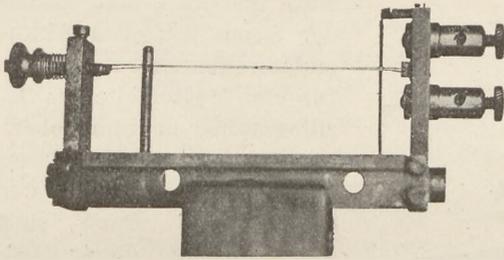


Fig. 5.

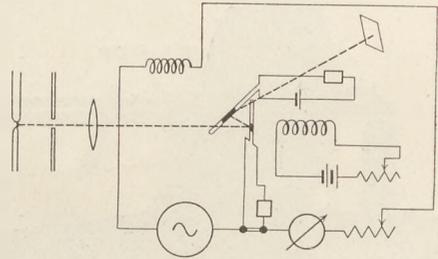


Fig. 6.

Nur die erregenden Wicklungen sind durch Wellenlinien angedeutet. Von einer Wechselstromquelle wurde der Strom in die Erregerwicklung des zweiten Eisenringes geleitet, so daß in diesem ein Wechselfeld entstand. Zur Regulierung war in diesen Stromkreis ein Amperemeter und ein Widerstand eingelegt; außerdem war ein Normalwiderstand eingeschaltet, von dessen Klemmen der Strom für die erste Schleife abgenommen und dieser über einen Widerstand zugeführt wurde. Die zweite Meßschleife mit dem breiten Spiegel und die Erregerwicklung der ersten Schleife wurden mit Gleichstrom gespeist. Unter diesen Umständen sind die Oszillationen der ersten Schleife mit dem normalen Spiegel proportional dem Strom, welcher durch die Wicklung des zweiten Ringes geht, also auch proportional der magnetisierenden Kraft. Dagegen sind die Schwingungsauslässe der zweiten Schleife mit dem breiten Spiegel proportional den Augenblickswerten des Kraftlinienflusses in dem Luftspalt, also auch der magnetischen Induktion. Man erhält also die Hysteresisschleife direkt aufgezeichnet unter Ausschaltung der Zeit. Bei Demonstrationsversuchen braucht man nur einen Schirm aus Mattglas in angemessener Entfernung aufzustellen, um das Bild des vollständigen magnetischen Kreisprozesses aufzufangen. Hält man eine an ein Klemmstativ befestigte photographische Platte davor, dann kann man die Kurve aufnehmen; man kann hierbei auch schwache Lichtquellen verwenden, weil das Bild beliebig lange erhalten bleiben kann. Auch kann man während der Aufnahme zu höheren Werten übergehen, wie das bei der Aufnahme in Fig. 7 geschehen ist. Natürlich erhält man die Achsen sehr einfach dadurch, daß man erst die eine und dann die andere Schleife ausschaltet.

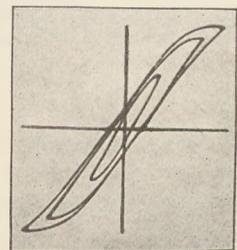


Fig. 7.

Steht eine Wechselstrommaschine oder ein Umformer mit zwei um 90° verschobenen Phasen zur Verfügung, dann kann man auch die Hysteresisschleifen von geschlossenen Toroiden erhalten. Man schickt dann den Strom der einen Phase durch die Wicklung des Ringes, welcher untersucht werden soll, und macht von einem eingelegten Normalwiderstand wieder eine Abzweigung nach der ersten Schleife. Die Spannung der zweiten Phase wird dazu benutzt, um die zweite Meßschleife mit Strom

zu versehen. Beide Magnetwicklungen werden mit Gleichstrom erregt. Die Spannung der zweiten Phase ist nämlich mit genügender Genauigkeit proportional der Induktion in dem Toroid. Wenn keine zweite Phase zur Verfügung steht, dann kann man sich mit Hilfe von Kondensatoren einen um 90° verschobenen Strom erzeugen¹⁾.

2. Aufzeichnung eines rasch verlaufenden mechanischen Bewegungsvorganges. Es soll als Beispiel die Bewegung eines Schiebers studiert werden, welcher von einer Kurbelschleife bewegt wird. Diese Bewegung ist bekanntlich genau sinusförmig. Um sie aufzuzeichnen, wird der Schieber mit einer kleinen Bürste versehen, welche sich längs eines straff ausgespannten Widerstandsdrahtes bewegt.

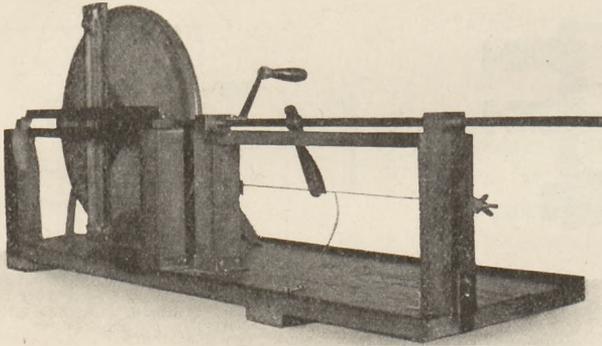


Fig. 8.

Diesem Draht wird in der Mitte und an beiden Enden der Strom von einer Akkumulatorenbatterie zugeführt. Die eine Meßschleife des Oszillographen liegt im Nebenschluß zu dem mittleren Zuführungspunkt und der Schleifbürste. Dann sind die Ausschläge dieser Meßschleife proportional dem Abstand dieser Bürste von dem mittleren Anschlußpunkt. Andererseits wird die Scheibe, welche zur Bewegung der Kurbelschleife

dient, am Umfang mit einem Widerstandsdraht umspannt. An zwei gegenüberliegenden Stellen wird diesem Draht ein Gleichstrom zugeführt. Auf dem Draht läßt man eine Schleifbürste schleifen und schließt die Meßschleife des zweiten Oszillographen einerseits an diese Bürste und andererseits an den einen Stromzuführungspunkt an. Dann ist der Strom in diesem Oszillographen proportional dem Stück des Umfanges, um welches der betreffende Anschlußpunkt gegenüber der Schleifbürste verschoben ist.

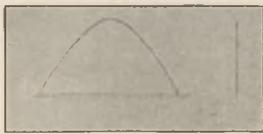


Fig. 9.

Der zeitliche Verlauf dieses Stromes ist also bei genau gleichförmiger Rotation ein dreieckiger. Daher ist das aus dem Spiegel der zweiten Meßschleife kommende Bild die Sinuslinie, welche durch die Bewegung des Schiebers entsteht. In Fig. 8 ist die benutzte Anordnung und in Fig. 9 eine in der beschriebenen Weise aufgenommene Kurve wiedergegeben. Die eine Achse ist hierbei etwas verschoben aufgezeichnet, was dadurch erreicht worden ist, daß in die

nicht schwingende Schleife ein Gleichstrom geschickt wurde. Wenn nicht die elektrische Einrichtung ziemlich eingehende Kenntnisse erforderte, dann würde dieser Versuch ebenso wie der folgende auch für den mathematischen Unterricht sehr geeignet sein.

3. Aufzeichnung von mathematischen Kurven, die sich durch einfache Gleichungen in Parameterform zum Ausdruck bringen lassen. Die Ellipse ist bekanntlich durch das Gleichungssystem gegeben: $x = a \cdot \sin t$, $y = b \cdot \cos t$. Leitet man also in die beiden Meßschleifen, während die Erregerfelder mit Gleichstrom gespeist werden, zwei um 90° in der Phase verschobene Wechselströme, dann ist das

¹⁾ Die Versuche wurden vom Verfasser zuerst im Jahre 1907 im Elektrotechnischen Verein in Hamburg vorgeführt. Sie wurden mit einer etwas anderen Anordnung auch von Hausrath angestellt; s. Physikal. Zeitschr. 1909, S. 21.

Bild, welches der aus dem zweiten Spiegel kommende Strahl aufzeichnet, eine Ellipse, deren Achsen wieder dadurch erhalten werden können, daß man eine Schleife nach der anderen außer Betrieb setzt. Man kann zur Erzeugung der erforderlichen Ströme entweder zwei von den oben beschriebenen Kurbelschleifen benutzen, deren Schieber entsprechend versetzt sein müssen, oder zwei Maschinenströme. In dem ersten Fall ist die Ellipse mathematisch genau, während im letzteren Fall meist Abweichungen zu bemerken sein werden, die daher rühren, daß die Maschinenströme nur selten eine reine Sinusform aufzuweisen haben. In Fig. 10 sind zwei so gewonnene Kurven wiedergegeben. Die untere stellt die Kurve dar, welche entsteht, wenn man zwei um 90° verschobene Phasen der Maschine nimmt, deren Kurvenform durch Fig. 2 dargestellt ist. Bei dieser Figur ist ein Einstellungsfehler zu bemerken, auf den ich noch besonders aufmerksam machen möchte. Die Hauptachse erscheint nämlich verschoben, weil der Spiegel, welcher der Bewegung in der Richtung der kleinen Achse entspricht, nicht genau senkrecht zu den Kraftlinien des Feldes ausgerichtet war.

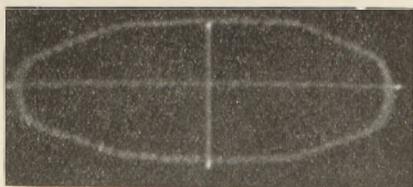


Fig. 10.

Es ist leicht, auch andere Zusammenhänge aufzuzeichnen. Ich erinnere z. B. an das Ohmsche Gesetz in der Form $e = i \cdot w$. Schickt man durch einen konstanten selbstinduktionsfreien Widerstand Wechselstrom und führt man diesen der einen Schleife des Oszillographen und die Spannung an den Enden des Widerstandes der anderen zu, dann erhält man eine relativ zu den Achsen schräg ansteigende gerade Linie. Soll im Ohmschen Gesetz die Spannung e konstant bleiben und der Strom sich mit dem Widerstand ändern, dann nimmt man eine Meßdrahtbrücke mit zwei Drähten und einem gemeinsam zu bewegenden Kontaktschlitten. Dem einen Draht führt man Strom von einer Zelle an dem einen Ende und dem Schiebekontakt zu. Dieser Strom wird durch eine Nebenschließung zu einem eingelegten Normalwiderstand der einen Meßschleife zugeführt. Durch den anderen Draht schickt man einen konstanten Strom und legt die zweite Meßschleife in den Nebenschluß zu dem einen Ende des Drahtes und den zugehörigen Kontaktschieber. Bewegt man dann den Schieber rasch hin und her, dann entsteht das Bild einer gleichseitigen Hyperbel von der Gleichung $i \cdot (w_1 + w_2) = e$, worin i und w_2 als Veränderliche zu betrachten sind.

4. Aufzeichnung von Größen, die sich nach irgendeinem Gesetz periodisch mit der Zeit ändern. Man muß zu diesem Zweck in die eine Schleife einen synchron verlaufenden dreieckförmigen Strom schicken, den man sich wieder durch eine rotierende Wheatstonesche Brücke erzeugen kann, bestehend aus einer Scheibe, welche am Umfang mit einem Widerstandsdraht umspannt ist, dem an zwei diametralen Stellen Gleichstrom zugeführt wird, während der Strom für die Schleife durch zwei diametrale Bürsten abgenommen wird. In die andere Schleife muß ein Strom geschickt werden, dessen Momentanwerte den einzelnen Werten der aufzeichnenden Größe proportional sind. In den meisten Fällen wird sich das dadurch erreichen lassen, daß man eine Bürste längs eines Widerstandes schleifen läßt. Nach dieser Methode kann man auch Wechselströme aufzeichnen. Es ist dann nur erforderlich, die Scheibe mit der Wheatstoneschen Brücke auf der Welle der Wechselstrommaschine oder eines Synchronmotors zu befestigen. Dies muß natürlich mit großer Sorgfalt geschehen, weil die Bürsten durch etwaiges Unrundlaufen der Scheibe leicht in Schwingungen geraten und dann nur ungenügend Kontakt machen. Im übrigen ist

es aber angenehmer, mit dieser Einrichtung zu arbeiten, als mit der üblichen käuflichen Anordnung, weil man die Maschinen in einem anderen Raum aufstellen kann

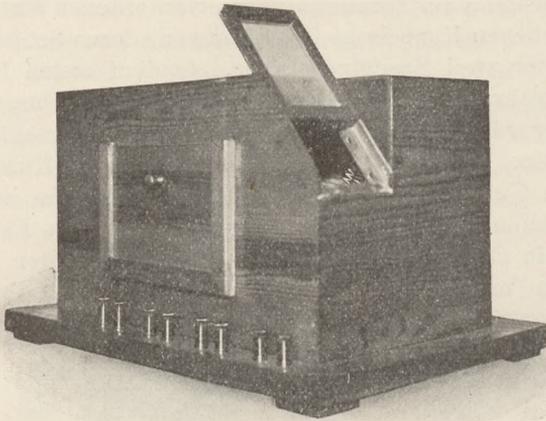


Fig. 11.

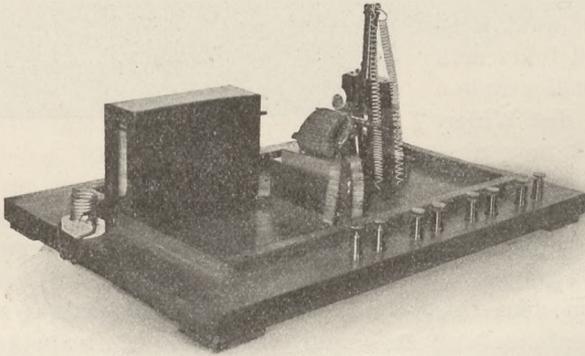


Fig. 12.

und nicht durch Geräusch und Erschütterungen gestört wird. Zu bemerken wäre noch, daß die Scheibe nicht aus Holz hergestellt werden sollte, sondern aus Stabilit, weil bei Holz ein richtiges Rundlaufen kaum zu erreichen ist.

Da die erstmalige Aufstellung des Oszillographen mit der beschriebenen Schleifenkombination ziemlich mühsam ist, empfiehlt es sich, das Ganze ein für allemal auf einem passenden Grundbrett zu vereinigen und so für sofortiges Arbeiten bereitzuhalten. Eine solche fertige Einrichtung in zweckmäßiger Form ist in Fig. 11 in der äußeren Ansicht und in Fig. 12 in der inneren Ansicht zu sehen. Der Ring der zweiten Meßschleife ist hierbei sehr eng gehalten, damit das Licht auch darüber hinweg der ersten Schleife zugeführt werden kann. In einer Ecke des hölzernen Schutzkastens ist ein Ausschnitt gemacht, damit eine Mattscheibe oder

eine photographische Platte eingesetzt werden kann. Mit dieser Einrichtung kann man auch in einem nur abgedunkelten Zimmer arbeiten.

Zwei einfache, leicht selbstzufertigende Apparate zur Mechanik.

Von

J. Thiede, Köslin.

A.

Für die Behandlung der Begriffe Drehungsmoment und Dreharm benutze ich eine kreisförmige Scheibe aus Pappe von 40 cm Durchmesser, die in der Mitte durch eine kräftige Nadel an einer vertikalen Wand befestigt werden kann, so daß sie in ihrer Ebene beliebig drehbar ist und sich dabei in indifferentem Gleichgewicht befindet. Damit dieses letztere in genügendem Maße erreicht wurde, mußte vorher an der Pappe mehrfach geschabt werden. Um nun an dieser Scheibe Kräfte angreifen zu lassen, sind kleine Metallkörper — ich verwende sie mit einem Gewicht von je 15 Gramm — an einem Zwirnfaden befestigt, der an seinem andern Ende an

eine angelhakenartig umgebogene Stecknadel geknüpft ist; in der Scheibe selbst sind mit einer kräftigeren Nadel Löcher eingestochen, in welche eine solche Hakennadel mit dem Gewichtskörper leicht eingehängt werden kann. Diese Löcher sind nun zunächst auf einem Durchmesser angeordnet — siehe auch die Fig. 1 —, der zum Beginne der Versuche immer horizontal einzustellen ist, und zwar vom Mittelpunkt symmetrisch verteilt, etwa bei 6, 8, 10, 12, 14, 16 cm Abstand von demselben. Dazu ist ferner auf der einen Seite, etwa durch den Punkt „16“, senkrecht zu jenem Durchmesser eine Sehne gezeichnet, und auf derselben sind gleichfalls einige Löcher, unter beliebigen Zwischenräumen, angebracht; zugleich ist durch denselben Punkt „16“ ein Kreisbogen um den Scheibenmittelpunkt gezeichnet, der ebenso einige Löcher erhält. Endlich ist noch auf derselben Seite durch einen Punkt näher zum Zentrum, etwa „10“, eine zweite vertikale Sehne angegeben, die wiederum Löcher, und zwar besonders auch in den Schnittpunkten mit jenem Bogen, enthält.

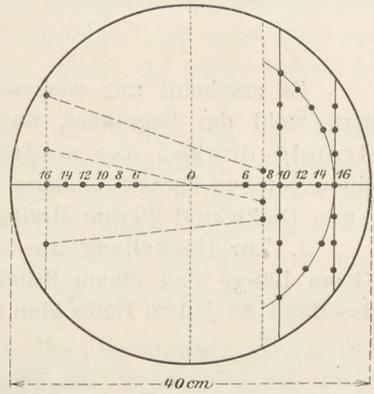


Fig. 1.

Es lassen sich hieran einfach und klar die Grundgesetze der Wirkung von Kräften an einem um eine Achse drehbaren Körper entwickeln.

1. Eine einzelne Kraft wirkt zunächst drehend. Stabiles, labiles, indifferentes Gleichgewicht, „toter Punkt“.

2. Zwei gleiche Kräfte, beiderseits beim Punkte „16“ angebracht, zeigen gleiche Drehwirkungen in entgegengesetztem Sinne, der Körper bleibt in Ruhe.

3. Der Angriffspunkt der einen Kraft wird längs des Bogens verschoben, wobei also sein Abstand vom Drehpunkt ungeändert bleibt. Jetzt zeigt sich eine Störung des Gleichgewichts: Die drehende Wirkung der so behandelten Kraft wird kleiner.

4. Wird nun, während der Angriffspunkt im Schnitt des Bogens mit der vertikalen Sehne durch „10“ gewählt ist, zugleich die andere Kraft mit ihrem Angriffspunkt auf „10“ des horizontalen Durchmessers verlegt, so zeigt sich wieder Gleichgewicht.

5. Wird der Angriffspunkt der ersteren Kraft längs der vertikalen Sehne durch Punkt „10“ verschoben, so bleibt doch immer Gleichgewicht bestehen, ebenso wenn, wie zu Anfang, beide Kräfte bei „16“ angebracht werden und dann die eine längs der vertikalen Sehne verschoben wird: Der Angriffspunkt einer Kraft kann also — ohne Beeinflussung ihrer Drehwirkung — in ihrer eigenen Richtung beliebig verschoben werden!

6. Wird bei der letzten Anordnung der Angriffspunkt längs der vertikalen Geraden (von dem horizontalen Durchmesser) nach oben verlegt, so ist das Gleichgewicht labil. — Wird der Angriffspunkt nach unten verschoben, so ist das Gleichgewicht stabil.

7. Wird weiter — in der Figur punktiert angedeutet — die eine Kraft in einem beliebigen Punkt einer Vertikalen durch „16“ und dazu eine doppelt so große Kraft in einem gleichfalls beliebigen Punkte der Vertikalen durch „8“ auf der andern Seite angebracht, so muß sich wieder Gleichgewicht zeigen. Dabei findet sich nun aber spezieller, daß dasselbe so lange labil ist, als die Verbindungsgerade der beiden Angriffspunkte oberhalb des Drehpunktes, stabil, wenn sie unterhalb desselben, und indifferent, wenn sie durch ihn verläuft. So läßt sich unmittelbar durchs Experiment der Satz gewinnen: Zwei an einem starren Körper angebrachte parallele Kräfte — die also nicht ohne Änderung ihrer Wirkung an einen gemeinsamen Angriffspunkt verschoben werden können — besitzen eine Resultierende, deren Angriffspunkt auf der Verbindungsgeraden der beiden gegebenen Angriffspunkte liegt und dieselbe im

umgekehrten Verhältnis der beiden Kräfte teilt — und deren Richtung und Größe selbstverständlich durch die gemeinsame Richtung bzw. durch die Summe der beiden Kräfte bestimmt ist. —

Für eine derartige Scheibe aus Metall wären statt der gekrümmten Nadeln kleine konische Stifte zu verwenden.

B.

Es erscheint mir wertvoll, bei den Übungen über Kräftezerlegung, bei denen man wohl das Segelboot, den Drachen und die Windmühle behandelt, auch den Grundgedanken des modernen Brückenbaues nicht ganz zu übergehen. Für einen solchen Zweck bediene ich mich zweier Modelle aus ein paar Holzleisten von 5 mm Dicke und 20 mm Breite und kräftigem Schürzenband von gleicher Breite.

I. Zur Herstellung des ersten „Bockes“ ist ein Dreieck aus zwei Leisten von 71 cm Länge und einem Stück Band von 102 cm Länge so zusammengestellt, daß das Band an jedem Ende eine Leiste scharnierartig festhält, und daß die beiden freien

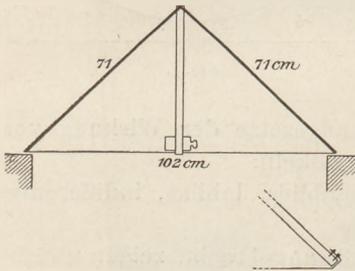


Fig. 2.

Enden der Leisten, die leicht gerundet sind, oben locker aneinandergelegt werden können. — In der Fig. 2 sind die Striche für die Holzteile stärker ausgezogen. — In der Mitte des Bandes, der Basis des Dreiecks, ist ein gleiches Band quer dagegen festgenäht und dann doppelt nach oben geführt, so daß es wie eine Schleife oben über die beiden zusammengestützten Leistenenden hinüberfassen kann. Und an dieser Stelle oben ist noch ein Stückchen besonders kräftigen Stoffes in die Schleife eingnäht, damit diese beim Aufpressen auf die beiden Holzenden nicht zu sehr in der Form verzerrt wird.

Zur Vorübung für die hierhergehörenden Versuche wird praktisch eine besondere Leiste, etwa ein kräftiger Meterstab, an dem einen Ende auf einem „Ufer“ aufgelegt, während das andere Ende durch einen Kraftmesser getragen wird, und nun ein Gewichtstück an verschiedenen Stellen daraufgesetzt und so festgestellt, welchen Teil der Last jeweilig die beiden „Ufer“ tragen: Karre, Bahre, Brücke! Dabei ist natürlich das eigene Gewicht des „physischen Hebels“ auf Grund einer besonderen Erwägung in Rechnung zu ziehen. — Außerdem ist eine kurze Erörterung der Begriffe Bruch-, Druck- und Zugfestigkeit voraufzuschicken.

1. Es werden von unserem Modell zunächst die beiden Holzstreben weggeklappt, wobei auch jene Schleife nach unten zu hängen kommt: Ohne weiteres wird jetzt schon durch ein kleines Gewichtstück das Band in einem Bogen nach unten gezogen; entsprechend würde an seiner Stelle auch jene besondere Leiste, der Meterstab, bei wachsender Belastung mehr und mehr eingebogen werden. Die „Brücke“ zeigt sich so wenig tragfähig. — Nun wird aber der „Bock“ samt der Schleife nach oben zusammengestellt und in der Mitte des „Brückenbalkens“, des Bandes, in die Schleife ein Gewichtstück, etwa 2 kg, hineingelegt. Ist oben durch einen leicht umfassenden Halter ein seitliches Kippen unmöglich gemacht, so erweist sich die Brücke jetzt als durchaus tragfähig. — Durch eine zeichnerisch an der Tafel hinzugefügte Verschiebung und Zerlegung der Kräfte ist leicht gezeigt, daß auch bei dieser „Brücke“ die in der Mitte aufliegende Last von jedem Ufer zur Hälfte getragen wird, und daß unser „Brückenbalken“ aus Band hierbei auf Zug beansprucht ist, — die Streben auf Druck.

2. Wird nun die Last nicht in der Schleife, sondern in der Mitte der einen Brückenhälfte aufgelegt, so bricht das Ganze zusammen; durch das Einbiegen des Bandes wird die Brücke verkürzt und die beiden oberen Enden der Streben nach oben zu kleinerem Winkel zusammengeschoben, weil diese jetzt nicht mehr durch

die Schleife vertikal abwärts gezogen werden. — Wird nun aber neu eine Leiste gleicher Art und von etwa 52 cm Länge auf die eine Hälfte des horizontalen Bandes aufgelegt und erst hierauf die Last in der Mitte aufgesetzt, so zeigt sich die Brücke wieder völlig tragfähig. Jetzt trägt von der Last das nähere Ufer zunächst die Hälfte; da aber die andere Hälfte, welche von der Zugstrebe, der Bandschleife, aufgenommen wird, sich wiederum gleichmäßig auf die beiden Ufer verteilt, so trägt in Wirklichkeit das nähere Ufer $\frac{3}{4}$ von der Last, das andere $\frac{1}{4}$, entsprechend den oben erwähnten Vorübungen am physischen Hebel.

Dies dürfte an konkretem Anschauungsmaterial zur Erweckung der Grundvorstellungen hinreichend sein. Es läßt sich nun leicht in entsprechenden Zeichnungen, unter Zusammensetzung zweier Böcke, unter Hinzufügung eines Querriegels usw., die Erweiterung zum „Obergurt“ mit den entsprechenden Kräfteverschiebungen und -zerlegungen durchführen und dann durch Vorzeigen von geeigneten Brücken- (wie auch Hallen- und Dach-) Bildern auch für verwickeltere Konstruktionsformen ein Verständnis anbahnen. —

II. Auch für die Konstruktion eines „Untergurtes“ ist es lehrreich, den Grundgedanken an einem einfachen Modell anschaulich zu machen. Eine Leiste von 102 cm Länge trägt ein an seinen beiden Enden befestigtes und zunächst locker herabhängendes Band, dem eine solche Länge gegeben ist, daß es durch eine in der Mitte völlig frei einsetzbare Leistenstütze von 40 cm Länge gespannt werden kann. Das Band ist um die beiden Leistenenden, wie in der Fig. 3 angedeutet, 1 cm weit herumgelegt, mit feinen Pinnen befestigt und schließlich durch einen fest angezogenen Draht so festgehalten, daß die Leiste mit 1 cm an jedem Ende auf das „Ufer“ aufgelegt werden kann.

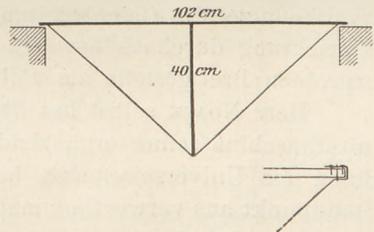


Fig. 3.

Versuch: Wird eine Last zunächst ohne die Einfügung jener Stütze auf den „Brückenbalken“ aufgelegt, so wird derselbe eingebogen, er ist auf Bruch beansprucht; wird aber die Stütze eingesetzt, so ist die Brücke vollständig tragfähig. — Die beiden Streben des Bockes sind jetzt auf Zug und der Brückenbalken selbst auf Druck beansprucht, was in einer zeichnerischen Kräfteverschiebung und -zerlegung leicht zu verfolgen ist.

Noch ein Universalgestell für Schülerübungen.

Von

Dr. Kurt Speyerer in München.

Im vorigen Jahrgang dieser Zeitschrift (S. 141)¹⁾ hat Herr Prof. NOACK einen Aufsatz über ein neues Hilfsmittel für Schülerübungen zur Mechanik fester Körper veröffentlicht. Das Wesentliche seiner Vorrichtung besteht in einem vertikal gestellten Wandbrett, das sich zur vielfältigen Anordnung von Apparateanteilen eignet und so aufs einfachste und billigste ein Instrumentarium darstellt, mit dem Herr NOACK 38 praktische Aufgaben lösen läßt. Die bei dem verdienstvollen Förderer der Schülerübungen nicht überraschende Eleganz der Ausführung und die Klarheit seiner Darlegungen lassen Bemerkungen über seine Idee vielleicht als überflüssig erscheinen. Allein es trifft sich, daß ich seit 2 Jahren in dem von mir eingerichteten Schülerlaboratorium der Kgl. Realschule in Kulmbach eine Vorrichtung benutze, die mit

¹⁾ *Anm. der Redaktion.* Der vorliegende Aufsatz ist bereits im Juli 1910 eingelaufen.

Herrn NOACKS Apparat das Prinzipielle völlig gemein hat. Ich hätte zum ersten Male bei Gelegenheit einer demnächst erscheinenden Publikation über unsere Einrichtung davon Mitteilung gemacht, doch veranlaßt mich der Aufsatz des Herrn NOACK, hier schon einiges darzulegen.

Zur Verwendung des Standbretts im Schülerpraktikum wird man wohl auf die natürlichste Weise durch die Versuche über das Kräfteparallelogramm geführt. Man verwendet dabei im primitivsten Falle ein lotrecht gestelltes Reißbrett. Allein seine Verwendbarkeit läßt sich erheblich erweitern, und ich komme auf Grund meiner Erfahrungen zu dem Resultat, daß es als eigentliches Hauptinstrument der physikalischen Übungen dienen kann, derart, daß z. B. die Anschaffung von Bunsenstativen und ähnlichem gänzlich überflüssig wird. Gerade hierauf möchte ich ein Hauptgewicht legen: bei rationeller Verwendung genügt die Vorrichtung nicht nur für die Mechanik starrer Körper, sondern die Möglichkeit, allerhand Glasteile an der Wand zu befestigen, an ihren Rändern Schraubenzwingen anzubringen, in die man außer Rollen auch Stativklemmen einsetzt, das Brett in zwei vertikalen und beliebig vielen schiefen Lagen anzuordnen — diese reiche Fülle von Möglichkeiten macht es in allen Gebieten der Physik verwendbar. Ich habe bei unserer Laboratoriumseinrichtung vor 3 Jahren nach englischem Muster Tische mit seitlichen Galgen und starker Querlatte gewählt und benutze die Gasrohrleitungen an den Tischen als Stative. Obwohl sich diese Einrichtung durchaus bewährt hat, muß ich heute einfache Tische und die nunmehr erprobten Brettgestelle als völlig ausreichend betrachten.

Herr NOACK selbst hat den Vorwurf zurückgewiesen, den man dem Wandbrett mit Einschluß seiner ergänzenden Teile machen könnte, indem man es in tadelndem Sinne als Universalapparat bezeichnet. Was solche Apparate vom pädagogischen Standpunkt aus verwerflich macht, ist nicht die Tatsache, daß sie mehrere Fälle durch eine Vorrichtung zu erledigen gestatten, sondern vielmehr die meist unorganische, nicht aus der Logik der Probleme, sondern aus dem rein äußerlichen Grund der Sparsamkeit entspringende Verbindung der Teile, wodurch eine ganz unnatürliche, ja verwirrende Anordnung gegeben ist, die wohl als instrumentelles Kuriosum gelten mag, aber die reine Ausarbeitung der Probleme hindert. In unserem Falle dagegen ist der Apparat jedesmal ein ganz selbständiges Gebilde; er nimmt dem Schüler niemals die Aufgabe der eigenen, von Grund aus neuen Zusammenstellung der Teile ab, und man darf ihn nicht mit mehr Recht einen Universalapparat schelten als das Bunsenstativ samt all den Glas- und Metallteilen, deren mannigfaltige Verbindung es ermöglicht.

Die Form, in der ich das Brettgestell vorschlage, ist aus Fig. 1 ersichtlich. Die Dimensionen sind ungefähr die gleichen, wie sie Herr NOACK angibt; nur sitzt das Standbrett so auf dem Grundbrett, daß letzteres nach vorne um 10 cm, nach hinten um 5 cm vorspringt. Es besitzt einen rechteckigen Ausschnitt von der Größe

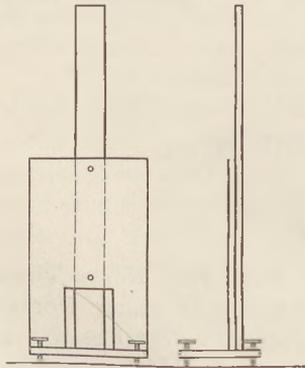


Fig. 1.

20 × 15 cm. Zur Erweiterung der Wand nach oben dient eine Latte von 110 × 10 × 2,5 cm, die nach Bedarf auf der Rückseite angeschraubt werden kann. Die als Träger der Rollen²⁾ oder Halter dienenden Klemmen sind nach Fig. 2 konstruiert. Am Klemmenkörper selbst ist genau parallel zu einer Kante eine starke Messinghülse

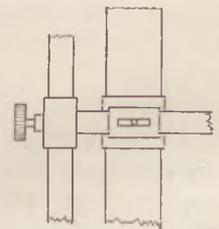


Fig. 2.

Am Klemmenkörper selbst ist genau parallel zu einer Kante eine starke Messinghülse

²⁾ Bezüglich der Konstruktion der Rollen beachte man die Bemerkungen in Fr. C. G. Müllers Technik des physikalischen Unterrichts, § 19.

angelötet. In ihr läßt sich ein langer massiver Stiel drehen und verschieben, der am einen Ende eine quergelötete Hülse trägt, in der die Stiele der Rollen oder Halter eingesetzt werden. Durch Schrauben kann man die Teile in jeder Lage festhalten. Natürlich läßt sich das T-förmige Stück auch herausnehmen, und Rollen oder Halter können direkt in die festgelötete Hülse eingeführt werden. Letztere selbst läßt sich auch in einem Gelenk um eine vertikale Achse drehbar anordnen; doch dürfte die einfachere Zusammensetzung durchaus genügen. Wo Bunsenstative usw. schon vorhanden sind, fallen die Klemmen weg; man stellt dann das Brett zwischen den entsprechend verteilten Stativklemmen auf.

Von welcher vielseitiger Verwendbarkeit diese Vorrichtung ist, zeigt sich dem mit den Anforderungen physikalischer Schülerübungen Vertrauten unmittelbar. Nicht nur die von Herrn NOACK angegebenen Aufgaben werden mit ihr gelöst, sondern mustert man z. B. die Übungen, welche H. HAHN in seinem kürzlich erschienenen Handbuch zusammengestellt hat, so bedarf es wenig Kombinationsgabe, um zu erkennen, daß sie größtenteils mit dem Wandbrett bequem ausführbar sind*) Die Ergänzungsteile, die spezielle Übungen erfordern, sind leicht zu beschaffen oder selbst herstellbar. An einigen charakteristischen, häufiger vorkommenden Fällen möge meine Anschauung erhärtet werden. Für die schiefe Ebene sind mehrere Vorrichtungen bekannt, die aber alle bei Schülerübungen gewisse Nachteile zeigen. Folgende Anordnung (Fig. 3) ist übersichtlich und bequem und liefert genaue Resultate

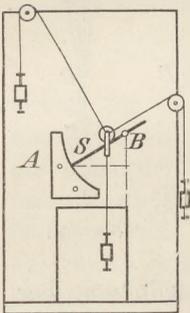


Fig. 3.

Man spannt auf das Wandbrett einen Bogen Papier und befestigt darauf ein ca. 3 cm dickes Holzstück A, dessen vertikale Kante 14 cm, dessen obere 2 cm und untere 9,5 cm lang sind. Der Ausschnitt ist ein Kreisbogen vom Radius 14 cm. Auf seiner inneren Seite sind in Intervallen kleine Öffnungen oder Kerben angebracht. An der Stelle B, die mit dem Kreis-

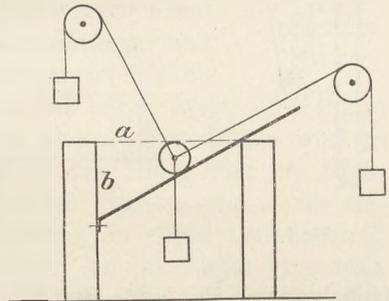


Fig. 4.

mittelpunkt genau zusammenfällt,

steckt im Brett ein drehbarer Stift, dessen Kopf wie eine elektrische Drahtklemme gestaltet ist. Durch die Bohrung steckt man eine sehr starke, gut vernickelte Stricknadel S, drückt ihr Ende auf dem Bogen des Holzstückes auf und klemmt sie bei B fest. Die Nadel bildet die schiefe Ebene; man setzt auf sie eine leicht laufende Rolle mit ca. 5 cm langer Gabel und belastet letztere, wie Fig. 3 zeigt. An die Enden der Rollenachse knüpft man zwei gegabelte Fäden, die über Rollen laufen oder an geeichte Federn gehängt werden. Der Versuch ist danach klar. Man projiziert von B aus mit Senkel und Spiegelstreifen die Lotrichtung auf das Papier, analog die Richtung und die Pfeile der Seilspannungen sowie die Lage des unteren Endes der Stricknadel (die den Neigungswinkeln 15° , 30° , 45° , 60° entsprechenden Stellen sind auf dem Holzstück leicht zu markieren). Man kann so die Kräfte parallel zur Ebene und ihrer Basis sowie den Druck bestimmen. Zieht man im Gleichgewichtsfall die Stricknadel heraus, so erkennt der Schüler die Identität des Falles mit dem Varignonschen Versuch über das Kräfteparallelogramm. Unabhängig von dem Standbrett kann die schiefe Ebene mit Stricknadel, Rollen und Holzklötzen nach Fig. 4 behandelt werden.

*) *Ann. der Redaktion.* Herr Prof. Hahn hat selbst schon wiederholt die Verwendung eigentlicher Wandbretter für die physikalischen Schülerübungen empfohlen, so in der Schrift „Wie sind die physikalischen Schülerübungen praktisch zu gestalten“ (Sonderheft d. Zeitschr. I, 4, S. 51), ferner in den „Freihandversuchen“ (II, 28) und im Handbuch für „physikalische Schülerübungen“, S. 51, 56, 176 u. a.

Das untere Ende der Stricknadel wird in kleinen Löchern festgehalten, die man in einem der Klötze eingeböhrt hat; man unterstützt es am besten noch durch einen Reißnagel *R*. Die Neigung der Ebene wird gefunden, indem man die Strecken *a* und *b* mit dem Maßstab mißt³⁾. —

An Stelle der festen Lagerung der Hebelachse empfiehlt sich für Schülerübungen nach meiner Erfahrung als bequem herstellbar und auch zur Messung des Achsendruckes unmittelbar verwendbar die bilifare Aufhängung des Hebels an einer durch den Mittelpunkt gezogenen Fadenschlinge (Fig. 5). Damit der Faden sich nicht an den Hebelkanten reibt, feilt man diese in der Umgebung der Durchbohrung mit der Rundfeile aus. Zur Bestimmung der Nulllage zieht man auf dem Wandbrett eine Horizontale hinter dem Hebel, oder man setzt über dem Drehpunkt einen Draht als Zeiger senkrecht ein, der dann in der Ebene der Aufhängefäden eintreten muß. Es ist gut, das eine Ende des Hebels in einem Messingdrahring spielen zu lassen, dessen Stiel in der Wand steckt. Bei Schülerübungen halte ich die Benutzung vorbestimmter Angriffspunkte der Kräfte am Hebel für unangebracht. Auf der Unterstufe ist der

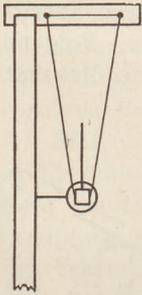


Fig. 5.

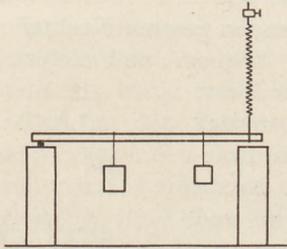


Fig. 6.

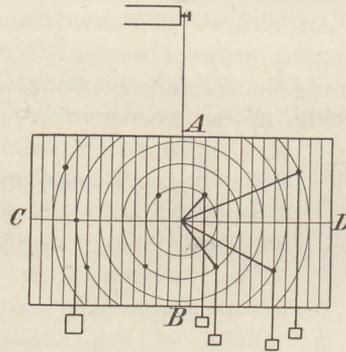


Fig. 7 a.

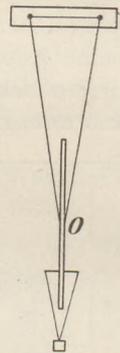


Fig. 7 b.

Hebelversuch der erste und wichtigste Fall, bei dem durch vorsichtige Anleitung der Schüler aus selbsterarbeitetem Zahlenmaterial die Gesetzmäßigkeit finden kann. Soll dies Ziel in richtiger Weise erreicht werden, so empfiehlt es sich, die Möglichkeit beliebiger Variation der Hebelarme zu haben. Man verwendet daher am besten rechteckig gebogene Drahthaken, die auf dem Hebel verschoben werden und die Gewichte tragen. Natürlich muß man dann durch Anbringen von leeren Haken die Wirkung ihrer Eigengewichte ausgleichen. Die bilifare Aufhängung erfordert neue Vorrichtungen für Messungen am einarmigen Hebel und Ableitung des allgemeinen Drehmomentensatzes. In Fig. 6 wird der Drehpunkt durch eine Nadel ohne Kopf definiert. Benutzt man eine geeichte Feder, so muß auf dem Standbrett ein Spiegelglasstreifen befestigt werden. Meine Schüler erhalten auf diese Art sehr gute Resultate. Statt der herkömmlichen Drehmomentenscheibe benutze ich folgende einfache, instruktive Anordnung. Der Schüler zeichnet auf starken weißen rechteckig zugeschnittenen Karton von den Maßen 30×20 cm die Strecken *AB* und *CD*, trägt auf *CD* eine genaue, bezifferte Zentimeterteilung ab, schlägt um *O* Kreise, welche die Teilpunkte schneiden, und zieht Parallele durch letztere zu *AB*. In symmetrisch gelegenen Schnittpunkten dieser Linienscharen werden sorgfältig Stecknadeln eingesteckt und an ihren Enden belastete Fäden festgeknüpft. Das Ganze wird bifilar in der Mitte *O* aufgehängt (Fig. 7). Man läßt den Schüler Gleichgewicht herstellen, die falschen Drehmomente mit den radialen Abständen der Nadeln bilden und führt

³⁾ Um Bruchgramme zu vermeiden, benutzt man die ersten pythagoräischen Dreiecke für das Dreieck mit den Katheten *a* und *b*.

ihn dazu, in den Projektionen dieser Radien auf CD die wahren Hebelarme zu finden. Die Scheibe ersetzt auch den Hebel, wenn man in allen Teilpunkten von CD Nadeln einsteckt.

Für Reibungsversuche mit dem Würfel des Herrn NOACK kann man als Unterlage das Wandbrett selbst benutzen, wobei man im Falle der schiefen Ebene die Neigung durch Ausmessung der Strecken a und b mit dem Holzwinkel, wie Fig. 8 zeigt, bestimmt.

Die Torsion von Drähten führt zu einer Anordnung wie Fig. 9. Der Torsionskopf wird leicht selbst hergestellt. In einer Messinghülse sitzt ein Zylinder, den man am einen Ende axial anbohrt, um mittels seitlicher Schraube einen Draht einklemmen zu können. Man kann zu dem Zwecke auch eine geeignete elektrische Drahtklemme an den Zylinder anlöten. Oben lötet man eine kleine Platte auf den Zylinder, damit er nicht durch die Hülse fällt, und setzt eine Flügelschraube auf. Die Hülse wird mit starker Reibung in einen durchbohrten Kork

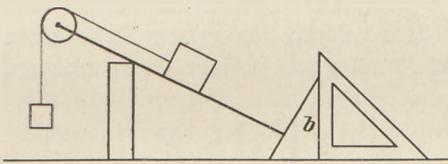


Fig. 8.

gesteckt, auf den man einen Karton mit aufgezeichneter Kreisteilung (LEPPIN und MASCHÉ liefern zu diesem Zweck eine praktische Kreisteilungsvorrichtung, die man sich auch leicht mit photographischem Stativ und Dioptrilineal in einen Winkel-



Fig. 9.

messer für elementare geodätische Aufnahmen verwandeln kann) klebt. Die Platte des Zylinders trägt einen Draht, der auf der Teilung gleitet. Das Ganze wird in ein Loch des Querholzes eingesetzt, an dem man auch den Hebel und die Drehmomentenscheibe anhängt. Am unteren Ende des Drahtes klemmt man — im einfachsten Fall — wieder eine elektrische Drahtklemme ein, in deren Querbohrung eine dicke Stricknadel gesteckt und festgeschraubt wird. An die Nadel lötet man in gleichen Entfernungen Drahtösen an; in diesen hakt man belastete Fäden ein, die über seitliche Rollen führen oder geeichte Federn. Das eine Ende der Stricknadel befindet sich zwischen einem geschlitzten Blech oder Brett, das man über dem rechteckigen Ausschnitt des Standbrettes anbringt. Man kann sehr lange Drähte und kurze verwenden, je nachdem man die lange Latte benutzt oder nicht. Zur bequemen Messung der Länge kann man einen der steifen Papiermaßstäbe, die z. B. Gebr. WICHMANN in Berlin liefern, auf die Rückwand aufstiften und mit Spiegelstreifen ablesen. Auf dem überragenden Teil der Latte muß man dann eine 2 cm dicke Leiste anbringen, die auf der oberen Kante des Wandbrettes aufsitzt und so die eigentliche Fortsetzung der Wandebene bildet (Fig. 9).

Zur bequemen Änderung und Messung der Pendellängen benutze ich folgende Anordnung: Auf das Querholz wird ein Holzbrett nach Fig. 10 geschraubt. Dieses besitzt zwei rechteckige Einschnitte an einer Kante, die mit dünnen durchlocherten Messingblechen zugedeckt sind, so daß die sehr kleinen Löcher in der unteren Ebene des Brettes liegen. Durch sie zieht man eine Fadenschlinge, die am einen Ende belastet wird. Durch Anziehen und Nachlassen des anderen Endes der Schlinge kann man, wie ersichtlich, die Pendellänge ändern. Ihre Messung geschieht genügend genau durch einen feinen Messingdraht, der unter dem Brett eingeklemmt wird, und auf den man in genau

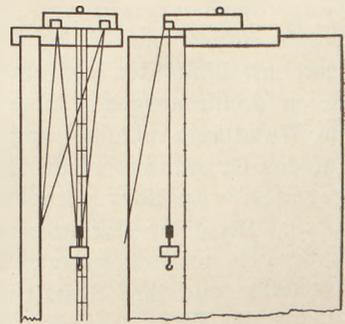


Fig. 10 a.

Fig. 10 b.

gemessenen Abständen keine Drahtstücke quergelötet hat⁴⁾. Um das Zusammen-drehen der Pendelfäden zu verhindern, steckt man über dem Gewicht ein Korkstückchen zwischen sie. Während der Pendelschwingung wird natürlich das freie Ende der Fadenschlinge und der Meßdraht nach der Seite gelegt.

Selbstverständlich lassen sich alle Versuche über Elastizität und Dynamik starrer Körper, die Herr NOACK angeführt hat, ohne weiteres am Standbrett vornehmen; es ist überflüssig, näher darauf einzugehen. Als Beispiele der Brauchbarkeit des Apparates in andern Gebieten mögen die Fig. 11 und 12 dienen. Bei der Methode von JAMES WATT benutzt man natürlich wieder die oben beim Torsionsversuch erwähnte Leiste, auf der ein Papiermaßstab und die Röhren aufgelegt werden. Im Schülerpraktikum geschieht die Einführung der Kapillarität am besten im Anschluß an die kommunizierenden Röhren. Aus zwei Lampenzylindern, Korken, Glasstutzen und Schlauch stellt man sich eine Art Kanalwage her, konstruiert mit ihrer Hilfe, indem man den einen Zylinder fest macht, eine Horizontale und bestätigt, daß die Niveauflächen in einer Ebene liegen. Setzt man nun statt des einen Zylinders engere Röhren ein, so gelangt man schließlich zu einem Widerspruch mit dem Prinzip der kommunizierenden Röhren, der zur Diskussion Anlaß gibt. Leicht kann man am

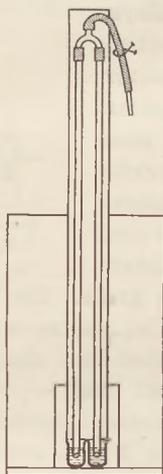


Fig. 11.

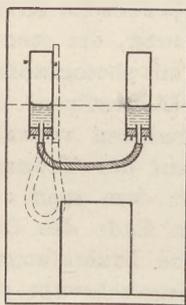


Fig. 12.

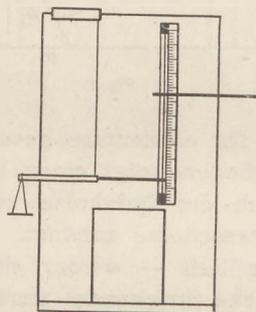


Fig. 13.

Wandbrett mit untergelegtem Maßstab die Niveaudifferenzen messen. Füllt man die Kombination der beiden Lampenzylinder mit Petroleum und erwärmt den einen vorsichtig mit der Bunsenflamme, so bemerkt man ein Steigen des Niveaus. Temperaturmessung und Bestimmung der Höhen führen zur annähernden Berechnung des kubischen Ausdehnungskoeffizienten von Petroleum usw. Mit Messingröhrchen und Stricknadeln stellen sich die Schüler leicht eine Polwage her. Man hängt sie am Wandbrett mit Bindfaden vor einem Spiegelmaßstab auf wie Fig. 13 zeigt. Meine Schüler haben damit ausgezeichnete Resultate erhalten. Es würde zu weit führen, alle die am Wandbrett mühelos und genau durchführbaren Versuche anzudeuten: Setzt man auf das Grundbrett einen Holzklötz mit Stimmgabel, so kann man leicht den Fallversuch von Boys vornehmen (vgl. KARL FISCHER, Neuere Versuche zur Mechanik usw.). Mit einer Mariotteschen Flasche, die man auf den neben das Brett gestellten Laboratoriumshocker setzt, läßt sich vor dem Brett die Ausflußparabel des Wassers herstellen und ihre Gestalt mittels Spiegelstreifen auf einen Papierbogen projizieren, analog die Kurve des schiefen Wurfes (vgl. FRIEDR. C. G. MÜLLER, Technik usw., S. 64). In der Photometrie und Optik überhaupt leistet der Ausschnitt gute Dienste. Die Latte kann als Wheastonesche Brücke und optische Bank dienen, usw.

⁴⁾ Man kann auch eines der billig zu kaufenden Bandmaße verwenden.

Bemerkungen zur Auswertung des Allotropiebegriffes im Unterricht.

Von

Prof. Dr. Fr. Küspert in Nürnberg.

Die Tatsache, daß die Ionenlehre immer noch als ein Anhängsel an den chemischen Unterricht oder als ein Einschleppsel behandelt wird, sogar an manchen Hochschulen, läßt vermuten, daß man diese Lehre nur widerwillig annimmt. Es ist auch nicht leicht, sich mit ihr abzufinden, wenn man etwas anderes gelernt hat. Und dies trifft auf alle zu, die nicht den Vorteil haben, von vornherein in den Anschauungen jener Lehre erzogen worden zu sein.

Aber gerade das sollte den Lehrer vorsorglich machen, daß er ja keine der späteren Auffassung hinderlichen Vorstellungen in die Schüler pflanzt. Dabei ist natürlich vorausgesetzt, daß er sich nicht etwa den Tatsachen verschließt und eine ebenso gutbegründete wie fruchtbringende Theorie hartnäckig anzweifelt.

Wenn es nun gilt, alle Dinge zu vermeiden, welche das so unendlich schwierige Umdenken nach sich ziehen müssen, so kann die Ionenlehre gar nicht früh genug eingeführt werden. Und wenn Lehrvorschriften pädagogische Vorbilder sein wollen, so können sie gar nicht anders, als auf eine recht frühe Behandlung der Ionentheorie dringen. Denn je mehr Tatsachen zusammenkommen, die unter einem anderen Gesichtswinkel betrachtet werden, desto größer sind die zumarbeitenden Massen, desto härter ist die Arbeit des Umdenkens.

Selbstverständlich meine ich unter baldiger Einführung nicht, daß man dem Schüler innerhalb der ersten paar Unterrichtsstunden einen verdünnten Absud aus wissenschaftlichen Werken zu trinken gibt; auch nicht, daß man den Fehler durch löffelweises Eingeben auszugleichen versucht: das hieße ja, die Ergebnisse dogmatisch hinpflanzen, damit sie gläubig aufgenommen werden. Ich denke mir vielmehr, daß man unter den Tatsachen, welche zur Ionenlehre geführt haben, die begreiflichsten aussucht und sie den Schüler in vorsichtig gewählter Folge erleben läßt, damit er das nachdenken und nachfühlen kann, was ihm größere Geister vorgedacht haben. Doch werden auch da noch Schwierigkeiten genug aufstehen; es sei denn, daß man das landläufige Bild von der Zusammensetzung der chemischen Verbindungen ganz beiseite läßt und statt seiner dem Schüler ein neues gibt, das sich auf der Tatsache der Allotropie aufbaut. Bevor ich dieses näher zeichne, wollen wir den hergebrachten Gang prüfen, damit die Notwendigkeit, ihn zu verlassen, erwiesen werde.

Die üblichen Wege, auf denen man zur Lehre von den Atomen hinführt, schaffen immer den Eindruck, als seien diese Teilchen mit den Eigenschaften des Ganzen behaftet; beispielshalber: als seien Natriumatome nichts weiter als Natriumteilchen. Die vielleicht recht gut gemeinten Ringelschemata der im Anfangsunterricht behandelten Verbindungen verstärken den Eindruck noch, und auch später wird nichts getan, um das falsche Bild zu berichtigen. Im Gegenteil! Die so innig empfohlenen stöchiometrischen Rechnungen helfen, den Irrtum nur noch fester einzubleuen, weil in den Formeln die erwarteten Stoffe ja scheinbar wohl vorbereitet enthalten sind. So erklären sich die Schwierigkeiten der Ionenlehre ganz von selbst als Widersprüche, die nicht in der Ionenlehre, sondern in der unrichtig angewendeten Theorie der chemischen Verbindungen liegen.

Aber selbst wenn auf eine scharfe Unterscheidung zwischen den Eigenschaften der Atome und denen der Moleküle hingearbeitet wird, so möchte ich doch fragen, welches Schülerhirn den Unterschied nicht als gequält und haarspalterisch empfindet, zumal es gezwungen wurde, an Teilung da zu denken, wo in Wirklichkeit Stoffumwandlung vorliegt. Wir Lehrer selbst — Hand aufs Herz! — haben keine kleine

Mühe, bei dem Wort „Atom Natrium“ etwas anderes zu denken als bei dem Wort „Natrium“ allein.

Wenn die Sachen derart liegen, so ist es Pflicht, auf Abhilfe zu sinnen. Diese scheint nicht allzu schwer. Zunächst ist der Begriff der Verbindungs- und Zersetzungsvorgänge im allgemeinen (!) zu umgrenzen. Etwa so, daß man an geeigneten naheliegenden Beispielen aufweist, wie aus n Stoffen $n - 1$, $n - 2 \dots$ neue Stoffe mit gänzlich neuen Eigenschaften entstehen und umgekehrt. Hernach wird an denselben Vorgängen (!) festzustellen sein, daß Arbeit gewonnen wird, oder daß solche verschwindet. Nunmehr hätten die Gesetze des unveränderlichen Gewichtes und der unveränderlichen Arbeitsverhältnisse Stelle zu finden; selbstverständlich wieder nur unter Ausnutzung der alten Vorgänge, beileibe nicht an künstlich frisierten Paradebeispielen. Graphische Darstellung der Beziehungen wird das Verständnis vertiefen; die Darstellung mit Hilfe der Atomzeichen wäre nicht nur verfrüht, sondern aus leicht ersichtlichen Gründen geradezu falsch!

Ist dergestalt Boden gewonnen, so darf wohl unter Zuhilfenahme des Begriffs der Zersetzung auf den Begriff des Elementes zugestrebt werden. (Vielleicht ist dies auch schon zu früherer Zeit angängig; doch dürfte das ohne Belang sein.) Hauptsache ist, daß jetzt erst die Frage erörtert wird, in welchen Zustand die Dinge geraten sind, welche in die Verbindung ihr Gewicht, nicht aber ihre alten Eigenschaften mitgenommen haben. Und da wäre es nun unrichtig, abzurechnen und die Sache auf später — vielleicht bis nach Erörterung der Atomhypothese — zurückzustellen. Vielmehr sehe ich nur den einen Weg: das Beispiel der Allotropie einzuführen, um recht deutlich zu machen, daß jede an einem Element erfolgte Energieänderung eine Änderung seiner Eigenschaften mit sich bringt.

Ich will nicht so weit gehen zu sagen: Es wäre überhaupt richtig, gleich an den allerersten Anfang des Unterrichtes ein tüchtiges Beispiel der Allotropie zu setzen. Das möchte doch ein wenig umstürzlerisch aussehen! Aber an der eben bezeichneten Stelle muß es kommen; sonst steht die Sache auf einem toten Punkt, und die alten Nöte heben von vorne an!

Am einfachsten dürfte es sein, den Phosphor zu wählen. Mit dem Schwefel, der sich wegen des altherwürdigen Versuchs $Fe + S$ wohl zunächst vor uns stellt, ist nicht viel anzufangen, weil die Erörterung darüber, ob*) $S_{rhomb.} \rightleftharpoons S_{monoklin} \mp Arbeit$ nur auf dem Umweg über die Verbrennungswärme zum Ziel führen kann; und das ist doch nicht angängig. Die Namengebung bietet auch Schwierigkeiten; vor allem aber ist der Unterschied zwischen den beiden Allotropien des Schwefels — im Schauversuch wenigstens — nicht deutlich genug.

Anders der Phosphor! Da verkehren sich sozusagen die Eigenschaften ins Gegenteil: Dem blaßgelben, brenngierigen, unter warmem Wasser zerfließenden, durch Benzin usw. löslichen wachsähnlichen Klumpen steht das schwer zündbare, nicht schmelzende, unlösliche Pulver von leuchtend roter oder satt rotbrauner Farbe gegenüber. Dazu kommt die Möglichkeit der Umwandlung im Einschmelzrohr während des Unterrichtes und die Gelegenheit zur Feststellung des unveränderten Gewichtes. Der Energieverlust allerdings wird wohl nur Gegenstand einer Mitteilung darüber sein können, daß unter günstigen Umständen die Umwandlung in eine Art Explosion ausartet (s. Dammer, Handbuch). Doch ist das immer noch faßlicher als eine Auseinandersetzung über den Unterschied der Verbrennungswärmen.

Das beste wäre freilich, wenn sich der Versuch auf einfache Art der demonstrativen Kontrolle durch das Thermometer zugänglich machen ließe; doch fehlt mir darüber die Kenntnis. Aber wo ein Wille, da ist auch ein Weg, und vielleicht erfüllt sich die Hoffnung, daß wir eine brauchbare Handhabe bekommen.

*) Zeichen wähle ich nur hier, aus Gründen der Kürze!

Über den weiteren Gang der Dinge ist nicht mehr viel zu sagen. Sobald die Abstraktion aus dem Vorgang $P_{\text{gelb}} \rightarrow P_{\text{rot}} + \text{Arbeit}$ erarbeitet ist, kann die Abstraktion aus den binären Vorgängen $\underbrace{A + B}_{\text{Stoffgemenge}} \rightleftharpoons \underbrace{(A + B)}_{\text{Verbindung}} \pm \text{Arbeit}$ in Angriff genommen werden,

wobei es ganz gleichgültig ist, ob das Stoffgemenge aus zwei Verbindungen oder zwei Elementen gemischt ist. Es wird sich allemal als Schlußfolgerung ergeben, daß die Anteile der Verbindung nicht mehr die Eigenschaften der ursprünglichen Stoffe haben können, weil wahrscheinlich jeder von dem Energieverlust getroffen wurde oder einen Gewinn daran zu verzeichnen hatte.

Damit ist meines Erachtens die stärkste Hemmung, die sich der Iontheorie entgegenstellt, gründlich beseitigt. Es ist aber auch der späteren atomistischen Auffassung eine Grundlage gegeben, die den Schüler vor einer verkehrten Meinung bewahrt. Solange er die atomistische Auffassung noch nicht kennen gelernt hat, könnte übrigens der Begriff der starren Lösung mit dem Gesetz der unveränderlichen Gewichtsverhältnisse zusammengespannt und zur „Erklärung“ beigezogen werden, sofern man es nicht vorzieht, in ihm einstweilen nur die allgemeine Vorstellung einer gegenseitigen Verschmelzung zu wecken.

Über die Poggendorfsche Kompensationsmethode.

Von

Dr. K. Lichtecker, Professor an der Staatsgewerbeschule in Reichenberg.

Bei Besprechung der Poggendorfschen Kompensationsmethode zur Vergleichung elektromotorischer Kräfte pflegt man sich damit zu begnügen, zu sagen: Ist die zu untersuchende elektromotorische Kraft so groß wie der Spannungsabfall in dem Leiterstück des Hauptstromkreises, an dessen Enden sie angeschaltet wurde, so ist sie kompensiert, d. h. sie trägt zur Stromerzeugung nicht bei, und der Leiterzweig, der sie enthält, ist stromlos. Ich habe zu wiederholten Malen beobachtet, daß hierbei beim Anfänger ein Bedenken zurückbleibt, das etwa auf folgendem beruht:

Sind zwei gleiche elektromotorische Kräfte einander entgegengeschaltet, so daß die ganze Anordnung vollkommen symmetrisch bezüglich AB ist, so fließt durch AB ein Strom, an dessen Zustandekommen beide Stromquellen E zu gleichen Teilen mitwirken (Fig. 1). Hier sind also zwei gleiche elektromotorische Kräfte einander entgegengeschaltet, ohne daß einer der Leiterzweige stromlos würde. Es könnte daher auch in dem Falle, wo die beiden elektromotorischen Kräfte ungleich groß sind, als möglich erscheinen, daß beide Stromquellen — wenn auch nicht mehr je zur Hälfte — an der Erzeugung des Stromes in dem gemeinsamen Verbindungsstück AB sich beteiligen. Oder, schärfer mathematisch gefaßt: Es ergibt sich das Bedenken, daß bei allmählichem Übergang in den Grenzfall $e = E$ die Stromstärke im kompensierten Leiterstück vom Werte Null auf den Wert $J/2$ zu springen scheint.

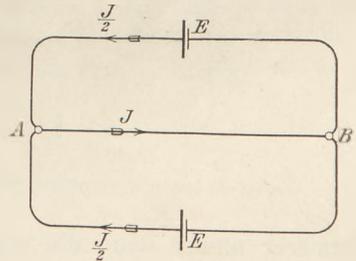


Fig. 1.

Diese und ähnliche Bedenken lassen sich nach meiner Erfahrung nur dadurch gründlich beseitigen, daß man den zugrundeliegenden allgemeinen Fall behandelt. Die Rechnung soll trotz ihrer Einfachheit hier gegeben werden, um ihre Verwendung im praktischen Unterricht zu befürworten. Die elektromotorische Kraft E (Fig. 2) für sich allein ruft den Strom J_I hervor, der sich bei A in J_{II} und J_{III} verzweigt. Be-

zeichnet man mit w_1, w_2, w_3 die Widerstände der 3 Leiterstücke *I, II* und *III*, so ist der Gesamtwiderstand des Schließungskreises $w_1 + \frac{w_2 w_3}{w_2 + w_3}$, und der Strom J_I daher

$$J_I = \frac{E}{w_1 + \frac{w_2 w_3}{w_2 + w_3}} = \frac{E(w_2 + w_3)}{w_1 w_2 + w_1 w_3 + w_2 w_3}.$$

Für die beiden Stromzweige gilt:

$$(J_{II} + J_{III}) : J_{II} = (w_3 + w_2) : w_3; \quad J_{II} + J_{III} = J_I$$

$$J_{II} = \frac{J_I w_3}{w_3 + w_2} = \frac{E w_3}{w_1 w_2 + w_1 w_3 + w_2 w_3}.$$

Die elektromotorische Kraft e für sich allein erzeugt einen Strom i im Leiter *II* und man findet, analog dem früheren:

$$i = \frac{e(w_1 + w_3)}{w_1 w_2 + w_1 w_3 + w_2 w_3}.$$

Wenn beide elektromotorischen Kräfte E und e wirksam sind, so ist der Strom durch das Leiterstück *II*

$$J_{II} - i = \frac{E w_3 - e(w_1 + w_3)}{w_1 w_2 + w_1 w_3 + w_2 w_3}.$$

Dieser Ausdruck gestattet nicht bloß, die Bedingung der Stromlosigkeit

$$\frac{E}{w_1 + w_3} \cdot w_3 = e$$

durch Nullsetzen des Zählers abzulesen, sondern zeigt auch, daß bei Annäherung von e an E die Stromlosigkeit sich nur durch gleichzeitigen Grenzübergang von w_1 gegen Null — also praktisch überhaupt nicht — aufrecht erhalten läßt. Wenn außerdem $w_2 = w_1 = 0$ ist, so wird auch der Nenner im Ausdrucke $J_{II} - i$ gleich Null;

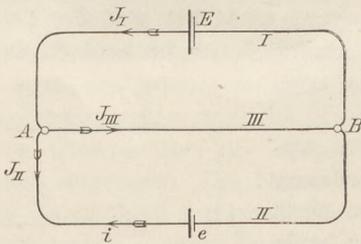


Fig. 2.

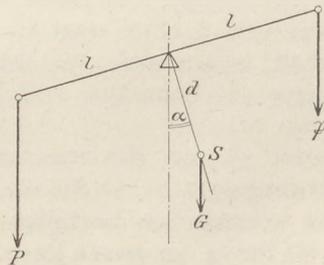


Fig. 3.

letzterer nimmt dann die unbestimmte Form $0/0$ an. Die Stromstärke im Leiter *II* kann dann beliebige Werte, sowohl positive als negative, annehmen. Annähernd ist dieser Grenzfall in praxi erreicht, wenn ein Gleichstromgenerator E mit einer „Pufferbatterie“ e in Parallelschaltung an das Stromnetz AB angeschlossen ist. Solange e kleiner als E bleibt, ist $J_{II} - i$ positiv (Ladestrom); sobald E — etwa durch plötzliche Steigerung des Energiekonsums im Netz — unter den Wert e sinkt, wird $J_{II} - i$ negativ (Entladungsstrom).

Einfache Beispiele für zwei gekoppelte Grenzübergänge, die dem Vorstehenden analog sind, lassen sich auch aus anderen Gebieten heranziehen. Für den Ausschlagswinkel α einer Wage z. B. ist

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{(P - \bar{P}) l}{G \cdot d}. \quad (\text{Fig. 3})$$

Im allgemeinen entspricht auch hier einer kleinen Änderung des Übergewichtes $P - \bar{P}$ eine kleine Änderung von $\operatorname{tg} \alpha$; einen Grenzfall ausgenommen, bei dem der

Ausschlag durch kleine Änderung des Gleichgewichts von Null auf seinen Maximalbetrag springt.

Macht man nämlich das zu beobachtende Übergewicht ($P - \mathfrak{P}$) immer kleiner, so muß, wenn der Ausschlag erhalten bleiben soll, gleichzeitig d entsprechend verkleinert werden, wie dies beim praktischen Wägen mit einer Wage mit mehreren Empfindlichkeiten tatsächlich ausgeführt wird. Auch hier nimmt die betrachtete Funktion $\operatorname{tg} \alpha$, die den Ausschlag charakterisiert, bei dem doppelten Grenzübergang $\lim (P - \mathfrak{P}) = 0$ und $\lim d = 0$ den unbestimmten Wert $0/0$ an.

Kleine Mitteilungen.

Bemerkungen über die Empfindlichkeit der Wage.

Von Prof. Otto Hartmann in Pforzheim.

Zu den Ausführungen des Herrn A. Batschinski über die Empfindlichkeit der Wage (diese Zeitschr. XXIV, 24) möchte ich bemerken, daß dieselben nicht ganz neu sind. Mancher der Herren Kollegen dürfte schon die dort gezogenen Schlußfolgerungen im Unterricht gegeben haben. Man kann sogar noch einen Schritt weiter gehen als Herr Batschinski.

Unter Beibehaltung der Bezeichnungsweise *a. a. O.* hat man

$$\omega = \frac{l}{e \cdot G}, \quad 1)$$

wo ω die Empfindlichkeit, gemessen durch $\operatorname{tg} \varphi / \Delta p$, $2l$ die Balkenlänge, G das Balkengewicht und e der Abstand des Schwerpunkts von der mittleren Schneide ist.

Stellt man sich nun die Frage, welche Forderungen bei einer möglichst günstig konstruierten Wage erfüllt sein müssen, so ist wohl die erste die, daß das Balkengewicht so klein als möglich gewählt wird. Weiterhin wird man dem Balken jedenfalls eine solche Form zu geben suchen, daß er, bei gleichem Gewicht, möglichst gegen eine Verbiegung gesichert bleibt.

Nehmen wir, der Einfachheit halber, eine prismatische Form des Balkens an (Breite b , Höhe h , Länge $2l$, spez. Gew. ρ), so wird man die Höhe h um so größer wählen müssen, je größer l ist. Es ist also h eine Funktion von l . Entwickelt man diese Funktion in eine Potenzreihe nach l ,

$$h = f(l) = \alpha + \beta \cdot l + \gamma \cdot l^2 + \dots,$$

so ist offenbar $\alpha = 0$, da für $l = 0$ auch $h = 0$ wird. Wir können also setzen

$$h = l \cdot \varphi(l),$$

wo $\varphi(l)$ eine mit l wachsende Funktion von l ist.

Damit wird die Empfindlichkeit

$$\omega = \frac{l}{2b \cdot l^2 \cdot \rho \cdot \varphi(l) \cdot e} = \frac{1}{2 \cdot \rho \cdot e \cdot b \cdot l \cdot \varphi(l)}, \quad 2)$$

d. h. die Empfindlichkeit nimmt unter sonst gleichbleibenden Verhältnissen mit abnehmender Balkenlänge zu.

Die Verkleinerung der Balkenlänge hat weiterhin auch den Vorteil, daß man e sehr klein wählen, also die Empfindlichkeit steigern kann, ohne unangenehm große Schwingungszeiten der Wage zu erhalten. Für den Wagebalken ist, wenn M seine Masse bezeichnet, das Trägheitsmoment

$$\theta = \frac{1}{12} M (h^2 + 4l^2) + M \cdot e^2. \quad 3)$$

Bezeichnen wir noch mit S die Masse einer jeder Wagschale nebst Aufhängevorrichtung, mit B die ihrer Belastung, so können wir uns diese Massen $S + B$ in den Schneiden, an denen die Wagschalen aufgehängt sind, konzentriert denken. Ihr gemeinsamer Schwerpunkt fällt dann mit dem Drehungspunkt zusammen. Es ist also das gesamte Trägheitsmoment der schwingenden Wage

$$\theta_1 = \frac{1}{12} M (h^2 + 4l^2) + M e^2 + 2(S + B) \cdot l^2 = M \cdot C \cdot l^2 + M e^2, \quad 4)$$

wenn wir berücksichtigen, daß $h = l \cdot \varphi(l)$ ist.

Da nun die richtende Kraft $D = M g e$ ist, erhalten wir für die Schwingungsdauer der Wage

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\theta_1}{D}} = 2\pi \sqrt{\frac{C \cdot l^2}{g \cdot e} + \frac{e}{g}} \quad 5)$$

oder angenähert $T = \frac{C' \cdot l}{\sqrt{e}}$, da $\frac{e}{g}$ vernachlässigt werden kann, d. h. die Schwingungsdauer nimmt mit abnehmender Balkenlänge ebenfalls ab.

Eliminiert man mit Hilfe dieser Beziehung e aus der Gleichung 2), so erhält man einen Ausdruck von der Form

$$\omega = \frac{T^2}{Z \cdot l^3}, \quad 6)$$

wo Z eine Art Materialkonstante ist, in die auch die vorgeschriebene maximale Belastung mit eingeht. Für je größere Belastung also die Wage gebaut werden soll, um so kleiner muß bei vorgeschriebener Empfindlichkeit und Schwingungsdauer die Balkenlänge gewählt werden.

Der Kreisel als Resonanzerreger.

Von Dr. O. Losehand in Rostock.

Man pflegt die Resonanz im physikalischen Unterricht zuerst bei der Akustik zu besprechen. Aber die durch Resonanz hervorgerufenen Schwingungen von Saiten und Stimmgabeln sind wegen ihrer geringen Amplitude nicht wahrnehmbar. Man muß den Ausweg wählen, sie durch das Wegschleudern von Papierreiterchen oder andern leichten Körpern zu zeigen; doch sind dabei nur die Wirkungen der Resonanz sichtbar, nicht diese selber.

Eine sehr schöne sichtbare Demonstration mechanischer Resonanz gestattet der in letzter Zeit zur Messung von Tourenzahlen von Turbinen und andern schnelllaufenden Maschinen häufig angewandte Frahm'sche Kreisel, den man sich in einfacher Ausführung ohne große Hilfsmittel und Kosten herstellen kann. Als Kreisel nehme man einen der kleinen, auf den Jahrmärkten und in den Spielwarenhandlungen käuflichen Kreisel, dessen Durchmesser etwa $4\frac{1}{2}$ cm ist, und dessen beweglicher Teil von einem die beiden Lager umschließenden Ring getragen wird. Gewöhnlich ist noch ein zweiter Schutzring in der Ebene des Kreiselkörpers angebracht. Zwei leichte Holzplatten von passender Größe werden so ausgehöhlt, daß sie einen Teil des Ringes fest umschließen und mit Hilfe von Schrauben miteinander und mit dem Kreisel unverrückbar verbunden werden können. Für das Ende der Kreiselachse muß natürlich eine besondere Aushöhlung vorhanden sein. Ferner stelle man aus ganz dünnem Eisenblech, z. B. aus Korsettstangen, die längs ihrer Mitte aufgeschnitten und glatt gefeilt werden, etwa sechs Federn her, die gleichzeitig beim Befestigen der Platten am Kreisel zwischen diesen Platten festgeklemmt werden. Noch bequemer ist es, die die Federn tragenden Platten erst durch ein weiteres Brettchen mit dem Kreisel

zu verbinden. Die oben herausragenden Enden werden so abgeschnitten, daß die Federlänge stufenweise 5—12 cm beträgt (s. Fig. 1 u. 2). Die letzten Enden der Federn werden um einen rechten Winkel verdreht und durch Anstrich mit weißer Farbe hervorgehoben.

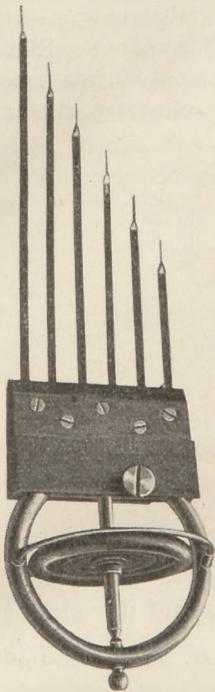


Fig. 1. $\frac{1}{3}$ n. Gr.

Wird der Kreisel kräftig aufgezogen und am freien Lager in die Hand genommen, so führt wegen der stets ungleichen Massenverteilung der Kreiselmasse das freie Ende der Achse ganz kleine kreisförmige Schwingungen aus. Da die Federn aber nur in einer Richtung schwingungsfähig sind, wird die eine Schwingungskomponente vernichtet und so — was nicht uninteressant ist — in einfacher Weise die kreisförmige Schwingung geradlinig polarisiert. Fällt die Schwingungsperiode des Kreisels mit der Eigenschwingungsperiode einer Feder zusammen, so schwingt diese Feder mehrere Zentimeter weit aus, was besonders von der Seite schön zu sehen ist. Wegen der Verlangsamung der Rotation des Kreisels durch Reibung sprechen die Federn der Reihe nach an, mit der kürzesten beginnend. Das Entstehen und Vergehen der Resonanz ist sehr gut zu beobachten: die Amplitude wächst bis zu einem Maximum und nimmt dann wieder ab, vorher und nachher bleibt die Feder in Ruhe. Nur

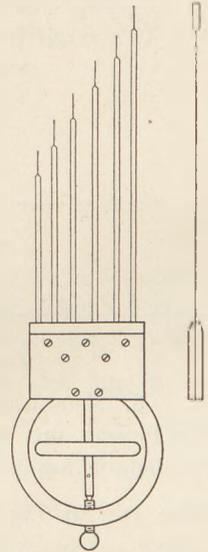


Fig. 2.

bei den längeren Federn sind auch Oberschwingungen zu beobachten, wobei ein Schwingungsknoten etwa in $\frac{2}{3}$ der Feder liegt.

Die Methode der Autokollimation im Schülerpraktikum.

(Ein Beitrag zur Anwendung des Ohmannschen Feld-Winkelmessers.)

Von Dr. A. Wendler in Erlangen.

Bei den Lesern dieser Zeitschrift darf der Ohmannsche Feld-Winkelmesser, der zur Belebung des geometrischen Unterrichtes gewiß schon viel beigetragen hat, als bekannt vorausgesetzt werden, um so mehr, als sich in XXII, 5. Heft, S. 335 ein Hinweis auf die verbesserte Form des kleinen Meßinstrumentes findet.

Es ist nun vielleicht nicht überflüssig, auf eine Anwendung in der Optik hinzuweisen, die sich auf die Methode der Autokollimation von Littrow stützt und in der Messung eines Prismenwinkels und des Brechungsexponenten von festen und flüssigen Körpern besteht¹⁾.

1. Messung eines Prismenwinkels. Die Alhidade des vertikal aufgeschlagenen Meßkreises wird genau senkrecht nach unten gerichtet, so daß man, in der Richtung SF (Fig. 1) blickend, den Faden F' koinzidierend sieht mit seinem an einem kleinen daruntergestellten Quecksilberhorizont Q erzeugten Spiegelbild. Besonders scharf läßt sich einstellen, wenn man das Tageslicht ganz abbildet und den Faden F von unten her mit einer Taschenlampe L grell beleuchtet. Die Nullstellung der Alhidade wird jetzt nach Ablesung der beiden Nonien erhalten. Bringt man nun das

¹⁾ Vgl. Müller-Pouillet 1909, 2. Band, 3. Buch, S. 178: Spektrometer nach Abbe.

fragliche Prisma in geeigneter Entfernung in Richtung P_1 auf einem mit der Libelle horizontalen Brett an, so kann man nach Drehung der Alhidade um einen gewissen Winkel β erreichen, daß sich der Faden wieder mit seinem Spiegelbild deckt, das jetzt an der Prismenfläche (f) entsteht. Der Prismenwinkel ist dann offenbar $= \beta$. —

2. Messung des Brechungsindex der betreffenden Glassorte. Rückt man nun das Prisma in der entgegengesetzten Richtung P_2 weiter, so wird jetzt noch einmal durch Reflexion an der unteren Fläche (f') Autokollimation eintreten, die mit

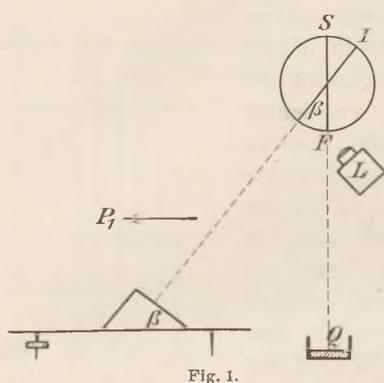


Fig. 1.

einer Brechung an Fläche f verbunden ist (Fig. 2). (Vorder Ablesung des Winkels α ist natürlich wieder für die Horizontierung der Grundfläche f' zu sorgen.) Man hat nun offenbar $n = \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin \beta} = \frac{\sin \gamma}{\sin \beta}$, wo β der in 1. bestimmte Winkel, $\alpha + \beta = \gamma$ der gesamte Winkelbetrag ist von Stellung I nach Stellung II der Alhidade.

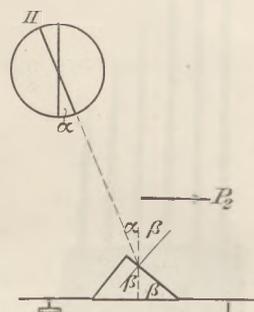


Fig. 2.

3. Messung des Brechungsexponenten einer Flüssigkeit. Legt man das Prisma mit dem Winkel β in einen unten völlig ebenen Glastrog und füllt die fragliche Flüssigkeit ein (Fig. 3) — Glastrog und Prisma stehen jetzt auf der gleichen Seite wie in Fig. 1 —, so erhält man $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$ oder $n = 2 \cdot \sin \alpha$, wenn man mit einem 30° -Prisma operiert. Bei der an sich schwachen Reflexion an der Prismen-

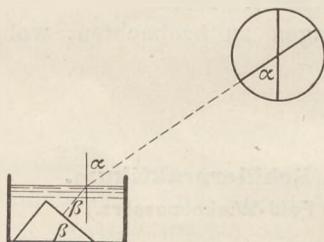


Fig. 3.

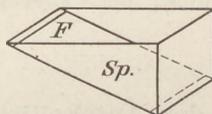


Fig. 4 a.

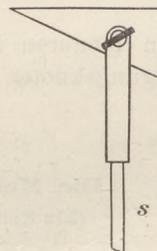


Fig. 4 b.

fläche und der infolge des Durchgangs durch die Flüssigkeit entstehenden Abschwächung ist es bei Benützung eines Diopterinstrumentes nicht immer leicht, Faden mit Spiegelbild zur Deckung zu bringen. Ich habe mich daher bei einigen Probeversuchen einer gewöhnlichen Spiegelglasscheibe bedient, die in der Flüssigkeit unter einem Winkel β zwischen die Wände eines kleinen Glastroges eingestellt war, und im übrigen analog wie mit dem Prisma verfahren. Für Wasser ergab sich so 1,335 unter Benützung des bisher immer vorausgesetzten weißen Lichtes. Eine Verbesserung dieser primitiven Methode hat hauptsächlich folgende Punkte zu berücksichtigen:

1. Die Rückseite des Spiegels muß gegen die Einwirkung der verschiedenartigen Flüssigkeiten geschützt sein.
2. Man soll mit wenig Flüssigkeit auskommen, ohne den Trog und also auch den Spiegel allzu klein zu machen.
3. Der Winkel des Spiegels gegen die Horizontale soll innerhalb passender Grenzen variiert werden können.

Diesen Forderungen läßt sich durch die in Fig. 4a und 4b skizzierte Anordnung nahekommen: Die Spiegelglasscheibe bildet jetzt mit der spiegelnden Fläche nach oben die Innenbelegung der Hypotenusenfläche F eines entsprechend Fig. 4a geformten Glastroges und ist mit F durch Glyzerinkitt verbunden, welcher bekanntlich auch Säuren widersteht. Dieser Trog ist einer Holzfassung eingepaßt, die sich, wie Fig. 4b zeigt, um eine horizontale Achse in einer Gabel drehen läßt, so daß die Neigung des Spiegels gegen die Horizontale variiert werden kann. Die ganze Vorrichtung wird mit dem Stiel s in den Schlitten einer kleinen gut horizontalierten optischen Bank gesteckt, so daß die beim Übergang von der Messung des Winkels β zu der des Winkels α (Fig. 1 und 3) nötige Verschiebung leicht und sicher ausgeführt werden kann.

Absolutes und relatives elektrisches Potential.

Von **Friedrich Spath** in Salzburg.

Bei der Einführung des Nullpotentials der Erde fällt bei den verschiedensten Lehrbüchern der Physik ein sonderbarer Mangel an Klarheit auf. Das absolute Potential eines Punktes A wird definiert als Arbeit der Elektrizitätsmenge Eins aus Unendlich bis A . Danach ist das Potential einer Kugel $\frac{E}{r}$. Da es sich nun immer nur um Potentialunterschiede handelt, wird das Potential der Erde gleich Null gesetzt, das heißt, es wird ein ganz anderer Nullpunkt angenommen, das absolute Potential der Erde ist ja gar nicht Null, gleichwohl aber wird der Ausdruck $\frac{E}{r}$ nunmehr für das relative Potential beibehalten (z. B. bei der Berechnung des Kugelkondensators). Das scheint, logisch betrachtet, derselbe Fehler zu sein, als wenn die Formel für die barometrische Höhenmessung, die für die absolute Höhe über dem Meeresspiegel aufgestellt wurde, nun ohne Änderung zur Berechnung der relativen Höhe (über der Talsohle) benutzt würde!

Die Berechtigung, den Ausdruck $\frac{E}{r}$ nunmehr als relatives Potential (von der Erde aus gemessen) zu verwenden, ergibt sich erst aus folgender Betrachtung. Der Ausdruck $\frac{E}{r}$ stellt nur jenen Teil des absoluten Potentials der Kugel vor, der durch die Eigenladung E der Kugel erzeugt wird. Auf der Erde aber, die selbst das absolute Potential V_0 hat, ist das absolute Potential der Kugel annähernd $\frac{E}{r} + V_0$, also das relative annähernd $\frac{E}{r}$. Für die genaue Berechnung ist zu beachten, daß durch die Anwesenheit der geladenen Kugel auch das absolute Potential der Erde eine Änderung erleiden kann (es sei jetzt V_1 genannt), und das durch die Erde am Orte, wo sich die Kugel befindet, ein Potential V_2 erzeugt wird, das mit V_0 nicht gleich zu sein braucht. Das relative Potential der Kugel ist also:

$$\frac{E}{r} + V_2 - V_1 = \frac{E}{r} - (V_1 - V_2).$$

In folgendem Fall läßt sich $V_1 - V_2$ angeben. Die Kugel befinde sich im Mittelpunkt eines kugelförmigen Hohlraumes der Erde, eines kugelförmigen Zimmers, mit dem Radius R . Da innerhalb des Hohlraumes nur Kräfte wirken, die von der Kugel ausgehen, so ist das relative Potential dieser, oder die Arbeit der elektrischen Einheit auf dem Wege von der Kugel bis zur Wand, nach der Grundformel gleich $\frac{E}{r} - \frac{E}{R}$; also ist $V_1 - V_2 = \frac{E}{R}$.

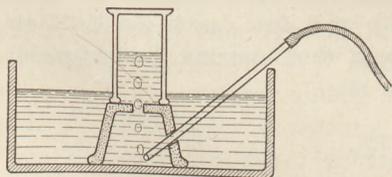
Das relative Potential kann also $\frac{E}{r}$ gesetzt werden, wenn R sehr groß ist. Umhüllt man die geladene Kugel mit einer geerdeten konzentrischen Kugelschale, so übernimmt diese die Rolle der Zimmerwände. (Kugelkondensator. $\frac{E}{r} - \frac{E}{R} = \frac{E}{r} \cdot \frac{R-r}{R}$.)

Um V_1 und V_2 für sich kennen zu lernen, beachte man, daß durch Influenz die Innenwand der Hohlkugel mit „ $-E$ “ geladen und daß „ $+E$ “ abgestoßen wird und sich auf der Oberfläche der Erdkugel (Radius ϱ) gleichmäßig verteilt, da die „ $+E$ “ der Kugel und die „ $-E$ “ der Hülle sich in ihren Wirkungen nach außen aufheben. Das absolute Potential der Erde ist jetzt $V_1 = V_0 + \frac{E}{\varrho}$, das der geladenen Kugel $\frac{E}{r} - \frac{E}{R} + V_0 + \frac{E}{\varrho}$. Mithin ist $V_2 = V_0 + \frac{E}{\varrho} - \frac{E}{R}$. Beachtet man aber, daß gleichzeitig mit der Erzeugung der „ $+E$ “ der Kugel durch Reibung eine gleich große Menge „ $-E$ “ erzeugt wurde, so kann man auch sagen, diese „ $-E$ “ verteilt sich auf der Innenwand der Hohlkugel; weitere Influenz tritt dann nicht ein, und es entfallen die Glieder $\frac{E}{\varrho}$ in den obigen Ausdrücken.

Für die Praxis.

Petroleum bei Kondensatorplatten. Von E. Brunn. Man kann schlechtwirkende Kondensatorplatten auf sehr einfache Weise wieder brauchbar machen, indem man sie mit bestgereinigtem Petroleum sorgfältig mittels eines weichen, reinen Lederläppchens einreibt. Das Petroleum ist wieder gut abzutupfen, so daß ein „Kleben“ der Platten nicht mehr stattfindet. — Als Erfolg dieser Behandlung zeigte sich bei zwei Kolbischen Elektroskopen ein Ausschlag von über 5^0 bei 1 Volt und entsprechend größere Ausschläge für höhere Voltzahlen. So ließ sich der Potentialabfall in einem Stromkreise, der aus einer Sammlerzelle und einigen Glühlämpchen bestand, ohne Schwierigkeit sichtbar machen. Entsprechende Versuche mit 2, 4 und 8 Zellen ergaben stets die zu erwartenden größeren Ausschläge, für 8 Zellen fast 70^0 . — Die Wirkung ist nach 4 Wochen noch ebensogut wie anfangs. — Die gute Isolation durch Petroleum und dessen höhere Dielektrizitätskonstante sind natürlich die Ursache der überraschend guten Ergebnisse. —

Der Blumentopf als Ersatz für die Brücke der pneumatischen Wanne. Von F. Hillig in Toledo, U. S. A. Als Untersatz beim Sammeln von Gasen leistet ein umgestülpter Blumentopf mit seitlich angebrachtem Loch gute Dienste und übertrifft die gewöhnliche Brücke. Das seitliche Loch, von etwa 1 cm Durchmesser, läßt sich leicht durch vorsichtiges Hämmern und Bohren mit einem zugespitzten Eisen herstellen.



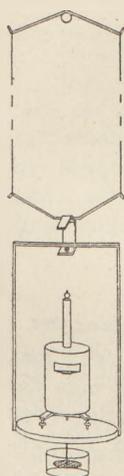
Die Vorzüge dieses Untersatzes sind folgende:

1. Man kann sich eines beliebigen Gefäßes als Wanne bedienen.
2. Die Zuleitungsröhre, in das seitlich angebrachte Loch gesteckt, wird ohne anderweitige Unterstützung gehalten.
3. Die Zuleitungsröhre braucht nicht nach oben gebogen zu sein.
4. Man kann statt einer Glasröhre den Kautschukschlauch direkt einstecken.
5. Man kann eine beliebige Anzahl mit Wasser gefüllter Gefäße bereithalten; auf der gewöhnlichen Brücke geht das kaum, da sie dieselbe zu sehr belasten und biegen.
6. Man kann den Raum der Wanne besser ausnützen.

Berichte.

1. Apparate und Versuche.

Eine einfache schütterfreie Aufhängung.
Von W. VOLKMANN. Um ohne große Kosten ein Meßinstrument erschütterungsfrei aufzuhängen, empfiehlt der Verf. die folgende Vorrichtung, die sich bereits in mehreren stark erschütterten Gebäuden bewährt hat. An einer runden Messingplatte ist ein Bügel aus Bandmessing befestigt, durch den oben in der Mitte ein 3 mm weites Loch gebohrt ist. Das Loch ruht mit hinreichender Reibung, um ungewollte Drehungen auszuschließen, auf einer Fahrradkugel, die in dem 3 mm weiten Loche eines Bügels aus Messingblech liegt.



Dieser Bügel ist oben in scharfer Ecke gebogen und liegt auf einem winkelförmig geknickten Stahldraht mit umgebogenen Enden. Ein ähnlich geformter Stahldraht in umgekehrter Stellung trägt das Ganze an Bindfäden, Drähten oder Kettchen. Er ruht in der eingedrehten Dreikantnute eines etwa 13 mm starken Stabes, der in die Wand eingepipst oder in einer Wandklemme¹⁾ festgespannt ist. Zur Beruhigung der ganzen Aufhängung dient eine Öldämpfung, gebildet aus einem runden Stück Kupferdrahtnetz, das je nach

der Art der Erschütterungen in Paraffinöl oder dickes Maschinenöl taucht. Das zu benutzende Instrument richtet man zunächst auf einer genau horizontalen Platte aus, stellt es dann zugleich mit einer Dosenlibelle auf die Messingplatte der Aufhängevorrichtung und beseitigt kleine Abweichungen dieser Platte von der richtigen Lage durch aufgelegte kleine Belastungen. Die Drahtfedern sollen sich um mehrere cm durchbiegen. Die gute Wirkung dieser Aufhängung beruht wesentlich darauf, daß jede Durchbiegung der lose aufgelegten Drahtfeder sich auf beide Fäden in genau gleicher Weise verteilt, so daß die Stöße, die noch bis unten kommen, nie Phasenunterschiede haben, die seitliche Schwankungen hervorbringen können.

Die Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents in Vorlesung und Praktikum. Von F. PASCHEN und K. WOLFF. (*Physikal. Zeitschr.*

XII, 1911, S. 1137.) Die hier beschriebene Anordnung schließt sich im Grundgedanken an die von E. Grimsehl (*diese Zeitschr.* XVI, 290) angegebene an, vervollkommenet sie aber in mehrfacher Hinsicht. Sie sucht namentlich die Fehlerquelle zu vermeiden, die darin liegt, daß ein Teil der durch Reibung eines kupfernen Hohlkonus hervorgebrachten Wärme in der reibenden Hohlwand stecken bleibt und so der Messung entgeht.

Eine erst roh improvisierte Anordnung war die folgende: Ein gut polierter Kupferzylinder wird horizontal, die Endflächen zwischen Hartgummistücken, in einem schweren Schraubstock eingeklemmt. Ein möglichst kleiner weicher Lederlappen umhüllt seine Oberfläche, die rauhe Seite auf dem Kupfer. Eine starke Schnur wird herumgewunden; an das herabhängende Schnurende werden 25 kg gehängt. Bei guter Politur der Oberfläche zieht sich die Schnur von selber gerade so fest, und die Reibung reguliert sich automatisch gerade so, daß das Gewicht langsam mit gleichförmiger Geschwindigkeit (das Leder auf der Oberfläche gleitend) herabsinkt. Die Arbeit ist offensichtlich 25 kg-Gew. \times Fallhöhe; die kinetische Energie des Gewichtes verschwindet dagegen. Die Wärmemenge ist gleich der Wärmekapazität des Kupferblockes mal der Temperaturerhöhung. Letztere wird mit einem Thermolemente Eisen-Konstantan gemessen, das durch eine Bohrung bis in die Mitte des Kupferblockes geführt ist. Die Demonstration des Thermostromes geschieht mit einem empfindlichen, gut durch Eisen geschützten, sehr schnell schwingenden und sehr stark gedämpften Galvanometer. Den Gradwert der Galvanometerskala bestimmt man mit Wasser von 10° und 20°, in welches das Thermolement neben dem Quecksilber eines Normalthermometers abwechselnd eingetaucht wird. Bei diesem rohen Versuch wurde die nach obigem bestimmte Wärmemenge stets zu klein gefunden (um ca. 12%). Die verloren gegangene Wärmemenge ist im schlecht leitenden Leder bei der Reibung erzeugt und nicht auf das Kupfer übergeleitet worden.

Es wurde darauf eine feinere Anordnung ausgearbeitet, die nach dem Urteil der Verfasser in bezug auf Genauigkeit den meisten im Praktikum gebräuchlichen Apparaten überlegen sein dürfte. (Vgl. die Figur.) Der

¹⁾ Erhältlich bei Leppin u. Masche, Berlin SO.

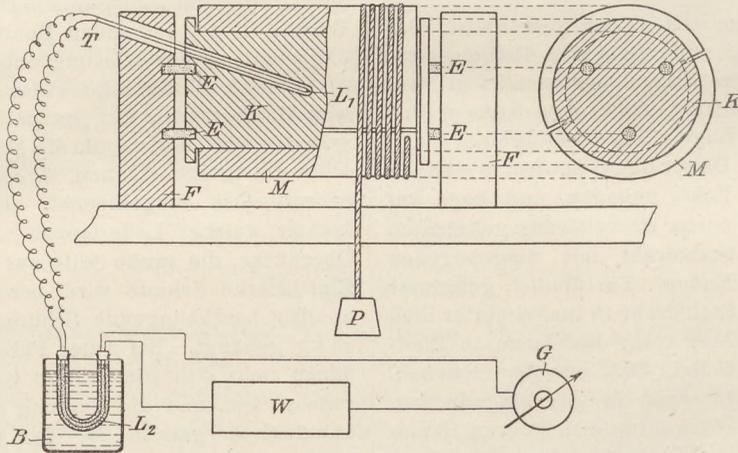
Kupferzylinder *K* (31 mm Durchmesser, 54 mm Länge) wird zwischen 6 Elfenbeinstückchen *E* gehalten. Statt des Leders reiben 2 Kupferhalbzylinderschalen *M* von 6 mm Dicke auf dem Zylinder. Unter Zwischenlegung von einem Stückchen dünnster Schleierseide, welches trocken mit einer Spur Seife bestrichen wird, reguliert sich auch hier die Reibung von selber in der oben beschriebenen Weise. 25 kg sinken in 1½ Minute gleichförmig um 1 m. Die Schnur bringt keinen Fehler

Thermoelemente bestimmt, dieses durch Vergleich mit einem bei 0° und 100° kontrollierten Normalthermometer geeicht.)

Gemeinsame Endtemperatur im Kalorimeter 22,535° C
Abkühlung des Kupfers 76,745° C
Wasserwert des Kupfers

$$\frac{1842,74 \times 2,609}{76,645} = 62,646 \text{ g}$$

(Spez. Wärme der 688,18 g Cu = 0,09103.)



in die Messung, weil sie Wärme schlecht leitet und nicht reibt. Die Wärmemenge wird nicht mehr merkbar zu klein erhalten.

Für die Vorlesung wird die Wärmekapazität der Kupfermasse vorausgesetzt. Der Gradwert der Galvanometerskala wird auf 20 cm pro 1° C abgeglichen. Das Experiment ist dann in zwei Minuten beendet. Im Praktikum bildet die genaue Bestimmung der Wärmekapazität des Kupfers eine weitere lehrreiche Arbeit. Im folgenden ist ein Versuch, wie er von Vorgeschrittenen im Praktikum ausgeführt wird, ausführlich wiederzugeben.

I. Wasserwert des Kupferzylinders inklusive der Seide.

Der Kupferzylinder, in einem kleinen elektrischen Ofen auf 99,28° C (gemessen mit einem durch siedendes Wasser geeichten Thermoelement) erwärmt, fällt in ein Kalorimeter vom Wasserwert 1842,74 g (7,75 g Wasserwert des Messingkalorimeters, 1832,60 g Wasser und 2,39 g Wasserwert des Beckmann-Thermometers).

Erwärmung des Kalorimeters um 2,616 Beckmann-Thermometer-Grade oder um 2,609 Celsiusgrade. (Der Gradwert des Beckmann-Thermometers ist durch Vergleich mit dem

II. Gradwert des Thermoelementes.

Ruhelage des Galvanometers 501,8 mm, Skalenabstand 3150 mm. Die Tangenten der Ausschlagwinkel sind streng proportional den Strömen. Das Thermoelement und 100 S.-E. liegen im Galvanometerkreis.

| Temperatur des Normalthermometers | Galvanometer-Einstellung | Ausschlag abgelesen | korrig. |
|-----------------------------------|--------------------------|---------------------|---------|
| 20,30° C | 949,0 | 447,2 | 445,0 |
| 12,07 | 240,0 | 261,8 | 261,4 |
| abgel. 8,23 | | | 706,4 |
| korrig. 8,21 | | | |

Skalenwert von 1° C $\frac{706,4}{8,21} = 86,01 \text{ mm}$

Ein zweiter Versuch gab . . . 86,03 -
Genommen wurde 86,02 -

III. Versuch.

Sinkende Masse (Gewicht 25028 g,
Befestigungshaken 151 g) . . . 25179 g
Erdbeschleunigung 980,9 cm/sec²
Kraft . . . 25179 × 980,9 = 2,4698 × 10⁷ Dyn.
Nullage des Galvanometers . . . 484,0 mm
Endstellung des Galvanometers . . . 560,8 „
Ausschlag des Galvanometers . . . 76,8 mm

Temperaturerhöhung } 76,8
des Kupfers } 86,02 = 0,892° C

Gang der Temperatur

vor dem Versuch 0
nach dem Versuch $-\frac{1}{100}^{\circ}\text{C}$ in
115 Sekunden.

Dauer des Versuches 95 Sekunden.

Temperaturverlust während dieser

Dauer $0,004^{\circ}\text{C}$

Korrigierte Temperaturerhöhung . $0,896^{\circ}\text{C}$

Fallhöhe des Gewichtes $95,2\text{ cm}$
Geleistete Arbeit

$$2,4698 \times 10^7 \times 95,2 = 2,3513 \times 10^9 \text{ Erg.}$$

Entstandene Wärmemenge.

$$62,646 \times 0,896 = 56,130 \text{ cal.}$$

Wärmeäquivalent

$$\frac{2,3513 \times 10^9}{56,130} = 4,189 \times 10^7 \frac{\text{Erg.}}{\text{cal.}}$$

Ein zweiter Versuch ergab $4,186 \times 10^7 \frac{\text{Erg.}}{\text{cal.}}$

Der wahrscheinlichste Wert der 15° -Kalorie ist gegenwärtig $4,188 \times 10^7 \text{ Erg.}^1)$. Es soll versucht werden, die Ungenauigkeiten der Methode noch zu verkleinern und so eine neue, mit der Rowlandschen gleichwertige Bestimmung auszuführen.

2. Forschungen und Ergebnisse.

Die Coulombschen Reibungsgesetze. Von F. PFEIFFER in Danzig-Langfuhr. — In meinem im 23. Jahrgang (1910) dieser Zeitschrift S. 214—223 erschienenen Bericht über die Ferienkursvorträge von Hrn. Geheimrat KLEIN in Göttingen Ostern 1910 sind die sogenannten Coulombschen Gesetze der trockenen Reibung fester Körper bereits erörtert, und außerdem ist auch auf die durch neuere Experimente wiederholt als nur sehr angenähert erwiesene Richtigkeit dieser Gesetze hingewiesen. Dagegen habe ich ein Eingehen auf die in jenen Vorträgen ebenfalls besprochenen Einwände ganz anderer Natur, die Hr. PAINLEVÉ gegen die Coulombschen Reibungsgesetze erhoben hat, mit dem Hinweis auf eine spätere ausführlichere Besprechung unterlassen; diese Besprechung soll der Zweck des vorliegenden Artikels sein. Es kann dabei nicht auf die ganze an die Painlevéschen Publikationen anschließende Literatur*) ein-

¹⁾ Nach K. Scheel und R. Luther: Verh. d. D. Phys. Ges. 1908, 584.

*) P. Painlevé, Paris, Comptes rendus de l'académie des sciences (weiterhin zitiert als C. R.) 120 (1895), S. 596; 121 (1895), S. 112; Leçons sur le frottement, Paris 1895; Paris, C. R. 140 (1905),

Einen Demonstrationsversuch über den Lichtdruck beschreibt A. AMERIO¹⁾. An einem Seiden- oder Quarzfaden hängt ein sehr feiner horizontaler Glasstab, an dessen Enden zwei sehr dünne Glasscheiben befestigt sind. Das System befindet sich in einem evakuierten Glasgefäß und trägt einen zur Beobachtung der Drehung dienenden Spiegel. Ein Bündel von Strahlen der Sonne oder einer Bogenlampe gelangt durch ein Nicol und ein Linsensystem auf eine der Glasscheiben. Ist der Einfallswinkel gleich dem Polarisationswinkel und das einfallende Licht senkrecht zur Einfallsebene polarisiert, so geht die ganze einfallende Energie durch die Glasscheibe, und der Lichtdruck ist wirkungslos. Dreht man aber das Nicol um 90° , so wird ein Teil der einfallenden Lichtenergie reflektiert und erzeugt einen Lichtdruck, der eine Drehung des Systems bewirkt. Etwaige auf Absorption der Strahlung durch das Glas beruhende radiometrische Wirkungen sind ausgeschlossen, da diese gerade bei der ersten Nicolstellung größer sein müßten, ferner auch das Linsensystem die von Glas absorbierbaren Strahlen schon beseitigt hat.

gegangen werden, vielmehr sollen an Hand eines einfachen Beispiels die Painlevéschen Einwände sowie die durch eine eingehendere Behandlung dieses Beispiels herbeigeführte Klärung der ganzen Sachlage erörtert werden. Ich werde dabei die Diskussion des Beispiels so ausführlich gestalten, als es mit Rücksicht auf den Umfang des Artikels möglich ist, und glaube diese Ausführlichkeit im Beispiel damit begründen zu können, daß dasselbe auch das Verhalten in komplizierteren ähnlich gelagerten Fällen klar erkennen läßt, während es andererseits eine vollständige Diskussion mit verhältnismäßig geringen Hilfsmitteln gestattet.

S. 702; 141 (1905), S. 401, 546; A. Mayer, Leipziger Berichte 53 (1901), S. 235; H. Chaumat, Paris, C. R. 136 (1903), S. 1634; L. Lecornu, Paris, C. R. 140 (1905), S. 635, 847; de Sparre, Paris, C. R. 141 (1905), S. 310; E. Daniele, Nuovo Cimento (5) 7 (1904), S. 109; (5) 9 (1905), S. 174, 266, 289; G. A. Maggi, Nuovo Cimento (5) 10 (1905), S. 240; de Sparre, Bulletin de la Soc. math. de France, t. 35 (1907), S. 141; F. Klein, R. v. Mises, G. Hamel, L. Prandtl, F. Pfeiffer, Zeitschr. f. Math. u. Phys. 58 (1910), S. 186—197, 273—311.

¹⁾ Nuovo Cimento 18, II, 424 (1909); Beibl. 34, 824 (1910).

1. Es handelt sich um folgende mechanische Aufgabe: Zwei Massenpunkte von den Massen m_1 und m_2 , die durch eine gewichtlose Stange von der festen Länge l verbunden sind (Fig. 1), sollen sich auf zwei parallelen Geraden bewegen; die Führung von m_1 soll den Reibungskoeffizienten μ der Bewegung

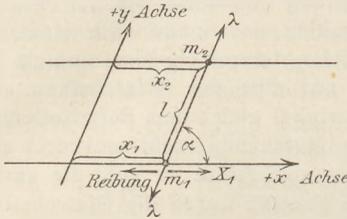


Fig. 1.

bzw. μ_0 der Ruhe haben, die von m_2 aber soll vollkommen glatt sein. Auf m_2 wirke nur die Reaktion der Führung und der Verbindungsstange, auf m_1 außerdem eine in Richtung der Führungsgeraden wirkende konstante Kraft X_1 und die von der Führung längs der Geraden herrührende Reibungskraft. Als x -Achse wählen wir die Führungsgerade von m_1 , als y -Achse eine diese unter dem Winkel α , dem Winkel der Verbindungsstange mit den Führungsgeraden, schneidende Gerade. Die Koordinaten der Massenpunkte m_1 und m_2 seien x_1 und x_2 (ihre Geschwindigkeiten $x_1' = \frac{dx_1}{dt}$ und $x_2' = \frac{dx_2}{dt}$, ihre Beschleunigungen $x_1'' = \frac{d^2x_1}{dt^2}$ und $x_2'' = \frac{d^2x_2}{dt^2}$), dann gilt zunächst die geometrische Bedingung:

$$x_1 = x_2; \tag{1}$$

und wenn λ der längs der Verbindungsstange wirkende Druck ist, lauten die Bewegungsgleichungen unseres Systems:

$$\left. \begin{aligned} m_1 x_1'' &= X_1 - \lambda \cos \alpha - \lambda (\mu) \sin \alpha \\ m_2 x_2'' &= \lambda \cos \alpha. \end{aligned} \right\} \tag{2}$$

Hier ist (μ) der im einzelnen Moment in Betracht kommende Wert des Reibungskoeffizienten, also, sobald Ruhe vorliegt,

$$-\mu_0 \leq (\mu) \leq +\mu_0;$$

im Falle der Bewegung dagegen ist für (μ) zwischen den Werten $+\mu$ und $-\mu$ so zu wählen, daß die Ungleichung:

$$(\mu) \lambda x_1' > 0 \tag{3}$$

erfüllt ist.

Aus 1) und 2) folgt sofort:

$$\lambda = \frac{X_1}{\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \cos^2 \alpha + \frac{1}{m_1} (\mu) \sin \alpha} \tag{4}$$

Wir behandeln den Fall einer von Null verschiedenen Anfangsgeschwindigkeit $x_{1_0}' (= x_{2_0}')$ unseres Systems — der Index 0 soll immer andeuten, daß die mit ihm versehenen Größen sich auf den Zeitpunkt $t=0$ beziehen —, und wir unterscheiden zwei Hauptfälle, je nachdem

$$\left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right) \cos \alpha \geq \frac{1}{m_1} \mu \sin \alpha$$

ist, wobei wir uns auf $0 < \alpha < \frac{\pi}{2}$ beschränken.

Im ersten Hauptfall, wo

$$\left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right) \cos \alpha > \frac{1}{m_1} \mu \sin \alpha$$

ist, sprechen wir von einer flachgestellten Stange, im zweiten Hauptfall mit

$$\left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right) \cos \alpha < \frac{1}{m_1} \mu \sin \alpha$$

von einer steilgestellten Stange; ist

$$\left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right) \cos \alpha = \frac{1}{m_1} \mu \sin \alpha,$$

so sprechen wir vom Übergangsfall.

Im ersten Hauptfall ist das Vorzeichen von λ stets positiv (da wir X_1 stets positiv voraussetzen); im zweiten Hauptfall stimmt das Vorzeichen von λ mit demjenigen von (μ) überein. Es sei nun für $t=0$ eine von Null verschiedene Anfangsgeschwindigkeit $x_{1_0}' (= x_{2_0}')$ des Systems gegeben. Was wird eintreten?

Im ersten Hauptfall (flach gestellte Stange) stehen

$$\text{für } x_{1_0}' > 0: (\mu) = +\mu \text{ und } \lambda > 0,$$

$$\text{für } x_{1_0}' < 0: (\mu) = -\mu \text{ und } \lambda > 0$$

in Einklang mit der Ungleichung 3) und der Gleichung 4).

Im zweiten Hauptfall (steil gestellte Stange) stehen

$$\text{für } x_{1_0}' > 0$$

$$\text{sowohl } (\mu) = +\mu \text{ und } \lambda > 0$$

$$\text{als auch } (\mu) = -\mu \text{ und } \lambda < 0$$

im Einklang mit 3) und 4), während

$$\text{für } x_{1_0}' < 0$$

$$\text{sowohl die Wahl } (\mu) = +\mu$$

$$\text{als auch die Wahl } (\mu) = -\mu$$

Widersprüche mit 3) bedingt.

Im Übergangsfall ist $\lambda > 0$ oder $\lambda = \infty$, je nachdem $(\mu) = +\mu$ oder $(\mu) = -\mu$, und wenn wir nur endliche Werte von λ berücksichtigen wollen, steht

$$\text{für } x_{1_0}' > 0: (\mu) = +\mu \text{ und } \lambda > 0$$

im Einklang mit 3) und 4), während

$$\text{für } x_{1_0}' < 0: (\mu) = +\mu \text{ und } \lambda > 0$$

einen Widerspruch mit 3) gibt.

Wir erhalten also:

1. im Fall der flachgestellten Stange bei $x'_{10} > 0$, da $x_1'' = x_2'' = \lambda \cos \alpha$ ist, eine beschleunigte Bewegung des Systems in Richtung der Kraft X_1 , bei $x'_{10} < 0$ eine verzögerte Bewegung in der entgegengesetzten Richtung,

2. im Fall der steilgestellten Stange bei $x'_{10} > 0$ zwei Bewegungen in Richtung der wirkenden Kraft X_1 , eine beschleunigte und eine verzögerte; dagegen bei $x'_{10} < 0$ keine Bewegung unseres Systems,

3. im Übergangsfall, wenn wir nur die Bewegungen für endliches λ in Betracht ziehen, bei $x'_{10} > 0$ eine beschleunigte Bewegung in Richtung der Kraft X_1 , bei $x'_{10} < 0$ keine Bewegung.

Wir kommen so zu dem überraschenden Resultat, daß bei 2. für das System bei vorgegebener Anfangslage und Anfangsgeschwindigkeit je nach dem Vorzeichen der Anfangsgeschwindigkeit zwei mögliche Bewegungen sich ergeben, oder keine Bewegung sich ergibt, und daß sich bei 3. wenigstens im Falle $x'_{10} < 0$ keine Bewegung zu vorgegebener Anfangslage und Anfangsgeschwindigkeit ergibt.

Derartige sonderbare Ergebnisse sind es, auf die Hr. PAINLEVÉ als auf „résultats singuliers“ zuerst hingewiesen hat, und wegen deren er die Coulombschen Reibungsgesetze als in manchen Fällen „logiquement inadmissibles“ bezeichnet.

2. Diese zunächst paradox erscheinenden Resultate werden nun verständlich, wenn wir in folgender Weise verfahren: Wir nehmen bei unserm System die Verbindungsstange etwas elastisch nachgiebig mit sehr großem Elastizitätsmodul E an und bestimmen die Bewegungen des so geschaffenen „elastischen Systems“; dabei treten keine Besonderheiten auf. Dann bestimmen wir die Grenzbewegungen, gegen die die Bewegungen des elastischen Systems eventuell konvergieren, wenn wir mit E zur Grenze $\lim E = \infty$ übergehen, und werden dann finden, daß uns unsere oben benutzten Ansätze für das starre System gerade diese Grenzbewegungen lieferten, also gerade die dem „Grenzfall des elastischen Systems mit $\lim E = \infty$ “ zukommenden wohldefinierten Bewegungen.

Wir beschränken uns dabei auf den Fall der steilgestellten Stange; der Übergangsfall läßt sich dann leicht erledigen; der Fall der flachgestellten Stange bot überhaupt keine Besonderheiten.

Wir setzen also jetzt gegen vorhin voraus, daß die Verbindungsstange der beiden Massenpunkte etwas elastisch nachgiebig sei; der Elastizitätsmodul E sei sehr groß; die Führungen werden weiterhin als vollkommen starr angesehen. Wenn wir dieselben Bezeichnungen wie vorhin verwenden und (Fig. 2)

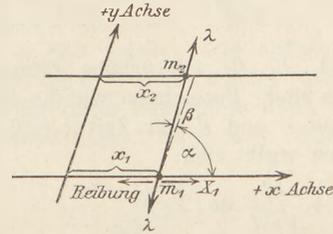


Fig. 2.

die Vergrößerung des Winkels der Verbindungsstange gegen die Führung infolge der elastischen Nachgiebigkeit der Stange mit β bezeichnen, dann lauten die Differentialgleichungen der Bewegung für das elastische System:

$$\left. \begin{aligned} m_1 x_1'' &= X_1 - \lambda \cos(\alpha + \beta) - \lambda(\mu) \sin(\alpha + \beta) \\ m_2 x_2'' &= \lambda \cos(\alpha + \beta). \end{aligned} \right\} 5)$$

Dabei gilt für (μ) das auf S. 102 Gesagte. Durch Subtraktion der beiden Gleichungen folgt, wenn die elastische Nachgiebigkeit der Stange so gering ist, daß wir $\sin \beta = \beta$ vernachlässigen und $\cos \beta = 1$ setzen können:

$$\begin{aligned} x_1'' - x_2'' &= \frac{X_1}{m_1} \\ &- \lambda \left\{ \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right) \cos \alpha + \frac{1}{m_1} (\mu) \sin \alpha \right\}. \end{aligned}$$

Führt man eine neue Variable:

$$\xi = x_1 - x_2$$

ein und setzt:

$$\lambda = \nu \xi,$$

wo ν eine dem Elastizitätsmodul E proportionale sehr große positive Zahl ist, so geht die letzte Gleichung über in:

$$\begin{aligned} \lambda'' &= \nu \frac{X_1}{m_1} \\ &- \nu \lambda \left\{ \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right) \cos \alpha + \frac{1}{m_1} (\mu) \sin \alpha \right\}. \end{aligned}$$

Vermöge der Abkürzungen:

$$\frac{X_1}{m_1} = a,$$

$$\left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right) \cos \alpha + \frac{1}{m_1} \mu \sin \alpha = d,$$

$$- \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right) \cos \alpha + \frac{1}{m_1} \mu \sin \alpha = f$$

geht die Differentialgleichung für λ über in:

$$\lambda'' = \nu a - \nu \lambda d \quad \text{bzw.} \quad \lambda'' = \nu a + \nu \lambda f, \quad (6)$$

je nachdem $(\mu) = \pm \mu$ ist. Die allgemeinsten Lösungen dieser Differentialgleichungen sind:

$$\lambda = \frac{a}{d} + A_1 \sin t \sqrt{\nu d} + A_2 \cos t \sqrt{\nu d} = \lambda_I,$$

bzw.

$$\lambda = -\frac{a}{f} + B_1 e^{t\sqrt{\nu f}} + B_2 e^{-t\sqrt{\nu f}} = \lambda_{II},$$

wo A_1, A_2, B_1, B_2 willkürliche Integrationskonstante sind. Bezeichnen wir die Anfangswerte von λ und λ' zur Zeit $t=0$ mit λ_0 und λ_0' , so ergibt sich:

$$\lambda = \frac{a}{d} + \frac{\lambda_0'}{\sqrt{\nu d}} \sin t \sqrt{\nu d} + \left(\lambda_0 - \frac{a}{d} \right) \cos t \sqrt{\nu d} = \lambda_I,$$

bzw.

$$\lambda = -\frac{a}{f} + \frac{1}{2} \left(\lambda_0 + \frac{a}{f} + \frac{\lambda_0'}{\sqrt{\nu f}} \right) e^{t\sqrt{\nu f}} + \frac{1}{2} \left(\lambda_0 + \frac{a}{f} - \frac{\lambda_0'}{\sqrt{\nu f}} \right) e^{-t\sqrt{\nu f}} = \lambda_{II}.$$

Da (bei unsern Annahmen über β)

$$x_2'' = \frac{\lambda}{m_2} \cos \alpha$$

ist, so erhält man nach Einsetzen von λ in diese Gleichung durch ein- bzw. zweimalige Integration x_2' und x_2 und dann auch x_1' und x_1 als Funktionen von t .

Die 4 Fälle der Bewegung des elastischen Systems unter Druck- und Zugbeanspruchung der Stange mit $x_1' > 0$ (nach rechts) und $x_1' < 0$ (nach links) sind mit den zugehörigen Werten von λ und (μ) in folgender Tabelle zusammengestellt:

| | Druck $\lambda > 0$ | Zug $\lambda < 0$ |
|----------------------|--|--|
| Rechts $x_1' > 0$ | $(\mu) = +\mu$ $\lambda = \lambda_I$ | $(\mu) = -\mu$ $\lambda = \lambda_{II}$ |
| Links $x_1' < 0$ | $(\mu) = -\mu$ $\lambda = \lambda_{II}$ | $(\mu) = +\mu$ $\lambda = \lambda_I$ |

3. Die Bewegungen unseres elastischen Systems sind sehr mannigfaltig; ich kann im folgenden nur die Resultate geben, welche die in meinem S. 101, Anm.*) zitierten Aufsatz ins einzelne durchgeführte Diskussion lieferte.

Wir haben ein System mit zwei Freiheitsgraden, also zwei freie Parameter, als die wir etwa x_1 und λ wählen können. Wir bekommen so, wenn wir $x_{1_0}, x_{1_0}', \lambda_0, \lambda_0'$ je die ganze Zahlenreihe durchlaufen lassen, eine

vierparametrische Schar von Bewegungen. Diese Bewegungen sind von ganz verschiedenem Typus, je nachdem im Laufe der Bewegung x_1' oder λ gleich Null wird oder nicht; werden sie Null, so ist es für den Charakter der Bewegung wesentlich, ob x_1' oder λ zeitlich früher Null wird. Wenn $x_1' = 0$ wird, so heißt das, daß die reibende Masse m_1 zur Ruhe kommt; wir wollen alle Bewegungen, bei denen dies überhaupt eintritt, nur bis zu dem Moment verfolgen, in dem $x_1' = 0$ wird, und diesen Vorgang als „Sperrung der Bewegung“ bezeichnen.

Eine große Vereinfachung der Diskussion gewährt uns folgender Umstand: Die genauere Durchführung zeigt, daß man bei jedem vorgegebenen Wertesystem $x_{1_0}, x_{1_0}', \lambda_0, \lambda_0'$ einen Wert N für ν so finden kann, daß für jedes elastische System mit $\nu > N$ der Typus der Bewegung derselbe bleibt wie für das mit $\nu = N$. Da es uns aber schließlich nur darauf ankommt, die eventuellen Grenzbewegungen zu bestimmen, gegen die die Bewegungen des elastischen Systems mit $\lim \nu = \infty$ konvergieren, so genügt es daher, die Bewegung nur eines der elastischen Systeme mit $\nu \leq N$ zu studieren. Bei der unten folgenden Diskussion der Bewegungen sind auch stets elastische Systeme mit solchem „genügend großen“ ν vorausgesetzt. Weiter ist von vornherein klar, daß der Wert von x_{1_0} ganz unwesentlich ist; ferner zeigt sich, daß der Absolutbetrag von x_{1_0}' nur auf die Größe N von Einfluß ist, und daß die Bewegungen des Systems von dem Wert λ_0' bei unendlich werdendem ν unabhängig werden. Wir können uns daher bei der Diskussion auf die Betrachtung der einparametrischen Schar von Bewegungen beschränken, die wir erhalten, wenn wir λ_0 die ganze Zahlenreihe durchlaufen lassen, wobei wir x_{1_0}' einmal positiv, einmal negativ, aber von irgendwie festgewähltem Absolutwert nehmen und für λ_0' den Wert Null wählen²⁾.

Wir stellen nun die verschiedenen Typen von Bewegungen zusammen, die den einzelnen Wertebereichen des λ_0 entsprechen, erst für Anfangsgeschwindigkeit der Masse m_1 nach rechts ($x_{1_0}' > 0$), dann für solche nach links ($x_{1_0}' < 0$)³⁾. In den beigetzten Figuren

²⁾ In den folgenden Figuren ist λ_0' nicht immer $= 0$, das ist aber so unwesentlich, daß es sich nicht lohnte, die Figuren nochmal umzuzeichnen.

³⁾ Im folgenden sind mit Absicht einige unwesentliche Grenzfälle nicht aufgeführt.

sind einerseits die Koordinaten x_1 und x_2 der Massenpunkte m_1 und m_2 , andererseits die Spannung λ in der Verbindungsstange als Funktionen von t aufgetragen. Die Bedeutung der Buchstaben a, d, f ist auf S. 103 festgelegt.

$$x'_{1_0} > 0, \quad \lambda_0 > 0.$$

$$0 < \lambda_0 < \frac{a}{d} \quad \text{und} \quad \frac{a}{d} < \lambda_0 < \frac{2a}{d}.$$

Bei diesen Anfangswerten λ_0 bleibt λ stets positiv; die Stange steht beständig unter Druck, der um den Mittelwert $\frac{a}{d}$ in Sinuswellen herumschwankt.

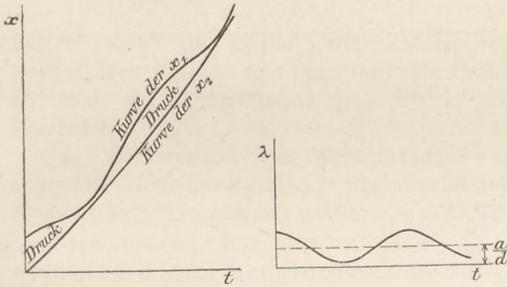


Fig. 3 a.

Fig. 3 b.

Die beiden Massenpunkte führen neben einer beschleunigten Bewegung nach rechts sehr rasche ungedämpfte Schwingungen aus; x_1' wird nicht Null; die Bewegung setzt sich unbegrenzt lange fort. Für x_2 ergibt sich durch Überlagerung sehr kleiner Schwingungen mit einer Parabel eine von dieser nur sehr wenig abweichende Kurve ohne Wendepunkte (Fig. 3 a und 3 b).

$$\lambda_0 = \frac{a}{d}, \quad \lambda_0' = 0.$$

Zu diesem speziellen Wert gehört die gleichförmig beschleunigte Bewegung mit

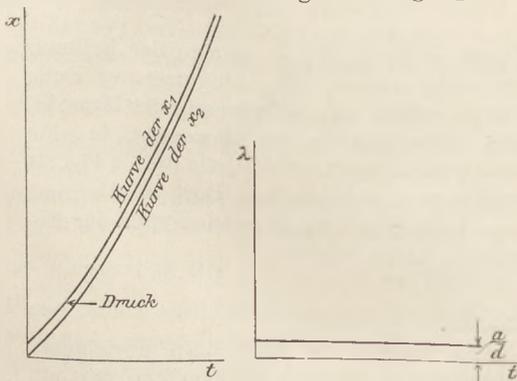


Fig. 4 a.

Fig. 4 b.

U. XXIV.

konstantem Druck $\lambda = \lambda_0 = \frac{a}{d}$ in der Stange (Fig. 4 a und 4 b).

$$\frac{2a}{d} < \lambda_0 < \frac{a}{d} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{d}{f}} \right).$$

Für diese Gruppe von Anfangswerten tritt im Laufe der Bewegung ein Spannungswechsel ($\lambda = 0$) in der Stange ein, und zwar bevor $x_1' = 0$ würde. Die anfängliche Bewegung unter Druck schlägt um in eine Bewegung unter Zug, diese dann wieder in eine solche unter Druck usw. Die Kurven

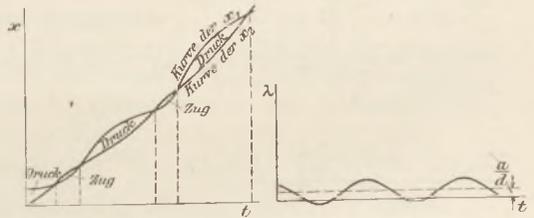


Fig. 5 a.

Fig. 5 b.

der x_1 und x_2 durchsetzen sich also fortwährend; die aufeinanderfolgenden Schnittpunkte liegen auf einer Parabel (Fig. 5 a und 5 b). Dabei sind zwei Unterfälle zu beachten: Bei allen Werten λ_0 des Intervalls, die kleiner als ein bestimmtes λ_0 innerhalb des Intervalls sind, ist die Parabel konvex gegen die t -Achse (vgl. Fig. 5 a); bei allen diesen Werten λ_0 setzt sich die Bewegung unter abwechselndem Druck und Zug beliebig lange fort. Dies gilt auch noch im Grenzfall, wo die Parabel in eine Gerade übergeht. Für die übrigen λ_0 des Intervalls ist die Parabel konkav gegen die t -Achse; der Spannungswechsel tritt nur eine endliche Anzahl von Malen auf, dann kommt bei exponentiell anwachsendem Zug m_1 zur Ruhe.

$$\lambda_0 > \frac{a}{d} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{d}{f}} \right).$$

Bei diesen Anfangswerten tritt nur einmaliger Spannungswechsel von Druck in Zug ein, dann Sperrung der Bewegung, indem der Zug exponentiell anwächst, und $x_1' = 0$

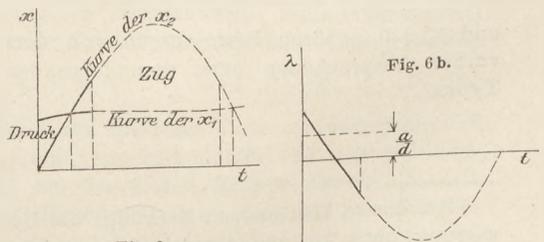


Fig. 6 a.

Fig. 6 b.

wird (Fig. 6a und 6b). (Natürlich setzt sich die Bewegung des Systems dann weiter fort, wie es in der Figur durch die punktierten Linien angedeutet ist, was wir aber nicht weiter untersuchen.)

$$x'_{1_0} > 0. \quad \lambda_0 < 0.$$

$$-\frac{a}{f} < \lambda_0 < 0.$$

Die hierzu gehörigen Bewegungen sind wieder Bewegungen unter wechselndem Zug und Druck; es gilt von ihnen das bei $\frac{2a}{d} < \lambda_0 < \frac{a}{d} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{d}{f}}\right)$ Gesagte, nur daß die Bewegung jetzt mit Zug in der Stange beginnt.

$$\lambda_0 = -\frac{a}{f}, \quad \lambda_0' = 0.$$

Diesem Wert entspricht eine gleichförmig verzögerte Bewegung mit dem konstanten Zug $\lambda = \lambda_0 = -\frac{a}{f}$ in der Stange; m_1 kommt allmählich zur Ruhe (Fig. 7a und 7b). (Es sei hier besonders betont, daß die gleichförmig verzögerte Bewegung nur für $\lambda_0 = -\frac{a}{f}$ und

ponentiell anwachsendem Zug so lange, bis m_1 zur Ruhe kommt; dann beginnt eine Bewegung eines anderen Typus (Fig. 8a und 8b).

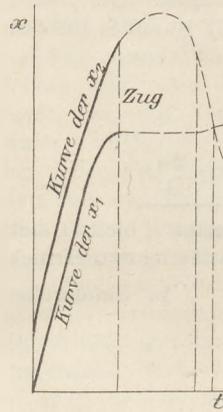


Fig. 8a

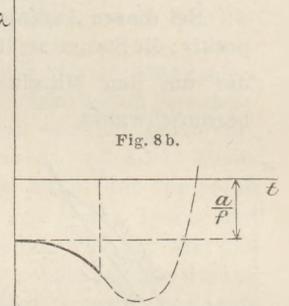


Fig. 8b.

$$x'_{1_0} < 0.$$

$$\lambda_0 > 0.$$

Bei Anfangsbewegung nach links unter Druck haben wir Weiterbewegung ohne Spannungswechsel bei exponentiell anwachsendem

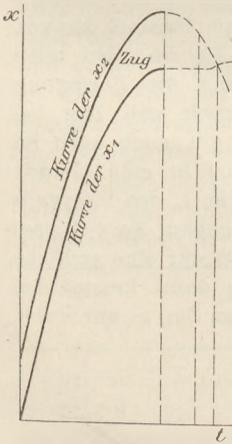


Fig. 7a.

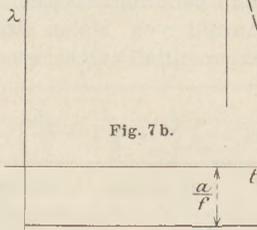


Fig. 7b.

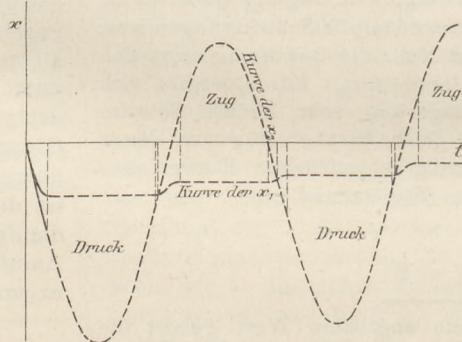


Fig. 9a.

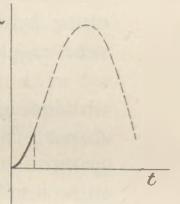


Fig. 9b.

$\lambda_0' = 0$ eintritt; zu Anfangswerten $\lambda_0 = -\frac{a}{f}$ und $\lambda_0' \neq 0$ gehören Bewegungen von dem vorher besprochenen bzw. dem folgenden Typus.)

$$\lambda_0 < -\frac{a}{f}.$$

Bei diesen Werten von λ_0 erfolgt die Bewegung ohne Spannungswechsel unter ex-

Druck so lange, bis m_1 infolge der Reibung zur Ruhe kommt. (Bei eingetretener Ruhe von m_1 erfolgt eine Schwingung der Masse m_2 und dann Umkehr der Bewegung in eine nach rechts fortschreitende, wie dies in Fig. 9a punktiert angedeutet ist. Dort ist übrigens $\lambda_0 = 0$ gewählt, was aber am Typus der Bewegung nichts ändert.)

$$\lambda_0 < 0.$$

Im Verlauf der nach links gerichteten Bewegung unter anfänglichem Zug tritt ein Spannungswechsel in Druck ein; dann kommt

m_1 unter exponentiell anwachsendem Druck zur Ruhe (Fig. 10a und 10b).

Damit sind die wesentlichen Typen der Bewegung charakterisiert, die wir erhalten, wenn wir sowohl bei positivem als auch bei

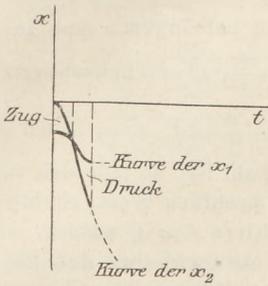


Fig. 10a.

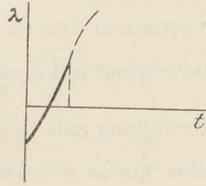


Fig. 10b.

negativem x'_1 das λ_0 die ganze Zahlenreihe durchlaufen lassen und uns auf elastische Systeme mit „genügend großem“ ν beschränken.

4. Wir werden jetzt untersuchen, was sich aus den Bewegungen des elastischen Systems ergibt, wenn wir ν über alle Grenzen wachsen lassen. Wir werden dann sagen, eine Bewegung des elastischen Systems konvergiere für $\lim \nu = \infty$ gegen eine bestimmte Grenzbewegung, wenn die die betreffende Bewegung des elastischen Systems darstellenden Funktionen $x_i(t, \nu)$, $x'_i(t, \nu)$, $x''_i(t, \nu)$ ($i = 1, 2$) auch noch für $\lim \nu = \infty$ jedem in Betracht kommenden Wert von t je einen ganz bestimmten Wert von x_i , x'_i , x''_i zuordnen.

Für die einzelnen behandelten Gruppen von Bewegungen, deren Anordnung wir etwas abändern wollen, ergeben sich dann die folgenden Resultate.

Die zu den Anfangswerten $x'_{1_0} > 0$, $\lambda_0 = \frac{a}{d}$, $\lambda'_0 \geq 0$ gehörigen Bewegungen konvergieren gegen eine ganz bestimmte Grenzbewegung, nämlich die gleichförmig beschleunigte Bewegung, mit dem konstanten Druck $\lambda = \frac{a}{d}$ in der Stange. Ebenso konvergiert die zu $x'_{1_0} > 0$, $\lambda_0 = -\frac{a}{f}$, $\lambda'_0 = 0$ gehörige Bewegung des elastischen Systems gegen eine gleichmäßig verzögerte Bewegung mit konstantem Zug $\lambda = -\frac{a}{f}$ in der Stange.

Diese beiden wohldefinierten Grenzbewegungen sind gerade die beiden Bewegungen, die uns die Ansätze für das starre System bei $x'_{1_0} > 0$ lieferten.

Bei den Bewegungen mit $0 < \lambda_0 < \frac{a}{d}$ und $\frac{a}{d} < \lambda_0 < \frac{2a}{d}$ konvergieren — wie die genauere Untersuchung zeigt — zwar sowohl die Kurven $x_i(t)$ als auch $x'_i(t)$ gegen bestimmte Grenzkurven; aber bei der Kurve $\lambda(t)$ (Fig. 3b) bewirkt der Übergang zu $\lim \nu = \infty$ ein unbegrenztes Zusammenrücken der einzelnen Sinusschwingungen bei endlich bleibender Amplitude. Der Wert von λ und damit der ihm proportionale Wert von x''_i ist daher für keinen Wert von t definiert; wir werden hier nicht von einer Grenzbewegung sprechen.

Dasselbe gilt auch bei der Gruppe der unter wechselndem Zug und Druck verlaufenden Bewegungen mit den Anfangswerten

$$x'_{1_0} > 0 \begin{cases} \frac{2a}{d} < \lambda_0 < \frac{a}{d} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{d}{f}}\right) \\ -\frac{a}{f} < \lambda_0 < 0. \end{cases}$$

Hier läßt sich zeigen, daß die Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Spannungswechseln mit $\lim \nu = \infty$ gegen Null konvergiert, während die maximalen Amplituden der Kurve $\lambda(t)$ (Fig. 5b) ihre von 0 verschiedenen Werte behalten, so daß auch hier wieder ein unbegrenztes Zusammenrücken der einzelnen Schwingungen der Kurve $\lambda(t)$ eintritt, so daß λ und damit x''_i in der Grenze für keinen Wert von t definiert ist.

Was schließlich die sich sperrenden Bewegungen betrifft, die zu den Anfangswerten

$$x'_{1_0} > 0 \begin{cases} \lambda_0 > \frac{a}{d} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{d}{f}}\right) \\ \lambda_0 < -\frac{a}{f} \end{cases}$$

und

$$x'_{1_0} < 0, \lambda_0 \geq 0$$

gehören, so zerfallen diese, wie wir gesehen haben, in zwei Gruppen: solche mit den

Anfangswerten $x'_{1_0} > 0$, $\lambda_0 > \frac{a}{d} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{d}{f}}\right)$

und $x'_{1_0} < 0$, $\lambda_0 < 0$, bei denen die Sperrung erst nach stattgehabtem Spannungswechsel eintritt, und solche mit den Anfangswerten

$x'_{1_0} > 0$, $\lambda_0 < -\frac{a}{f}$ und $x'_{1_0} < 0$, $\lambda_0 \geq 0$, bei

denen die Sperrung ohne vorausgegangenen Spannungswechsel eintritt. Es zeigt sich nun, daß bei der ersten Gruppe sowohl die Zeit von Beginn der Bewegung bis zum Eintritt des Spannungswechsels als auch die Zeit von

hier bis zur Sperrung, und bei der zweiten Gruppe die Zeit von Beginn der Bewegung bis zur Sperrung für $\lim \nu = \infty$ gegen Null konvergiert. Wir werden aber in beiden Fällen nicht von einer Grenzbewegung sprechen, da beide Male in der Grenze die Spannung vom Werte λ_0 aus im Moment $t = 0$ über alle Grenzen wächst und daher λ ebenso wie x_2'' für $t = 0$ nicht eindeutig definiert ist.

Wir wollen aber festhalten, daß speziell für alle Bewegungen des elastischen Systems mit $x'_{1_0} < 0$ sich als ein Resultat aus dem Grenzübergang ergibt, daß mit über alle Grenzen wachsendem ν die Zeitdauer vom Beginn der Bewegung bis zum Eintritt der Sperrung gegen Null konvergiert, daß also — wie wir sagen können — die für jeden (noch so großen) endlichen Wert ν wohldefinierte Bewegung für $\lim \nu = \infty$ gegen eine instantane Selbstsperrung konvergiert.

Die einzigen Grenzvorgänge, die wir unserer Festsetzung gemäß als „Grenzbewegungen“ bezeichnen werden, sind somit die oben gefundene gleichförmig beschleunigte Bewegung mit $\lambda = \frac{a}{d}$ und die gleichförmig verzögerte Bewegung mit $\lambda = -\frac{a}{f}$.

Vergleichen wir nun die durch Grenzübergang zum „elastischen System mit $\lim \nu = \infty$ “ gewonnenen Resultate mit den Ergebnissen aus unsern direkten Ansätzen für das „starre System“. Diese Ansätze gaben uns für $x'_{1_0} > 0$ zwei Bewegungen, und zwar genau die eben gefundenen Grenzbewegungen. Für $x'_{1_0} < 0$ zeigten sie nur, daß keine Bewegung möglich sei, und stehen auch damit in Übereinstimmung mit den Resultaten des Grenzübergangs, insofern als dieser auch keine Grenzbewegung bei $x'_{1_0} < 0$ ergab. Sie sagen jedoch nichts darüber aus, was wirklich eintritt. Aber wenn wir die Vorgänge beim starren System identifizieren mit denen beim „elastischen System mit $\lim \nu = \infty$ “ (was gerade auf Grund der erwähnten Übereinstimmung naheliegend erscheint), so lehren uns die Grenzbetrachtungen am elastischen System, daß wir dieses negative Ergebnis dahin interpretieren können, daß instantane Selbstsperrung eintritt⁴⁾.

⁴⁾ Es sei hier noch erwähnt, daß sich im Übergangsfall zwischen flach- und steilgestellter Stange (vgl. S. 102) für $\lambda = \infty$ die instantane Selbstsperrung als Resultat aus den Diffe-

Wir untersuchen noch die beiden für das „elastische System mit $\lim \nu = \infty$ “ gefundenen Bewegungen auf ihre Stabilität. Beginnen wir mit der gleichförmig verzögerten Bewegung mit $\lambda_0 = -\frac{a}{f}$. Betrachtet man beim elastischen System mit beliebigem ν eine zur Bewegung mit $\lambda_0 = -\frac{a}{f}$, $\lambda_0' = 0$ benachbarte Bewegung mit $\lambda_0 = -\frac{a}{f} - \delta$, $\lambda_0' = 0$ (wo δ eine kleine positive Zahl ist), so läßt sich zu jedem vorgegebenen positiven Wert ε ein hinreichend kleines positives $\delta = \delta_1$ wählen, so daß die Abweichung etwa zwischen dem Element x_2 der gestörten und demselben Element der ungestörten Bewegung absolut genommen kleiner als ε ist für jede Störung δ , die kleiner als δ_1 ist, und für jeden Moment t innerhalb eines endlichen Zeitraums ($0 < t < T$). Dieses δ_1 konvergiert aber mit $\lim \nu = \infty$ für jedes von 0 verschiedene T gegen Null, und daher nennen wir die gleichförmig verzögerte Bewegung des „elastischen Systems mit $\lim \nu = \infty$ “ labil. Die zu $\lambda_0 = \frac{a}{d}$ gehörige Bewegung des „elastischen Systems mit $\lim \nu = \infty$ “ erweist sich bei einer ähnlichen Untersuchung, die sich auf alle die Bewegung bestimmenden Elemente erstrecken muß, als stabil, wenn man als gestörte Bewegung der gleichförmig beschleunigten Bewegung des elastischen Systems mit beliebigem ν irgendeine ihrer Nachbarbewegungen mit wenig von $\frac{a}{d}$ abweichendem λ_0 und wenig von 0 abweichendem λ_0' zuläßt.

Identifizieren wir wieder das „starre System“ mit dem „elastischen System mit $\lim \nu = \infty$ “, so werden wir auch von den durch unsere direkten Ansätze für das starre System gelieferten beiden Bewegungen die gleichförmig beschleunigte als stabil, die gleichförmig verzögerte als labil betrachten.

5. Wir geben schließlich noch die Beschreibung eines Apparates zur Demonstration der geschilderten Vorgänge. Eine Skizze dieses nach Angaben von Hrn. Prof. PRANDTL hergestellten Apparates und Detailzeichnungen enthalten die Fig. 11a—11d. Die beiden Führungen sind auf einer Holzplatte von 100×30 cm² montiert; die beiden parallelen Holzleisten, welche die Führung von m_1 bilden, sind fest; die Führung von m_2 (zwei auf ein

rentialgleichungen des starren Systems ergibt.

Flacheisen geschraubte Winkeleisen) (Fig. 11d) ist längs zweier Schlitze in der Holzplatte verschiebbar, um durch Änderung des Abstandes der beiden Führungen ohne Änderung der Länge der Verbindungsstange die Stange flach und steil stellen zu können. Die

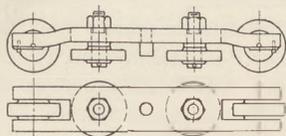


Fig. 11 a.

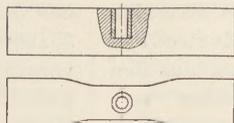


Fig. 11 b.

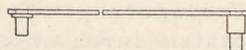


Fig. 11 c.

Masse m_1 wird durch ein Holzprisma (Fig. 11b) gebildet; die an den Führungsleisten reibenden Flächen desselben sind mit Glaspapier überklebt. Um die Reibung in der Führung von m_2 möglichst klein zu bekommen, ist hier rollende Reibung von Metall auf Eisen gewählt. Die beiden längs der Winkeleisen

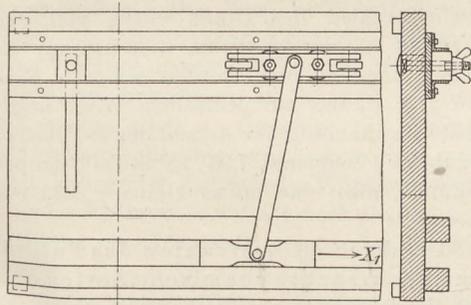


Fig. 11 d.

laufenden Rollen sind leicht drehbar auf einem Wagen befestigt (Fig. 11a), der selbst auf Rollen aus Metall auf dem Flacheisen läuft. Die Verbindungsstange ist in Fig. 11c und 11d dargestellt; die Kraft X_1 wird durch ein mittels Schnur an m_1 befestigtes Gewicht ausgeübt.

Es läßt sich mit dem Apparat außer der beschleunigten Bewegung nach rechts auch eine Bewegung vom Typus der Bewegungen unter abwechselndem Druck und Zug nach rechts ausführen, wenn man durch leichtes Andrücken von m_1 an die Führung die Stange unter Zug setzt. Bei Anfangsgeschwindigkeit des Systems nach links ist sehr gut zu unterscheiden zwischen der verzögerten Bewegung bei flachgestellter Stange und der sehr rasch sich sperrenden Bewegung bei steilgestellter Stange. (Natürlich tritt nach Sperrung der Bewegungen infolge der Wirkung von X_1 aus der Ruhe heraus sofort die gewöhnliche beschleunigte Bewegung nach rechts wieder ein.)

Sperrung der Bewegung nach rechts läßt sich sehr schön dadurch zeigen, daß man bei der gewöhnlichen beschleunigten Bewegung das sinkende Gewicht plötzlich aufhält oder es auf den Boden sich aufsetzen läßt. Es ist zu beachten, daß bei diesem Apparat nicht genau

die Verhältnisse vorliegen, die wir in der Rechnung voraussetzten; bei ihm sind die Vorgänge wesentlich beeinflusst durch die elastische Nachgiebigkeit aller Teile des Systems und die Spielräume in den Führungen. Um alle Bewegungen des elastischen Systems gut zu übersehen, müßte man eine federnde Verbindungsstange anbringen und, was sehr schwierig wäre, die Spielräume des Apparates auf ein wesentlich geringeres Maß zurückführen.

F. Pfeiffer.

Radioaktivität. 1. Die α -Strahlen. Die von Rutherford 1906 angestellten Versuche über Reichweite und Geschwindigkeitsabnahme der α -Strahlen (diese Zeitschr. XIX. 109) wurden von H. GEIGER mit größeren Radiummengen unter Benutzung der Szintillationsmethode wiederholt¹⁾. Als Radiumquelle diente RaC , an Stelle der absorbierenden Aluminiumblättchen wurde Glimmer benutzt. Die Versuche führten nicht, wie bei Rutherford, zur Annahme einer kritischen Geschwindigkeit, unterhalb welcher die α -Strahlen keinerlei Wirkung mehr ausüben, sondern zu der Auffassung, daß die Geschwindigkeit gegen das Ende der Reichweite sehr rasch abnimmt und wahrscheinlich so gering wird, daß sie der Geschwindigkeit gewöhnlicher Gasmoleküle vergleichbar wird. Im Augenblick der Emission war die Geschwindigkeit aller α -Teilchen konstant; beim Durchgang durch Luft machten sich kleine Unterschiede in der Geschwindigkeit geltend. Die Beziehung zwischen der Geschwindigkeit v eines α -Teilchens und der Entfernung k von der Strahlungsquelle läßt sich nach GEIGER durch die Gleichung $v^3 = a(R - k)$ darstellen, wo a eine Konstante und R die Reichweite der Strahlen bedeutet. Nimmt man die Ioni-

¹⁾ Le Radium 7, 136; Naturw. Rundsch. 25, 514 (1910).

sation in einem Punkte als der abgegebenen Energie proportional an, so läßt sich durch jene Formel die durch die α -Teilchen bewirkte Ionisation als Funktion des durchlaufenen Weges ausdrücken. Die auf diese Weise berechneten Werte stimmten mit den experimentell gefundenen vorzüglich überein.

Die Veränderung der Reichweite der α -Strahlen durch elektrische Potentiale berechnete M. REINGANUM aus den bekannten Daten über α -Strahlen und fand, daß diese Veränderung für ein Potential von + 10000 Volt im Durchschnitt 0,216 mm betragen muß²⁾. Um den Betrag auch experimentell festzustellen, wurde die Entladung eines Dolezaleschen Elektrometers durch die α -Strahlen des Poloniums bestimmt, wenn das Präparat abwechselnd positiv geladen, ungeladen oder negativ geladen war. Da die α -Strahlen selbst positive Ladung besitzen, muß die Reichweite am größten sein bei positiver, am kleinsten bei negativer Ladung des Präparats. Der Verf. bestimmte dann die Strecke, um welche man die Entfernung des Präparats von der Ionisierungskammer ändern mußte, um bei negativer Ladung die gleiche Entladungsdauer des Elektrometers zu erhalten wie bei positiver. Er erhielt so für die Reichweiteänderung auf + 10000 Volt 0,217 mm, also fast die gleiche Zahl wie durch Rechnung.

Die Anzahl der von Uran- und Thormineralien ausgesandten α -Teilchen bestimmten GEIGER und RUTHERFORD durch Bestimmung und durch direkte Beobachtung³⁾. Sie gingen aus von der von ihnen früher festgestellten Tatsache, daß 1 g Radium und jedes der drei α -Strahlen-Produkte im radioaktiven Gleichgewicht $3,4 \cdot 10^{10}$ α -Teilchen pro Sekunde aussendet. Da nach Rutherford und Boltwood 1 g Uran $3,4 \cdot 10^{-7}$ g Radium enthält, so würde, wenn 1 Atom Uran bei seiner Umwandlung 1 α -Teilchen aussendet, die Zahl der von 1 g Uran in der Sekunde ausgesandten α -Teilchen $N = 3,4 \cdot 10^{10} \cdot 3,4 \cdot 10^{-7} = 11\,600$ sein. Da aber Boltwood gezeigt hat, daß die Totalaktivität des Urans, gemessen mit der elektrischen Methode, doppelt so groß ist, als wenn man für sein Atom nur 1 α -Teilchen annimmt, so muß man für 1 g Uran $2N = 2,32 \cdot 10^4$ α -Teilchen annehmen. Ein Uranmineral enthält im radioaktiven Gleichgewicht noch

6 α -Strahlen-Produkte, außerdem Aktinium, dessen α -Teilchen etwa 0,17 von denen des Urans betragen. Daraus ergibt sich die Anzahl der von 1 g Uranmineral pro Sekunde ausgesandten α -Teilchen $= 2,34N + 6N = 8,34N = 9,76 \cdot 10^4$.

Die Auszählung der α -Teilchen wurde mit der Szintillationsmethode bei Uranoxyd, Joachimsthaler Pechblende und Thoriumoxyd vorgenommen. Die Verf. erhielten für Uran $2,37 \cdot 10^4$, für Uranmineral $9,6 \cdot 10^4$ α -Teilchen, also mit der Rechnung sehr gut übereinstimmende Werte. Für 1 g Thorium wurden bei radioaktivem Gleichgewicht $2,7 \cdot 10^4$ α -Teilchen gefunden. Da jedes α -Teilchen 1 Heliumatom ist, so kann man aus den gefundenen Zahlen die Heliumerzeugung der einzelnen Substanzen berechnen. Es ergibt sich so, daß pro Gramm und Jahr Uran $2,75 \cdot 10^{-5}$ cmm, Thorium $3,1 \cdot 10^{-5}$ cmm, Uranmineral im Gleichgewicht $11,0 \cdot 10^{-5}$, Radium im Gleichgewicht 158 cmm Helium erzeugt. — Die Reichweite der α -Strahlen des Urans wurde von den Verf. zu 2,5 ccm bestimmt, d. h. kleiner, als bisher angenommen worden war. — Eine von J. N. BROWN auf demselben Wege angestellte Bestimmung der Anzahl der α -Teilchen ergab für Pechblende $7,36 \cdot 10^4$ α -Teilchen pro Sekunde, also eine etwas kleinere Zahl wie oben⁴⁾.

Die durch die α -Strahlen des Poloniums verursachte chemische Zerlegung des Wassers untersuchte K. BERGWITZ⁵⁾. Er fand das Verhältnis des Sauerstoffs zum Wasserstoff im entwickelten Knallgas 1:2,5, bei einem andern Versuch 1:2,1 (Ramsay und Soddy hatten 1:2,6 gefunden). Wo der fehlende Sauerstoff blieb, war nicht festzustellen. In 10 Tagen wurde von dem Poloniumpräparat 0,8868 ccm Knallgas gebildet. Die hierzu nötige Energie ist $= 7,6098 \cdot 10^7$ erg; aus der bekannten Energie eines α -Teilchens ($3,624 \cdot 10^{-6}$ erg) läßt sich die Zahl der in 10 Tagen ausgesandten α -Teilchen berechnen; in einer Sekunde waren es $2,4304 \cdot 10^7$ Teilchen. Hieraus und aus der radioaktiven Konstante des Poloniums wurde die Anzahl der Poloniummoleküle, — daraus und dem Atomgewicht des Poloniums (206) das Gewicht des Poloniumpräparats $= 0,0002$ mg berechnet. Da nach Geiger eine α -Partikel 282000 Ionenpaare erzeugt, so läßt sich aus der obigen Zahl der α -Teilchen und der bekannten La-

²⁾ Sitzungsber. der Heidelberger Akademie d. Wiss. 8, 13 (1910); Naturw. Rundsch. 25, 515 (1910).

³⁾ Phil. Mag. 20, 691 (1910).

⁴⁾ Proc. of the Royal Soc. 84, 151 (1910); Naturw. Rundsch. 26, 85 (1911).

⁵⁾ Phys. Zeitschr. 11, 273 (1910).

dung eines Ions der von den α -Teilchen zu unterhaltende Maximalstrom berechnen; Verf. fand diesen zu $\sim 5,3 \cdot 10^{-7}$ Amp. Der direkt durch Versuche bestimmte Sättigungsstrom jenes Präparats betrug $5,5 \cdot 10^{-6}$ Amp. Die diesem Sättigungsstrom entsprechende Poloniummenge würde nur 0,002 mg betragen. Da die Methode des Sättigungsstroms 10mal soviel an Polonium ergibt wie die Analyse der Zersetzungsprodukte des Wassers, so würde das heißen, daß nur $\frac{1}{10}$ der Strahlungsenergie zur Leistung der chemischen Arbeit aufgewandt worden ist. Die andern 90% dürften dann zur Erwärmung des Wassers verwandt worden sein.

Die Energie der von einer gewissen Menge Radiumemanation kommenden α -Strahlen bestimmte W. DUANE durch Messung der von ihnen in einem empfindlichen Kalorimeter erzeugten Wärmemenge⁶⁾. Die Strahlen gelangten durch ein Glimmerfenster in eine Röhre, die sich in dem Kalorimeter befand. Der Verf. hofft, auf diesem Wege die Energie der α -Strahlen während ihres Verlaufs, ebenso die Energie der β - und γ -Strahlen bestimmen zu können. DUANE untersuchte auch ein Gemenge von Radium und einem phosphoreszierendem Salz und fand, daß weder das Salz die Wärmeentwicklung des Radiums beeinflußt, noch die Radiumstrahlung in dem Salz chemische Energie auslöst.

2. Die β -Strahlen. Die Frage, ob die Absorption der β -Strahlen nach einem Exponentialgesetz erfolgt, hat, wie L. MEITNER ausführt, für die Auffassung von dem Wesen der Strahlen eine grundlegende Bedeutung⁷⁾. Das Exponentialgesetz besagt, daß von gleichen Schichtdicken einer Substanz immer der gleiche Prozentsatz absorbiert wird. Nimmt man nun die Geschwindigkeit der Strahlen als Maßstab für ihre Durchdringbarkeit an, so müssen Strahlen, die nach einem Exponentialgesetz absorbiert werden, ihre Geschwindigkeit beim Durchgang durch die Materie unverändert beibehalten; ein Teil der Strahlen wird dabei von der absorbierenden Substanz zurückgehalten. Ferner muß man annehmen, daß Strahlen, deren Absorption nach einem Exponentialgesetz erfolgt, das radioaktive Atom mit einer ganz bestimmten Geschwindigkeit verlassen, daß sie daher von einer einheitlichen Substanz emittiert werden. Umgekehrt wäre, wenn sich Abweichungen vom

Exponentialgesetz ergeben, auf eine aus verschiedenen Zerfallsproduktion bestehende Substanz zu schließen, deren Einzelwirkungen sich dann superponieren. Die Versuche von O. HAHN und L. MEITNER hatten diese Annahmen bestätigt. So ließ sich das *Ra C*, dessen β -Strahlen nicht nach einem Exponentialgesetz absorbiert wurden, in mehrere Komponenten zerlegen. Ferner gelang es mit Hilfe jener Annahme, neue β -Strahlen (bei Radioaktinium, *Ra* und *Th X*) aufzufinden⁸⁾ und neue Zerfallsprodukte (*Akt C*, *Th D*) zu entdecken.

Ein Kriterium dafür, ob einzelne β Strahlengruppen homogen sind oder nicht, muß sich aus ihrer Ablenkung im magnetischen Felde ergeben mit einer Versuchsanordnung, wie sie zuerst Kaufmann anwandte. Die in einer schmalen Rille befindliche radioaktive Substanz wirft die Strahlen durch einen engen Spalt auf eine photographische Platte, auf der sich dann ein scharfes Bild des Spaltes abbildet. Ein senkrecht zu den Strahlen wirkendes magnetisches Feld bringt eine von der Geschwindigkeit der Strahlen abhängige Ablenkung derselben hervor, und man muß, wenn einzelne β -Strahlengruppen von bestimmten Geschwindigkeiten vorhanden sind, einzelne getrennte Spaltbilder (ein magnetisches Linienspektrum), im anderen Falle ein breit ausgezogenes kontinuierliches Band erhalten. Kaufmann und Bucherer hatten bei Radium ein solches Band erhalten, und Wilson hatte aus diesen und anderen eigenen Versuchen geschlossen, daß die β -Strahlen einer bestimmten Substanz nicht durch eine bestimmte Geschwindigkeit charakterisiert seien. Dagegen erhielten O. v. BAEYER und O. HAHN bei Benutzung einheitlicher Substanzen deutliche Linienspektren⁹⁾. Die von ihnen mit *Th (A + B + C + D)* gemachten photographischen Aufnahmen zeigten zwei deutliche Spaltbilder, entsprechend den β -Strahlen des *Th A* und *Th D*. Das Mesothorium 2 ergab sechs verschiedene, deutlich getrennte Streifen; *Ra E₂*, dessen β -Strahlen nach einem Exponentialgesetz absorbiert werden, ergab ein einziges Spaltbild. Dagegen wurde in keinem dieser Fälle ein kontinuierliches Spektrum für β -Strahlen gefunden. Daraus würde in der Tat folgen, daß die einzelnen Radioelemente einzelne Gruppen von β -Strahlen ganz bestimmter Geschwindigkeit emittieren.

⁶⁾ C. R. **151**, 379, 471 (1910).

⁷⁾ Naturwiss. Rdsch. **25**, 337 (1910).

⁸⁾ Phys. Zeitschr. **11**, 493 (1919).

⁹⁾ Phys. Zeitschr. **11**, 488 (1910); Verh. der Deutschen Phys. Ges. **12**, 468 (1910).

Die Methode des magnetischen Spektrums gibt zugleich die Möglichkeit, die Geschwindigkeit einzelner β -Strahlengruppen genau zu bestimmen sowie neue, stark absorbierbare β -Strahlen nachzuweisen.

Im Gegensatz zu den Hahnschen Untersuchungen stehen solche von GRAY¹⁰⁾ und von GRAY und WILSON¹¹⁾, die sowohl auf photographischem Wege wie durch Ionisationsversuche Nichthomogenität der von einer dicken Schicht von *Ra E* kommenden β -Strahlen beobachteten und daraus schlossen, daß die Absorption der β -Strahlen nach einem Exponentialgesetz kein Kriterium ihrer Homogenität sei.

In mehr theoretischer Weise hatte H. W. SCHMIDT den Durchgang der β -Strahlen durch Materie behandelt (s. diese Zeitschr. XXIII, 116). In einer neueren Arbeit gibt er die experimentelle Bestätigung seiner Anschauungen¹²⁾. Er hatte für zusammengesetzte Substanzen eine Mischungsregel angegeben, mit der man das „Reflexionsvermögen“ und die „Durchdringungsfähigkeit“ der β -Strahlen aus zwei der Strahlenart zukommenden universellen Konstanten und der chemischen Konstitution der bestrahlten Substanz berechnen kann. Mit einem besonderen Apparat untersuchte der Verf. die Durchlässigkeit dünner Flüssigkeitsschichten für β -Strahlen (Wasser, Benzol, Tetrachlorkohlenstoff, Chloroform, Quecksilber und andere). Die experimentell gefundenen Größen stimmten völlig mit den nach der Mischungsregel berechneten überein. Um zu entscheiden, ob die Mischungsregel auch für die reflektierte bzw. die Sekundärstrahlung gilt, hat SCHMIDT nicht direkte Versuche angestellt, sondern die Ergebnisse einer Untersuchung von S. J. ALLEN¹³⁾ mit den von ihm berechneten Werten der obigen Konstanten für die verschiedenen Substanzen verglichen. Die Übereinstimmung war auch hier befriedigend, so daß die Allenschen Zahlen als Beweis für die Richtigkeit der SCHMIDTschen Theorie angesehen werden können. Aus dieser würde sich ergeben, daß für den Durchgang der β -Strahlen durch Materie alle besonderen Unterschiede der Materie verschwinden, und daß für die experimentell bestimmbareren Größen lediglich zwei der Strahlenart zukommende Konstanten und das Atomgewicht

der durchstrahlten Substanz von Bedeutung sind.

Die Absorption und Reflexion der β -Strahlen bilden ebenfalls den Gegenstand einer Reihe von Arbeiten, die im Laboratorium Rutherfords in Manchester ausgeführt wurden. So untersuchte W. A. BORODOWSKY die Absorption der β -Strahlen des Radiums durch Lösungen und Flüssigkeiten¹⁴⁾. Im wesentlichen wurden die früheren Ergebnisse bestätigt gefunden. Die Absorption war der von den β -Teilchen durchdrungenen Masse, bei einer Salzlösung der darin befindlichen Salzmenge direkt proportional. Überhaupt absorbieren Lösungen die Strahlen nach denselben Gesetzen wie feste Körper. Bei Verbindungen folgt die Absorption einem additiven Gesetz. A. F. KOVARIK beobachtete einige bei den Absorptionsversuchen durch Zerstreuung und Reflexion veranlaßte Unregelmäßigkeiten¹⁵⁾. Die durch Aluminiumblättchen wachsender Dicke gehenden β -Strahlen ergaben bis zu einer gewissen Blättchendicke eine Zunahme, dann erst die natürliche Abnahme der Ionisationswirkung. Diese Zunahme wird auf Zerstreuung der Strahlen durch das absorbierende Blättchen zurückgeführt. Die radioaktive Substanz hatte der Verf. auch auf einem dünnen Aluminiumblättchen niedergeschlagen. Befand sich unter diesem Blättchen Luft, so war der Absorptionskoeffizient der von der Substanz ausgesandten β -Strahlen kleiner, als wenn eine reflektierende Substanz sich darunter befand, und zwar wuchs er mit dem Atomgewicht des Reflektors. Um daher eine genaue Absorptionskurve zu erhalten, muß man für das absorbierende Blättchen und für die Unterlage der aktiven Substanz dieselbe Dicke wählen, da beide Wirkungen sich dann kompensieren. Der Betrag der durch Ionisationsversuche bestimmten Reflexion der β -Strahlen an verschiedenen Metallen ist eine Funktion ihrer Geschwindigkeit; für Strahlen, deren Absorptionskoeffizient durch Aluminium zwischen 75 und 20 cm liegt, ist er größer als für Strahlen größerer Geschwindigkeit; für sehr durchdringende Strahlen nimmt die Reflexion wieder ab. Der Betrag der Reflexion nimmt zu mit dem Atomgewicht des Reflektors. Durch vielfache Reflexion kann die Ionisation von 100 auf 350 gesteigert werden. Versuche, die KOVARIK mit WILSON zusammen über die Reflexion

¹⁰⁾ Proc. Roy. Soc. **84**, 136 (1910).

¹¹⁾ Phil. Mag. **20**, 870 (1910).

¹²⁾ Phys. Zeitschr. **11**, 262 (1910).

¹³⁾ Phys. Rev. **29**, 177 (1909).

¹⁴⁾ Phil. Mag. **19**, 605 (1910).

¹⁵⁾ Phil. Mag. **20**, 849 (1910).

der durch ein Magnetfeld ausgesonderten homogenen Strahlen verschiedener Geschwindigkeit anstelle, führten zu ähnlichen Ergebnissen¹⁶⁾.

3. Die γ -Strahlen. Die Natur der γ -Strahlen wurde von mehreren Forschern theoretisch und experimentell zu bestimmen gesucht. Nach der am meisten verbreiteten Annahme sind sie elektromagnetische Impulse im Äther, hervorgerufen durch die als β -Strahlen sich loslösenden Elektronen. (Nach Sommerfeld kann diese von einem Zentrum sich ausbreitende Feldstörung auch ohne Annahme eines Äthers gedacht werden.) Nach der von Bragg vertretenen Theorie sind die γ -Strahlen neutrale, aus der Vereinigung von α - und β -Strahlen entstehende Korpuskeln, die beim Auftreffen auf die Materie zersplittern und dadurch die sekundären Strahlen veranlassen. Als dritte Theorie tritt die Lichtquantenhypothese hinzu, derzufolge die elektromagnetische Energie eines „ γ -Quantums“ in einem kleinen Volumen konzentriert bleibt und sich nur nach einer bestimmten Richtung hin fortpflanzt. Mit der Frage der experimentellen Entscheidung unter diesen Theorien beschäftigen sich Arbeiten von E. v. SCHWEIDLER¹⁷⁾ und von EDGAR MEYER¹⁸⁾. Letzterer zeigt, daß die beiden zuletzt genannten Theorien das Gemeinsame haben, daß die Strahlung nicht gleichmäßig über den Raumwinkel verteilt ist, sondern daß es bestimmte Richtungen maximaler Energiedichte gibt. Die Strahlung besitzt hier eine anisotrope Struktur. Denkt man sich um den Ausgangspunkt A der Strahlung eine Kugel mit dem Radius R beschrieben und auf dieser ein Flächenstückchen F abgegrenzt, so wird bei anisotroper Struktur der Strahlung die sich in F bemerkbar machende Anzahl von Elementarprozessen Z proportional F/R^2 , bei isotroper Struktur dagegen von F und R unabhängig sein. Eine Zählung der in F pro Zeiteinheit eintreffenden γ -Wirkungen ergibt sich durch Bestimmung der von Schweidler entdeckten zeitlichen Schwankungen der radioaktiven Strahlung, wonach die prozentische Abweichung ϵ von der pro Zeiteinheit zerfallenden Atomzahl Z durch die Beziehung $\epsilon = 1/\sqrt{Z}$ gegeben ist. Bei isotroper Strahlung muß ϵ von F unabhängig, bei anisotroper dagegen proportional $1/\sqrt{F}$ sein. Zur Entscheidung

der Frage brachte E. MEYER 16 g Radiumbromid in den Mittelpunkt einer Halbkugel aus Blei, innerhalb der sich noch zwei kleinere konzentrische Messinghalbkugeln befanden. Die das Messing durchdringende Strahlung bestand dann nur aus γ -Strahlen, die den Raum zwischen Messing und Blei ionisierten; die Stärke der Ionisation wurde mit der Methode des Sättigungsstroms gemessen; durch passend angebrachte Bleiblenden konnte die Strahlung auf gewisse Raumwinkel beschränkt werden. Bei anisotroper Natur der Strahlung müssen die bei verschiedenen Blenden beobachteten Schwankungen ϵ sich wie die Quadratwurzeln aus den zugehörigen Sättigungsströmen verhalten; bei isotroper Struktur müssen sie den Sättigungsströmen direkt proportional sein. Die Messungen ergaben das erstere, woraus also der Schluß zu ziehen ist, daß die γ -Strahlung anisotrope Struktur besitzt. Allerdings scheint dieses Ergebnis für die Entscheidung unter den obigen Theorien doch nicht auszureichen, da man es auch bei der Impulstheorie nicht mit vollkommener Isotropie zu tun hat. Hierbei ist noch zu beachten, daß die durch γ -Strahlen bewirkte Ionisierung vielleicht nicht direkt, sondern mittelbar durch sekundäre β -Strahlen erfolgt, was auch zur Annahme diskontinuierlich verteilter Elementarprozesse führen würde.

Die von RUSSELL und SODDY begonnenen Untersuchungen der γ -Strahlen (diese Zeitschr. XXIII, 117) sind weiter fortgesetzt worden¹⁹⁾. Eine ihrer Arbeiten beschäftigt sich mit der Frage der Homogenität der γ -Strahlen und führt zu dem Schlusse, daß die primären γ -Strahlen (wenigstens die des Radiums) anfangs homogen sind. Die Absorption in Holzhalkugeln für einen Strahlenkegel von 180° folgt einem Exponentialgesetz mit konstantem Wert des Absorptionskoeffizienten ($\lambda = 0,5$); in Zinkhalbkugeln kommt eine weiche sekundäre Strahlung hinzu, deren Absorptionskoeffizient 4,5 mal so groß ist als der der primären. Die primären γ -Strahlen wurden von Blei bis zu 22 cm Dicke nach einem Exponentialgesetz ($\lambda = 0,5$) absorbiert; die Abweichungen bei großen Dicken sind auch hier auf die Bildung sehr durchdringender sekundärer Strahlen zu schieben. Überhaupt werden die Strahlen beim Durchgang durch Blei „gehärtet“. Was die verschiedenen γ -Strahlen aussendenden Produkte anlangt,

¹⁶⁾ Phil. Mag. 20, 866 (1910).

¹⁷⁾ Phys. Zeitschr. 11, 225 u. 614 (1910).

¹⁸⁾ Sitzungsber. d. Berliner Akademie 1910, S. 647; Naturw. Rundsch. 25, 493 (1910).

¹⁹⁾ Phil. Mag. 19, 725 (1910); 21, 130 (1911).

so zeichnen sich *Ra C*, *Th D* und Mesothorium durch ihr hohes und ähnliches Verhältnis der γ - zur β -Strahlung aus. *Ur X* gibt β - und γ -Strahlen von ähnlicher durchdringender Kraft wie *Th* und *Ra C*, aber das γ/β -Verhältnis ist ein ganz anderes. *Akt C* hat weniger durchdringende β - und γ -Strahlen, aber das γ/β -Verhältnis ist deutlich größer als bei *Ur X*. Die durchdringendsten von allen γ -Strahlen sendet *Th D* aus; dann folgen im Durchdringungsvermögen der Strahlen in absteigender Reihe: *Ra C*, Mesothorium 2, *Ur X*, *Akt C*. So geben die γ -Strahlen ein besonders geeignetes Mittel zur Vergleichung der radioaktiven Substanzen.

Untersuchungen, die D. C. H. FLORANCE über die sekundären γ -Strahlen anstellte, bestätigten die schon früher gemachte Beobachtung, daß diese Strahlen auf der Einfallsseite weicher sind als auf der abgewandten Seite²⁰). Eine Vergrößerung der Oberfläche der primären Strahlenquelle bewirkt ein Weicherwerden der Sekundärstrahlung; eine Zunahme der Dicke der Quelle härtet die primären und die abgewandten sekundären Strahlen. Für Radiatoren verschiedenen Stoffes variiert die Qualität der Strahlen; bei richtig gewählter Dicke jedes Radiators ist die Qualität der primären und sekundären Strahlen von der Substanz unabhängig. Der Verf. schließt daraus, daß die Art der sekundären γ -Strahlung nicht abhängt von dem sie aussendenden Atom, sondern nur von der primären Strahlung. Die Härtung der Strahlen durch Schirme läßt sich darauf zurückführen, daß die weicheren Teile der inhomogenen Primärstrahlen stärker zerstreut werden. Bei dieser Auffassung gäbe es keine selektive Absorption; die sekundäre γ -Strahlung wäre nur eine Wirkung der Zerstreung. *Schk.*

Ultraviolette Strahlen. Über ein Filter für ultraviolette Strahlen und seine Anwendungen berichtete H. LEHMANN auf der Naturforscherversammlung in Königsberg¹). Es beruht im wesentlichen auf der Fähigkeit des Nitrosodimethylanilins, ultraviolette Strahlen durchzulassen, worauf schon 1903 Wood aufmerksam machte (diese Zeitschr. XVI, 297). Um das von dem Farbstoff auch durchgelassene Grün und Rot zu eliminieren, benutzte Wood grünes Signalglas und blaues Kobaltglas; diese Kombination läßt aber noch

etwas Grün hindurch und absorbiert das Ultraviolett oberhalb $300 \mu\mu$. LEHMANN fand das Jenaer Blau-Uviolglas für den angegebenen Zweck geeigneter, da es für ultraviolette Strahlen viel durchlässiger ist als die Woodsche, auch als eine von Kalähne angegebene Kombination. Um das vom Blau-Uviolglas noch durchgelassene äußerste Rot hinwegzunehmen, ist eine 20proz. Lösung von Kupfersulfat in 5 mm Dicke geeignet. Das ganze Filter bestand hiernach aus einer Küvette für die Kupfersulfatlösung, deren Wände Blau-Uviolglasplatten von entsprechender Dicke waren; das Nitrosodimethylanilin befand sich in Gelatinelösung entweder auf der Außenfläche der einen Wand oder auch zwischen zwei Blau-Uviolglasplatten, so daß die Küvette dann zweiteilig war. Solche Filterküvetten werden in runder Form von Zeiss in Jena geliefert.

Das Ultraviolettfiter eignet sich besonders zu Versuchen über Photolumineszenz. Als Lichtquelle benutzte der Verf. die Quarzlampe von Heraeus, bei höheren Energien das „Eisenlicht“ (Kohlenstäbe mit Docht aus Eisensalzen), auch das gewöhnliche Bogenlicht. Die Lichtquelle befand sich im Brennpunkt einer Kondensorlinse aus Quarz, vor der in einiger Entfernung das Filter aufgestellt war. Um kleinere Flächen intensiver zu beleuchten, wurden die Strahlen noch durch eine zweite Quarzlinse gesammelt und auf dem Objekt konzentriert. Alles war natürlich lichtdicht eingeschlossen.

Fallen die ultravioletten Strahlen auf einen gewöhnlichen Schirm von Leinwand oder Papier, so sieht man einen bläulichweißen Lichtfleck; Porzellan dagegen erscheint fast schwarz. Die ersteren zeigen also Fluoreszenz, letzteres nicht. Starke Fluoreszenz zeigen Lösungen von Äsculin, Uranin, Rhodamin, ferner Jenaer Uranglas, Didymglas, Gelbgas, Rubin, Platincyanüre, Chlorophyll. Die Fluoreszenzspektren lassen sich bei allen sehr schön untersuchen. Zur Untersuchung der Phosphoreszenz sind die von Lenard beschriebenen Phosphore sehr geeignet. Für viele Demonstrationen läßt sich der von Zeiss hergestellte Zinksulfidschirm gut benutzen. Die Verschiedenheit der Phosphoreszenzfarbe bei der Erregung und bei der Abklingung ließ sich gut beobachten. Im allgemeinen lassen sich mit dem Ultraviolettfiter ähnliche Lumineszenzerscheinungen erzeugen wie durch Kathodenstrahlen. Es gelang dem Verf. ferner, an Chemikalien, Mineralien, Pflanzen und tierischen Stoffen bis dahin unbekannt Leucht-

²⁰) Phil. Mag. 20, 921 (1910).

¹) Verh. d. Deutschen Phys. Ges. 12, 890; Phys. Zeitschr. 11, 1039 (1910).

vorgänge nachzuweisen und darauf eine Lumineszenzanalyse zu gründen. Die chemische Reinheit, die Art der Verunreinigung, die Darstellungsweise und Herkunft einer Substanz macht sich durch Verschiedenheit der Lumineszenz bemerkbar, was von dem Verf. an einer Anzahl von festen und flüssigen Stoffen gezeigt wird. Auch organische Substanzen, Pilze, Algen, die Teile eines Eies, Milch, Fette, Teile des menschlichen Körpers zeigen im ultravioletten Licht eine ganz spezifische Fluoreszenz.

Einen elektrischen Detektor für ultraviolette Strahlen benutzte E. W. B. GILL²⁾. Die von einer Funkenstrecke zwischen Aluminiumelektroden kommenden Strahlen gelangten nach Passierung einer Linse, eines Prismas und einer zweiten Linse (alle aus Quarz) durch ein Quarzfenster in den evakuierten Beobachtungsraum und auf eine hier befindliche Zinkplatte, die mit einem Elektrometer verbunden war. Vor der Zinkplatte befand sich in 6 mm Entfernung eine Gaze aus Silberdraht, die auf einem Potential von 400 Volt gehalten wurde. Die ultravioletten Strahlen erzeugten auf der Zinkplatte Elektronen; durch das Elektrometer wird der zwischen Gaze und Zinkplatte von ihnen erzeugte Strom gemessen. Die so bei der *Al*-Funkenstrecke gefundene Intensitätsverteilung schließt sich an die von Pflüger durch bolometrische Messung gefundene Energiekurve eng an. Der Verf. gelangte zu Wellen, die für Quarz einen Brechungsindex von 1,7 haben. Bei $n = 1,66$ zeigte sich ein erstes Maximum; bei $n = 1,67$ hat der Quarz eine starke Absorptionsbande; bei $n = 1,68$ erreicht die Intensität ein zweites Maximum.

Die Ozonisierung der Luft durch ultraviolettes Licht wurde zuerst 1900 von Lenard beobachtet. Einige Forscher bestätigten, andere bestritten diese Beobachtung. Zu einer neuen Prüfung der Frage benutzte E. VAN AUBEL eine Quecksilberquarzlampe der A. E. G. in Berlin, deren Strahlen er das Ozon leicht lösende Olivenöl aussetzte³⁾. Nach $2\frac{1}{2}$ Stunden Exposition zeigte das Öl beim Schütteln mit Jodkaliumstärkelösung deutliche Blaufärbung, die bei nicht bestrahltem Öl ausblieb. Eine ähnliche Beobachtung machte der Verf. mit Petroleum. Destilliertes Wasser, das 14 Stunden lang ultravioletten Strahlen ausgesetzt worden war, zeigte eine

deutliche Einwirkung auf eine photographische Platte, die auf die durch Ozon veranlaßte Bildung von Wasserstoffsperoxyd zurückzuführen ist. Auch gewöhnliches, mit Jodkaliumstärkelösung getränktes Filtrierpapier wurde durch ultraviolettes bestrahlte Luft gebläut. Die Zersetzung von Wasser durch ultraviolette Strahlen beobachtete auch M. KERNBAUM⁴⁾.

Nach Versuchen von EVA v. BAHR wird auch umgekehrt Ozon durch ultraviolettes Licht zersetzt⁵⁾. Der Verf. suchte den Ozongehalt einer mit ozonisiertem Sauerstoff gefüllten Röhre nach Meyer durch Untersuchung der Absorption im Ultraviolet zu bestimmen und fand, daß dieses wegen der eintretenden Desozonisierung unmöglich war. Besonders bei abnehmendem Druck nahm die Zersetzung des Ozons durch ultraviolettes Licht rasch zu. Wahrscheinlich wird die Desozonisierung von Strahlen hervorgebracht, deren Wellenlängen zwischen 230 und 290 $\mu\mu$ liegen, wo sich nach Meyer das starke Absorptionsband des Ozons befindet. Die ozonisierende Wirkung dagegen dürfte von Strahlen unterhalb 200 $\mu\mu$ ausgehen. Da letztere von der Luft absorbiert werden, in hohen Schichten der Atmosphäre aber bei dem geringen Druck die desozonisierende Wirkung des Sonnenlichts stark sein dürfte, so kann der Ozongehalt der Luft nicht in dem Sonnenlicht seinen Ursprung haben.

Die Wirkung des ultravioletten Lichts auf Ozon scheint nur ein Sonderfall einer viel allgemeineren Erscheinung zu sein. Nach D. BERTHELOT und H. GAUDECHON werden ganz allgemein Gase durch ultraviolette Strahlen chemisch beeinflusst⁶⁾. Die Verf. benutzten bei ihren Versuchen als Lichtquelle eine Heraeus- oder eine Westinghouselampe; die Gase wurden sorgfältig getrocknet in Quarzröhren den ultravioletten Strahlen ausgesetzt. Die Ozonisierung des Sauerstoffs konnte auch hier sicher nachgewiesen werden, ebenso Polymerisationen von Azetylen, Äthylen und Cyan. Verschiedene Oxydationswirkungen ließen sich nachweisen: Verbrennung des Cyans zu CO_2 und N , des Ammoniaks zu Wasser und Stickstoff, des Azetylens und Äthylens zu Ameisensäure, u. a. Besonders wichtig erscheint es, daß die

⁴⁾ C. R. 149, 173 (1909); Beibl. 34, 372 (1910).

⁵⁾ Ann. d. Physik 33, 598 (1910).

⁶⁾ C. R. 150, 1169, 1327, 1517, 1690; Naturw. Rundsch. 25, 429 (1910).

²⁾ Phil. Mag. 19, 290 (1910).

³⁾ C. R. 150, 96; Naturw. Rundsch. 25, 161 (1910).

Verf. durch Einwirkung von ultraviolettem Licht genau die gleichen Reaktionen hervorbringen konnten, wie sie in der lebenden Pflanze vor sich gehen. So die Synthese und Zerlegung des Kohlensäureanhydrids, des Wasserdampfs, des Formaldehyds. Auf die

chemischen Einzelheiten kann hier nicht eingegangen werden. Aus den Versuchen geht hervor, daß die Synthese der Kohlehydrate ein physikochemischer Vorgang ist, den das Licht auch ohne Pflanzen hervorbringen kann.

Schl.

3. Geschichte und Erkenntnistheorie.

Erkenntnistheorie und Naturwissenschaft.
VON OSWALD KÜLPE¹⁾. „Nichts ist heute bequemer und zugleich unfruchtbarer, als das große Wort von der Welt als unserer Vorstellung gelassen auszusprechen. Ursprünglich aus wirklicher Einsicht in die Abhängigkeit aller Erkenntnis von dem erkennenden Subjekt geboren, ein neuer Blick in das Gefüge der Wissenschaft, eine Warnung vor dogmatischen Vorurteilen und metaphysischen Voreiligkeiten, ist es allmählich selbst zu einer dogmatischen Phrase geworden, zu einer Gefahr für den forschenden Geist, für die Naivität der wissenschaftlichen Arbeit. Kopernikus und Galilei, Kepler und Newton hatten wahrlich nicht mit Vorstellungen zu rechnen geglaubt, als sie die Grundzüge einer Mechanik des Himmels und der Erde entwarfen. Schleiden und Schwann waren ebensowenig der Meinung gewesen, ein kleines Stück Vorstellung bestimmt zu haben, als sie die Zelle für das Element aller Organismen erklärten. Und Röntgen war sicherlich von der Ansicht weit entfernt, daß er neue Vorstellungen entdeckt habe, als er die nach ihm benannten Strahlen auffand. Aber was brauchte man sich als Naturphilosoph, als Erkenntnistheoretiker um die Auffassung solcher Empiriker zu kümmern! Dazu war ja die Philosophie da, um alles umzudenken und den tieferen Sinn solcher wissenschaftlichen Ergebnisse bloßzulegen. Und so wurde der Konzientialismus und allenfalls noch der Phänomenalismus zur einzig standesgemäßen Erkenntnistheorie der Naturforschung Es gibt kaum etwas Unerquicklicheres als die verklausulierte Darstellung derjenigen Naturforscher, die im Sinn dieser Erkenntnistheorie fortwährend versichern, daß sie mit der Wahl realistischer Ausdrücke selbstverständlich keine realistischen Ansichten verbinden wollen . . . Sie betonen beständig, daß sie sich nur an das Bewußtsein halten, und

können doch keine Naturgesetze in den Terminis ihrer Lehre formulieren. . . . So wandeln sie in unaufhörlichem Selbstwiderspruch dahin und hemmen durch vornehme erkenntnistheoretische Floskeln die gesunden und starken Triebe realistischer Setzung und Bestimmung. Die vielgeschmähten Metaphysiker konnten jedenfalls nicht hochmütiger auf die im Erdstaube wühlenden Empiriker herabsehen, als diese gestrengen Herren unter den Naturforschern auf das erkenntnistheoretisch unbelehrte Geschlecht ihrer Zunftgenossen blickten.“

Zu so scharfen Worten spitzt der Verf. gegen den Schluß seines Vortrages seine Darlegungen zu. Es tat not, daß von seiten der Philosophie wieder ein kräftiges Wort zugunsten des Realismus gesprochen wurde, nachdem die Nebel des Phänomenalismus so lange den gesunden Blick für das Wirkliche beirrt hatten. Der Vortrag knüpft an das Kantische Problem, wie Wissenschaft möglich sei, an; aber er dehnt dieses Problem auch auf die empirischen Wissenschaften aus, deren materiale Voraussetzungen bisher noch nicht in ausreichendem Maße untersucht worden sind. Er wendet sich im besonderen den beiden Fragen zu, wie eine Setzung von Realem möglich sei, und wie eine Bestimmung von Realem möglich sei. Das Kriterium der Realität erblickt der Verf. in der Unabhängigkeit von dem ganzen erfahrenden Subjekt. Ein Analogon für diese Sachlage bietet sich auf dem Gebiet der Naturwissenschaft selbst in dem Begriff von den erzwungenen Bewegungen. „Das Problem der Außenwelt läßt sich daher vom Standpunkt des Physikers auch so formulieren: Wie muß dasjenige beschaffen sein, das die von uns unabhängigen Beziehungen zwischen den Sinnesqualitäten entstehen läßt! Voraussetzung ist dabei, daß diese Beziehungen selbst zugleich jener Welt angehören, daß also das aufgenötigte Geschehen in unserer Erfahrung demjenigen entspricht, welches diese Nötigung ausübt. Durch diese Einschränkung wird der Untersuchung eine bestimmte Richtung gewiesen und der Begriff der erzwungenen Bewegung genauer determiniert.“ —

¹⁾ Vortrag, gehalten am 19. September 1910 auf der 82. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte in Königsberg. Leipzig, S. Hirzel, 1910. 47 S. M 1,25.

In bezug auf die mechanischen Qualitäten, Druck, Zug, Stoß, Kraft, Schwere, Widerstand, Undurchdringlichkeit, verwirft der Verf. die Auffassung, die diese mit den sog. Sinnesqualitäten im engeren Sinn gleichstellt. Wenn man sie auf Tast- und Muskelsinnqualitäten zurückführe, so sei dies nur eine Art von Einföhlung, die jene Begriffe in keiner Weise ergänze oder gar mit ihrem eigentlichen Sinn erfülle. Die Begriffe Druck, Stoß, Zug, Kraft seien überhaupt nicht an bestimmte Sinnesinhalte gebunden; sie würden auch dort als bestehend gedacht, wo eine Mitwirkung unserer mechanischen Qualitäten ganz ausgeschlossen sei. Es gibt eben auch unanschauliche Bewußtseinsinhalte, und die Gegenstände unseres Denkens brauchen keineswegs den Sinnesindrücken entnommen zu sein.

Nur als ein Produkt von Erfahrung und Denken, von Wirklichkeit des Bewußtseins und vernunftgemäßer Erwägung, von Sinnesindruck und Verstandestätigkeit läßt sich der Realismus der Naturwissenschaft begreifen. Man hat in solchem Sinn die Außenwelt wohl als eine Ursache unserer Wahrnehmung oder den einheitlichen Beziehungsgegenstand für die Sinnesempfindungen vieler Personen angesehen. Der Verf. bezeichnet sie als die Trägerin der fremdgesetzlichen (aufgenötigten) Beziehungen innerhalb unserer Sinnesindrücke. Die Schwierigkeiten, mit denen der so präziserte Realismus zu kämpfen hat, liegen in der Feststellung der von uns unabhängigen Beziehungen der Sinnesinhalte, in der Herauslösung dieser abstrakten Tatbestände aus dem konkreten Zusammenhang unseres Bewußtseins und seinen mannigfachen subjektiven Einschlüssen. Die Aufgabe der Naturwissenschaft aber besteht in der immer vollständigeren Charakteristik der realen Ob-

jekte. Diese Objekte können als die Existenzbedingungen für die realisierten Beziehungen, die aufgenötigten Beziehungen in der Bewußtseinswirklichkeit, angesehen werden. Die Naturwissenschaften bilden ein System des realen Geschehens aus, in dem die Träger dieses Geschehens die materiellen Substanzen sind. Schreibt man diesen anziehende und abstoßende Kräfte, Valenzen, Widerstände, Energien, Potentiale usw. zu, so sind alle diese Eigenschaften nur Fähigkeiten zur Leistung des realen Geschehens, und die Natursubstanzen sind die Inbegriffe der Vermögen, die an sie geknüpften realen Zustände, Beziehungen und Veränderungen entstehen zu lassen. Unsere Einsicht in das Wesen der realen Objekte ist extensiv und intensiv auf allen Gebieten gewachsen, ohne daß je an eine Vollendung dieser Erkenntnis zu denken ist. Auch eine anschauliche Vorstellung der Außenwelt im Sinne einer treuen Abbildung der Realität ist für den kritischen Naturforscher unmöglich geworden. Durchweg haben wir es bei den Bestimmungen über Art und Verhalten dieser Gedanken- dinge mit unanschaulichen, von den Zufälligkeiten unserer Wahrnehmung befreiten Merkmalen zu tun.

Schließlich weist der Verf. darauf hin, daß es nicht die Aufgabe der Erkenntnistheorie sei, der Forschung Vorschriften zu machen. „Dem genialen Naturforscher, der uns in das Geheimnis der realen Welt einzuführen weiß, hat der Erkenntnistheoretiker nachzudenken. Erkenntnis wird dort geschaffen, hier bloß begriffen.“ Diese Andeutungen aus dem Inhalt der Schrift werden genügen, sie auch manchem Leser der Zeitschrift näherer Kenntnisnahme wert erscheinen zu lassen.

P.

4. Unterricht und Methode.

Didaktik und Methodik der Physik. Von E. GRIMSEHL¹⁾. An KIESSLINGS Bearbeitung dieses Gegenstandes in der vorigen Auflage des BAUMEISTERSCHEN Handbuches (1895) und an KEFERSTEINS „Physik an höheren Schulen“ in REINS enzyklopädischem Handbuch der Pädagogik (1898) schließt sich nach längerer Zwischenzeit diese dritte Schrift, wiederum aus der Feder eines Hamburger Schulmannes,

gewiß ein bedeutsames Zeichen für den guten Ruf, den der Physikunterricht der Hansastadt in weiten Kreisen genießt. An Umfang geht die vorliegende Schrift etwa um die Hälfte über KIESSLINGS Arbeit hinaus, von der jedoch so gut wie nichts in diese neue Auflage übernommen ist. Wir haben vielmehr ein völlig neues Werk vor uns, und das ist gerechtfertigt angesichts der enormen Fortschritte, die unser Unterrichtsfach ebenso wie die Physik selber in dieser Zeit gemacht hat. Der Verf. bemerkt im Vorwort, daß die im Unterricht zu bewältigende Stoffmenge von Jahr zu Jahr wächst, und daß wir in Folge-

¹⁾ Sonderausgabe aus A. Baumeisters Handbuch der Erziehungs- und Unterrichtslehre für höhere Schulen. München, C. H. Beck, 1911. 115 S. M 3, geb. M 4.

dessen zu Kompromissen gezwungen sind, die nur einen labilen Gleichgewichtszustand ermöglichen. Damit wird er aber doch dem Umstande nicht gerecht, daß sich die Auffassung von Zweck und Ziel des Physikunterrichts in den letzten zwei Jahrzehnten ganz wesentlich geklärt hat, und daß selbst scheinbar entgegengesetzte Auffassungen (wie die nachher noch zu erwähnenden) doch nur Schwingungen um eine gewisse nicht mehr „labile“ Gleichgewichtslage darstellen, ähnlich wie ja auch die Lehrbücher in Stoffauswahl und Darstellungsart sich mehr und mehr einem gemeinsamen Typus nähern.

Der Verf. gliedert seine Darstellung nach dem Vorgange KIESSLINGS in drei große Abschnitte. Der erste, (A) „Allgemeines“ (S. 1–27), verbreitet sich zunächst über das Wesen der naturwissenschaftlichen Forschungsmethode, in der auch der Verf. das Vorbild für die Unterrichtsmethode erkennt. Vielleicht zu viel Gewicht wird hier auf das „induktive“ Zusammentragen, Sichten und Ordnen des Tatsachenmaterials gelegt; die Schrift KEFERSTEINS, die aber auffallenderweise gar nicht erwähnt ist, bringt hier beachtenswerte Ergänzungen. Bezüglich des Lehrziels führt der Verf. die Forderungen der preussischen Lehrpläne von 1901 an und vergleicht mit ihnen die Vorschriften für die hamburgischen Oberrealschulen von 1904; es kann jedoch dem Verf. nicht zugegeben werden, daß die letzteren klarer als die ersteren sind; beide sprechen vielmehr dieselben Grundsätze in derselben Reihenfolge und natürlich in etwas anderer Form aus; aber es ist unverkennbar, daß die letzteren nach dem Vorbilde der ersteren formuliert sind. Der Verf. schließt sich ferner der Auffassung von der humanistischen Bedeutung des Physikunterrichts an; diese Zustimmung ist dem Referenten höchst willkommen, doch möchte er hinzufügen, daß seine Meinung nicht etwa dahin geht, daß der erkenntnistheoretische Inhalt oder gar der philosophische Inhalt der Physik in den Vordergrund gerückt oder etwa die Physik zum Sprungbrett für philosophische Exkurse gemacht werden solle; was übermittlelt werden soll, ist gewissermaßen eine latente Erkenntnislehre und eine latente Philosophie; die einfache Formel: „Methode der Forschung = Methode des Unterrichts“ bezeichnet besser als alles Kokettieren mit der Philosophie, inwiefern die Naturwissenschaft nach dem schönen Wort Pietzkers auch im Schulunterricht als eine Geisteswissenschaft allerersten Ranges betrieben werden kann.

Mit diesem Standpunkt wohl vereinbar ist die Wertschätzung eines gewissen Umfangs positiver Kenntnisse. Der Verf. faßt seine hierauf bezüglichen Ausführungen in dem Satze zusammen: „Die Schüler sollen einen gewissen Vorrat an positiven, auch an zahlenmäßigen Kenntnissen durch die Anschauung und durch die verstandesmäßige Ableitung erwerben und dann gedächtnismäßig festlegen“.

Die Frage einer notwendigen Beschränkung des Lehrstoffs wird vom Verf. in Übereinstimmung mit BOHNERT (vgl. d. Zeitschr. XXII, 52) beantwortet. Doch erscheint die Furcht vor „Verflachung“, die bei Berücksichtigung aller Gebiete eintreten soll, übertrieben. BOHNERT selbst hat bezüglich der Dynamomaschine ein treffliches, von GRIMSEHL angeführtes Beispiel gegeben, wie man sich auf das Wesentliche und Typische beschränken kann. Wird nicht ein technisch interessierter Heißsporn es auch als Verflachung auslegen, wenn man hier Ankerwicklungen, Haupt- und Nebenschlußmaschinen usw. übergeht? Und doch ist gerade mit solchen Vereinfachungen der Weg gewiesen, wie man zu einer „Kenntnis der wichtigsten Erscheinungen aus den verschiedenen Gebieten der Physik“ hinleiten kann, ohne sich auf einige „ausgewählte Kapitel“ zu beschränken.

Über die Verteilung des Lehrstoffs auf Unter- und Oberstufe gibt der Verf. ähnliche Darlegungen wie in einer früheren Schrift (vgl. d. Zeitschr. XVIII, 361). Er stimmt der vielfach vorhandenen Ansicht zu, daß die Wärmelehre das geeignetste Einleitungsgebiet sei; dagegen will er die Mechanik an den Schluß der Unterstufe gestellt sehen. Schon für den Beginn des Unterkurses verlangt er indes eine möglichst präzise Definition des Kraft- und Massebegriffes, sowie dann für den abschließenden Lehrgang der Mechanik auf der Unterstufe eine „Herauslösung“ des Energiegesetzes und eine Entwicklung des Zusammenhangs der physikalischen Energieformen. [Das dürfte reichlich viel verlangt sein, wenschon man in dem Kursus sechsklassiger Realschulen diese Dinge nicht ganz wird fortlassen wollen. Nur dürfte dann eine geistige Durcharbeitung ausgeschlossen sein.] Auf der Oberstufe soll die Mechanik an den Anfang gestellt werden, und weiterhin sollen einzelne Gebiete unter großen zusammenfassenden Gesichtspunkten behandelt werden, so die Schwingungsbewegung, die Wellenlehre, die mechanische Wärmelehre, die Bestimmung der elektrischen

Einheiten. Die Forderung, daß dem Lehrer auf der Oberstufe eine größere Bewegungsfreiheit hinsichtlich der Stoffverteilung gewährt werden möge, ist in den preußischen Lehrplänen von 1901 bereits erfüllt; nur hat die betreffende Stelle der methodischen Bemerkungen bisher viel zu wenig Beachtung gefunden.

Gelegentlich der Beziehungen der Physik zu den übrigen Naturwissenschaften weist Grimsehl mit Recht darauf hin, daß das Interesse für physikalische Dinge, das bei Knaben schon in frühem Alter aufzutreten pflegt, nicht durch den Organisationsplan der höheren Schule abgetötet werden sollte. „Es ist ein schwerer Fehler, daß die Schüler von Physik nichts zu wissen bekommen, wenn sie am empfänglichsten für diese Wissenschaft sind.“ Ich gestehe gern zu, daß auch ich heute darüber anders denke als früher und jede Gelegenheit, namentlich im erdkundlichen Unterricht, dafür nutzbar gemacht sehen möchte, daß den Schülern einfache physikalische und chemische Prozesse nahegebracht werden.

In betreff der Beziehungen der Physik zur Mathematik, insbesondere auch der Verwendung der graphischen Methode und der Infinitesimalrechnung, macht der Verf. Ausführungen, denen man vom modernen Reformstandpunkte durchaus zustimmen müssen. —

Ein zweiter Abschnitt (B) behandelt die „Bedingungen für den Erfolg des Unterrichts: (S. 28—85). Zunächst die Ausbildung des Lehrers und seine Fortbildung; dann den Lehrapparat, Hörsaal, Werkstatt, Apparatsammlung, die Verwaltung und Inventarisierung der Sammlung, die Handbibliothek. In betreff des Lehrbuchs verlangt GRIMSEHL, daß die gesamte Stoffanordnung systematisch, der Aufbau in den einzelnen Kapiteln jedoch methodisch sein solle. Über die zu befolgende Unterrichtsmethode „können allgemeine Vorschriften nicht gegeben werden“. Vortreffliche aus der lebendigen Praxis hervorgegangene Fingerzeige enthalten jedoch die Abschnitte über Lehrform, Vorbereitung, Wiederholung, dann über die Rolle des Apparats im Unterricht, über die Stellung des Experiments, über blendende Versuche, Projektion von Versuchen, Universalapparate usw. Ein größerer Abschnitt (S. 71—82) ist den Schülerübungen gewidmet, wobei der Verf. vornehmlich seine eigenen

Erfahrungen mitteilt. Er gibt den beachtenswerten Rat: „Bei der Einführung physikalischer Schülerübungen mit beschränkten Mitteln beginne man mit den Übungen in regelloser Arbeitsweise, zu denen der Apparatenbestand jeder physikalischen Sammlung ausreicht. Man versuche aber dann möglichst bald, zu den Übungen in gleicher Front überzugehen und diese Übungen mit dem Vortragsunterricht so in Wechselbeziehung zu setzen, daß das im Vortragsunterricht behandelte Gebiet auch gleichzeitig in den Übungen behandelt wird.“

Einige besondere Bemerkungen macht der Verf. noch über schriftliche Ausarbeitungen, deren Wert er anerkennt, und über die Physik als Prüfungsfach. Er fordert, daß die Physik am Gymnasium Prüfungsfach werde, und daß an den Realanstalten eine schriftliche Prüfungsarbeit in der Physik gemacht werde. Es scheint ihm entgangen zu sein, daß in Preußen längst an allen Realanstalten eine solche Arbeit in Physik oder Chemie vorgeschrieben ist. —

Ein dritter Abschnitt (C) endlich enthält „didaktische Bemerkungen zu einzelnen Unterrichtsgebieten“ (S. 85—109). Diese Bemerkungen sind bei der Knappheit des zur Verfügung stehenden Raumes sehr aphoristisch gehalten, bilden aber gleichwohl eine Fundgrube wertvoller Ratschläge, auf die hier im einzelnen nicht näher eingegangen werden kann. Erwähnt sei nur, daß der Verf. schon auf der Unterstufe den Elektromotor in Anschluß an die elektrische Klingel zu behandeln empfiehlt, und daß er es für methodisch richtig hält, auf der Oberstufe das Prinzip der Dynamomaschine sogleich am Trommelanker zu erläutern und den in betreff der Wirkungsweise komplizierteren Grammeschen Ring erst hinterher zu besprechen. Er stimmt hierin mit F. F. MARTENS überein, auf dessen Veröffentlichung in den Ber. d. d. physikal. Ges. (1910) auch in dieser Zeitschrift noch zurückzukommen sein wird.

In einem Anhang hat der Verf. noch die Grundsätze und den Lehrplanentwurf der Unterrichtskommission der Ges. d. Naturforscher und Ärzte sowie den Lehrplan der bayrischen Oberrealschulen von 1907 hinzugefügt. Trägt auch die Schrift als Ganzes einen „stark subjektiven Charakter“ —, wie der Verf. selbst im Vorwort zugibt — so wird sie doch als Ausfluß einer stark ausgeprägten Persönlichkeit ihre Wirkung nicht verfehlen.

Neu erschienene Bücher und Schriften.

J. Stark, Prinzipien der Atomdynamik. I. Teil. Die elektrischen Quanten. Leipzig, Verlag von S. Hirzel, 1910. X u. 124 Seiten.

Die Schrift behandelt in erster Linie ein überaus modernes Gebiet der theoretischen Forschung, nämlich den Versuch, die Energie atomistisch aufzufassen. Ob es jetzt bereits an der Zeit war, hierüber ein Buch zu verfassen, wird manchem zweifelhaft erscheinen können. Aber vom philosophisch-spekulativen, nicht vom physikalischen Standpunkt aus ließe sich der Plan der vorliegenden Schrift vielleicht rechtfertigen. Die Lektüre ist indes zuweilen wenig erquicklich. Der Verfasser ergeht sich oft in wenig begründeten, doktrinären Behauptungen, durch welche physikalische Begriffe mit metaphysischem Inhalt gefüllt werden. Wenn er z. B. der Energie den Begriff einer „primären, physikalischen Substanz“ zuerteilt, so fragt man sich vergeblich nach Zweck und Sinn einer solchen Aufstellung; man kann nur daraus entnehmen, daß die Untersuchungen des Substanzbegriffs durch Berkeley und andere Philosophen früherer Jahrhunderte spurlos an dem Verfasser vorübergegangen sind. Die Schrift ist vielleicht durch den in unserer Zeit so mächtig gewordenen Drang nach philosophischer Vertiefung der Naturwissenschaften zu verstehen. Hier wird diesem Drange aber nur in schwacher Weise genügt, außer einigen neuen Worten (z. B. „Archion“) wird nichts Neues geboten. Zuweilen sind die Ausführungen des Verfassers von naiver Komik, z. B. wenn er ernsthaft erörtert, wie das physikalische Denkvermögen eines Physikers, der selbst nur aus wenigen Atomen besteht, beschaffen sein würde. Eine weitere Charakterisierung der Schrift dürfte sich erübrigen.

E. Gehrcke.

Populär-wissenschaftliche Vorlesungen. Von Prof. Dr. E. MACH. 4. vermehrte und durchgesehene Auflage. Mit 73 Abbildungen. Leipzig, Joh. Ambr. Barth, 1910. 508 S. M 6,80, geb. M 7,50.

Gegen die erste im Jahre 1896 erschienene Auflage (diese Zeitschr. IX, 303) ist die jetzige um 11 Vorträge vermehrt, von denen 7 erst in dieser letzten Auflage hinzugekommen sind. Diese behandeln ebenfalls allgemein interessante Probleme vom Gesichtspunkt des Physikers; die Themata sind: „Beschreibung und Erklärung; ein kinematisches Kuriosum;

der physische und psychische Anblick des Lebens; zum physiologischen Verständnis der Begriffe; werden Vorstellungen, Gedanken vererbt? Leben und Erkennen; eine Betrachtung über Zeit und Raum“. Wie immer läßt auch hier wieder die geistvolle Darstellung des Verf. die Probleme in neuer und oft überraschender Beleuchtung erscheinen. Kein Lehrer wird das Buch ohne Anregung und Gewinn aus der Hand legen. *P.*

Die experimentelle Grundlegung der Atomistik.

Ein Bericht von WERNER MECKLENBURG. Jena, Gustav Fischer, 1910. 143 S. u. 1 Tafel. M 2,50.

Die verdienstliche Schrift stellt die experimentellen Tatsachen übersichtlich zusammen, die zum Nachweis der Atome und zur Messung ihrer Größe geführt haben. Sie behandelt nacheinander die Existenz diskreter Teilchen in scheinbar homogenen Lösungen, die Größe der Moleküle nach der kinetischen Gastheorie, die Brownsche Bewegung nach den Forschungen Perrins, Einstein-Smoluchowskis, Svedbergs und Seddigs, endlich die Atomtheorie der Elektrizität nach den neuesten Anschauungen. Ein genauer Literaturnachweis bildet den Schluß des interessanten Schriftchens. *P.*

Die partiellen Differentialgleichungen der mathematischen Physik. Nach Riemanns Vorlesungen in 5. Auflage bearbeitet von Prof. Heinrich Weber. I. Band. Braunschweig, Friedrich Vieweg u. Sohn. XVIII und 527 S. M 12,—, geb. M 13,60.

Der Herausgeber hat das fundamentale Werk bereits in der vorigen Auflage einer durchgreifenden Umarbeitung und Erneuerung unterzogen; auch in der hier vorliegenden ist auf die Entwicklung, die inzwischen die mathematischen Anschauungen und Methoden erfahren haben, Rücksicht genommen worden. So ist in dem I. Bande von der neueren Theorie der Integralgleichungen eine Anwendung auf die Elektrostatik gemacht, im II. Band soll die Anwendung auf die Schwingungen der elastischen Membran hinzugefügt werden. *P.*

Experimentelle Elektrizitätslehre. Verbunden mit einer Einführung in die Maxwell'sche und die Elektronentheorie der Elektrizität und des Lichtes. Dargestellt von Prof. Dr. Hermann Starke. 2. auf Grund der Fortschritte der Wissenschaft umgearbeitete Auflage. Mit 334 Ab-

bildungen. Leipzig, B. G. Teubner, 1910. 662 S. Geb. M 12,—.

Bei der Anzeige der 1. Auflage (*XVIII, 366*) ist bereits der Wert dieses Buches besonders auch für den Physiklehrer, der sich über den neuesten Stand der Forschung unterrichten will, hervorgehoben worden. Die vorliegende 2. Auflage ist ganz beträchtlich weiter ausgebaut worden und erfüllt dadurch die erwähnte Aufgabe in noch erhöhtem Maße. In dem Abschnitt über Elektrochemie ist auch die Theorie des Ionendruckes aufgenommen; bei der drahtlosen Telegraphie sind auch die Resonanzerscheinungen eingehend behandelt; der Radioaktivität ist ein besonderer Abschnitt eingeräumt; zwei weitere neue Abschnitte behandeln die Anwendungen der Elektronentheorie auf die Optik sowie auf die elektrischen und thermischen Erscheinungen in Metallen. Ein Anhang führt in die moderne Relativitätstheorie und deren Beziehung zur Elektrizitätslehre ein. Ein besonderer Vorzug des Buches ist die beständige Verbindung von theoretischer und experimenteller Darstellung. Jedem Lehrer des Fachs kann das Buch nur aufs wärmste empfohlen werden. *P.*

Physik für die Oberstufe. 4. Auflage. Mit besonderer Berücksichtigung der Bedürfnisse norddeutscher Lehranstalten herausgegeben von Dr. M. Nath, Direktor des Realg. zu Pankow bei Berlin, und Prof. Joh. Kleiber in München. Mit 661 Figuren, durchgerechneten Musterbeispielen und Aufgaben samt Lösungen. Berlin u. München, R. Oldenbourg, 1910. 471 S. M 4,45.

Die an dem Buch vorgenommenen Änderungen sind, soweit Referent nach einer Durchsicht der Mechanik urteilen darf, fast durchweg formaler Natur und von geringfügiger Bedeutung; hinzugefügt ist ein § über das Seilpolygon, der schwerlich verständlich ist und keineswegs einem dringenden Bedürfnis entspricht, sowie ein § über die Bewegung eines freien Körpers. Im Vorwort macht der an erster Stelle genannte Mitherausgeber einige Bemerkungen über den Wert systematischer Lehrbücher, die anscheinend gegen den Referenten gerichtet sind, obwohl dieser ebenfalls und gerade an den angezogenen Stellen den Vorzug systematischer Lehrbücher betont hat. Näher-hierauf einzugehen, dürfte nicht am Platze sein. Der Charakter des vorliegenden Buchs ist auch zu bekannt, als daß er hier nochmals erörtert zu werden brauchte. *P.*

Die Zeit- und Kostenfrage der physikalischen Schülerübungen. Von HERMANN HAHN. Leipzig, Quelle und Meyer, 1910. 31 S. M 0,80.

Dieser am 29. September 1909 auf der 50. Versammlung deutscher Philologen und Schulmänner in Graz gehaltene Vortrag bietet sowohl durch die Erfahrungen an der Anstalt des Verf. als auch durch die Ergebnisse von Umfragen in England und Amerika Materialien zur Beantwortung der beiden wichtigen Fragen dar, die den Gegenstand des Vortrages bilden. Der Verf. fordert für den physikalischen Unterricht mit verwebten Übungen auf allen Stufen, wo er erteilt wird, eine (nötigenfalls geteilte) Doppelstunde und zwei ungeteilte Stunden in der Woche. Die Kosten für Einrichtung und Unterhaltung der Übungen empfiehlt er gegebenenfalls durch Erhöhung des Schulgeldes oder besondere Beiträge der an den Übungen teilnehmenden Schüler aufzubringen. *P.*

Lehrbuch der Technischen Physik. Von H. Lorenz. Dritter Band: Technische Hydro-mechanik. München und Berlin, R. Oldenbourg, 1910. 500 S.

Der dritte Band des verdienstvollen Werkes behandelt ein Gebiet, an dessen Ausbau der Verf. in den letzten Jahren erfolgreich mitgewirkt hat. Die Probleme der technischen Hydromechanik sind der mathematischen Analyse vorläufig noch recht unzugänglich. Die wirkliche Integration der Eulerschen Bewegungsgleichungen unter den der Aufgabe angepaßten Bedingungen gelingt nur ausnahmsweise und bietet die größten Schwierigkeiten schon bei weitgehendster Idealisierung der Annahmen, wieviel mehr, wenn die innere Reibung, die Reibung an festen Wänden, die Zähigkeit der Flüssigkeit u. a. berücksichtigt werden soll. Der Techniker steht hier vor der Wahl, entweder nach dem Vorbild der älteren Hydrauliker für jeden Fall besondere empirische Gleichungen aufzustellen oder mit dem Verf. als Notbehelf zu einer Theorie zu greifen, deren Unzulänglichkeit von vornherein zugegeben wird, deren Berechtigung sich aber aus der Übereinstimmung ihrer Resultate mit den Tatsachen herleitet.

So überträgt der Verf. im Kap. II über die stationäre Parallelströmung die bekannte Theorie unendlich dünner Stromfäden auf Strömungen, die weder linear noch stationär sind, ja selbst auf turbulente Vorgänge; es wird mit mittleren Querschnitten und Geschwindigkeiten gerechnet, obgleich diese Begriffe gar nicht definiert, vielleicht sogar

undefinierbar sind. Dem Nichtfachmann steht ein Urteil über die Leistungsfähigkeit einer solchen Theorie nicht zu, für den Schulmann haben die Ableitungen nur beschränktes Interesse. Ganz anders ist es mit den behandelten Fragen selbst, von denen manche wohl verdienten, in die Lehrbücher der Physik übernommen zu werden. Der Verf. hat hier geschickt vorgearbeitet. Der mathematischen Formulierung der Probleme geht eine meist kurze und klare Darlegung der den Erscheinungen zugrunde liegenden Tatsachen voraus; die Formeln werden anschaulich interpretiert und die Resultate mit nachahmenswerter Deutlichkeit ausgesprochen.

Von dem reichhaltigen Inhalt kann hier nur einiges angedeutet werden. Der Leser erhält Einblick in mannigfache Aufgaben des Wasserbauers und Schiffsbauers. Für Schiffe z. B. werden die Bedingungen der Stabilität erörtert, ferner die Bedeutung des Metazentrums sowie der Krängungsversuch zur Bestimmung seiner Lage; nach Entwicklung einer Theorie der Wasserwellen werden die durch Wellen hervorgerufenen Schiffsbewegungen, Vertikalschwingungen, Rollen und Stampfen, untersucht und endlich der Schlicksche Schiffskreisel und der Frahmische Wassermantel als Gegenmittel gegen die Rollbewegung besprochen.

Im Kap. VI, das von der Bewegung zäher Flüssigkeiten handelt, interessiert die neuerdings als Potentialströmung erkannte Grundwasserbewegung und vor allem die Theorie des Schiffswiderstandes. Die neue Theorie des Verf. wird auch einer Reihe von Tatsachen gerecht, die sich den früheren Erklärungsversuchen nicht fügen wollten, so namentlich der, daß der Widerstand eines Schiffes kleiner ist, als sich aus dem Modellversuch nach der Froudeschen Regel berechnet. Der Grund liegt nach Ansicht des Verf. in der unhaltbaren Unterscheidung zwischen Wellen- und Wirbelwiderstand einerseits und Reibungswiderstand andererseits.

Bei einer Reihe von Vorgängen ist durch die technische Anlage eine Symmetrieachse bedingt. Dann bilden, wie in Kap. V über Wirbelbewegung und Rotation von Flüssigkeiten ausgeführt wird, die auf Zylinderkoordinaten transformierten Eulerschen Gleichungen die Grundlage der Untersuchung. Hierher gehören die Strömung in Turbinen, im Praßilschen Saugrohr, die Flüssigkeitsbewegung hinter der Schiffsschraube, auch die Bestimmung der Oberflächengestalt rotierender Flüssigkeiten.

Auf den 40 Seiten umfassenden geschichtlichen Abriß des Kap. VII sei noch besonders hingewiesen.

Auffallend ist, daß der Verf. an allen Stellen, wo die Flüssigkeit als dem Einfluß der Schwerkraft entzogen, also als gewichtslos (natürlich nicht masselos), angesehen werden soll, von einer „horizontalen Parallelströmung“ redet, während doch der Venturi-Wassermesser, die durch Bewegung einer Kugel erzeugte Strömung usw. Abweichungen von der „Parallelströmung“ zur Voraussetzung haben (S. 64, 238, 300, 413). Die Betrachtungen S. 22–24 bedürfen wesentlicher Einschränkungen. Die Ableitung der Gleichung (10) auf S. 44 ist falsch, weil die Spannungen S' und S'' nicht senkrecht auf den zugehörigen Elementen der gespannten Haut stehen; nur für die Hauptspannungen gilt die Relation (10). Der letzte Absatz des § 7 ist wohl bei der Niederschrift in Unordnung geraten. S. 63 ist $\frac{w^2}{2g}$ die kinetische Energie der Gewichtseinheit, nicht der Masseneinheit. Die Theorie der ebenen stationären Parallelströmung ist mehrfach richtig behandelt worden, deshalb sollen einige Bemerkungen zu § 35 unterdrückt werden.

Merkwürdig wenig Sorgfalt ist auf die Figuren verwandt worden. Buchstaben und gar Indizes sind oft gar nicht zu lesen — von manchem andern ganz abgesehen. In Fig. 79 konnte Ref. sich nicht hineindenken.

L. Lewent, Berlin. (†)

Grundriß der Experimentalphysik und Elemente der Chemie sowie der Astronomie und mathematischen Geographie. Von E. Joemann und O. Hermes. 17., vollständig neu bearbeitete Auflage von P. Spies. Berlin, Winckelmann & Söhne, 1910. XVI und 455 S. 8°.

Die Bearbeitung der vorliegenden Auflage des bekannten Lehrbuches mußte Prof. Dr. Spies allein besorgen, da sein bisheriger Mitarbeiter Hermes im November 1909 gestorben ist. Wenn man nun die neue Auflage mit der 16. vergleicht, so findet man, daß Spies eine ganz gewaltige Arbeit geleistet hat. Die Umgestaltung nämlich, die das Buch erfahren hat, ist eine tiefgreifende; sie bezieht sich sowohl auf die Form als auch ganz besonders auf den Inhalt. Die Darstellung hat wesentlich an Klarheit gewonnen; sie ist eine solche, daß das Buch nicht nur für den Gebrauch beim Unterricht, sondern auch für eigenes Studium durchaus geeignet ist. Was den zweiten Punkt anbelangt, so war m. E.

eine gründliche Reform am Platze; denn die früheren Auflagen enthielten namentlich für die Gymnasien zuviel des Guten. Spies hat mächtig „aufgeräumt“. Während die 16. Auflage 512 Seiten Text enthielt, besteht die vorliegende, obschon die Anzahl der Figuren um 60 gewachsen ist, nur aus 454 Seiten. Diese starke Reduzierung wurde dadurch erreicht, daß die rein theoretischen Erörterungen gekürzt und schwierigere mathematische Beweise — die im Unterricht doch kaum berücksichtigt werden konnten — weggelassen wurden. Gewonnen hat das Buch auch durch den Umstand, daß die praktischen Anwendungen, die früher etwas vernachlässigt worden waren, in den Vordergrund gerückt wurden. Dadurch wird die Freude der Schüler an der Physik wesentlich gehoben; sie sehen, daß diese Wissenschaft in allen Gebieten der Technik eine dominierende Stellung einnimmt; sie werden das Buch auch außerhalb des Unterrichts oft benutzen, um sich zu orientieren. Von Gegenständen, die neu gebracht wurden, seien erwähnt: die Turbinen für Wasser und Dampf, die Luftschiffe und Flugmaschinen; wesentlich erweitert wurden die Wellenlehre, bei der den Resonanzerscheinungen eine besondere Aufmerksamkeit zugewendet wurde, die Strahlungslehre, die Lehre vom Wechselstrom u. a.; eingehender behandelt sind der Potentialbegriff, die Fernsprecheinrichtungen, die elektrische Beleuchtung, die drahtlose Telegraphie, die Bewegung der Elektrizität in Gasen.

Eine Trennung in Ober- und Unterstufe ist nicht vollzogen worden, weil durch eine solche die Übersichtlichkeit leiden würde. Jedoch ist der Stoff, der nach Ansicht des Verfassers für die Unterstufe geeignet ist, durch einen Strich am Rande kenntlich gemacht.

Die methodische Behandlung der einzelnen Gegenstände ist dem Bedürfnisse des Unterrichts gut angepaßt; sie ist eine solche, daß dem Lehrer und Schüler die Beherrschung des Stoffes erleichtert wird. Hierzu trägt auch die gute Illustration bei, die durch die neu hinzugefügten Bilder sehr an Wert gewonnen hat.

Schließlich sei noch einmal betont, daß Spies die schwierige Aufgabe, die er sich stellte, mit großem Geschick gelöst hat, daß es ihm vorzüglich gelungen ist, Theorie und Praxis miteinander zu verbinden. Überall erkennt man in der neuen Auflage die ordnende Hand eines Mannes, der die verschie-

densten Gebiete der Physik und ihre Anwendungen meisterhaft beherrscht und diese schöne Wissenschaft liebt.

W. Bernbach-Köln.

Leitfaden der Physik. Oberstufe. Von Dr. Adolf Kadesch, Prof. an der Oberrealschule (mit Reform-R.-G. i. E.) zu Wiesbaden. Mit 294 Figuren, einer Spektraltafel und 386 Übungsaufgaben. VIII u. 312 S. Geb. 3,60 M. Wiesbaden, J. F. Bergmann, 1908.

Die „Oberstufe“ bildet mit der im Jahre 1907 erschienenen „Unterstufe“ des Verfassers ein Ganzes. Wiederholungen aus der Unterstufe sind vollständig vermieden; jedoch ist zu Beginn der einzelnen Kapitel auf die bezüglichen Paragraphen jenes I. Teils verwiesen. Die Hauptabschnitte der Physik sind in der Oberstufe in der Reihenfolge behandelt, wie die Lehrpläne sie vorschreiben: Obersekunda Wärme, Magnetismus und Elektrizität; Prima Mechanik, Akustik und Optik. Diese Verteilung bedingt zum Verständnis des Obersekundapensums die Vorausschickung eines Abschnitts aus der Mechanik, den der Verfasser „Allgemeine physikalische Begriffe“ betitelt hat. Auch in der Oberstufe ist wie im ersten Teil die Beschreibung der Versuchsanordnungen und der Apparate möglichst allgemein gehalten mit Rücksicht auf die Verschiedenartigkeit der physikalischen Apparatsammlungen der einzelnen Anstalten. Der Verfasser schreibt im Vorwort, daß das Buch auf die Bewegungsfreiheit des Lehrers nach Möglichkeit Bedacht nimmt, indem an manchen Stellen die Versuchsauswahl ganz dem Lehrer überlassen wird. Hiergegen ließe sich nun nichts einwenden, wenn der Verfasser nur nicht in einer großen Reihe von Kapiteln vollständig auf experimentelle Veranschaulichungen oder Hinweise verzichtet hätte. In der Lehre von der Bewegung fester Körper z. B. ist in sieben aufeinanderfolgenden Paragraphen (§ 78 — § 84), in denen u. a. Stoßkräfte und kontinuierliche Kräfte, Freier Fall und Wurf, Fall auf der schiefen Ebene, Drehungsbewegung, Zentralbewegung und Trägheitsmoment behandelt werden, auch nicht ein einziger Versuch erwähnt. Die vorwiegend deduktive Behandlung der Mechanik in einem Lehrbuch ohne hinreichende experimentelle Hinweise verführt aber nur zu leicht zu jener mathematischen Unterrichtsmethode, die heutzutage glücklicherweise abgetan ist. Entsprechend dieser Vorliebe des Verfassers für die Deduktion findet man gewöhnlich die allgemeinsten Begriffe, Sätze

und Hypothesen am Anfang der Kapitel; so ist z. B. im § 1 die Atom-Hypothese — ohne Erwähnung derjenigen Tatsachen, die durch sie erklärt werden — dargelegt; die Kalorik beginnt mit der mechanischen Wärme-Hypothese; die Lehren vom Magnetismus und der Elektrizität behandeln jede in dem ersten Paragraphen die Begriffe magnetische und elektrische Energie, und zwar mit einer Kürze und einem Mangel an Anschaulichkeit, daß diese Begriffe für einen Schüler, der nicht bereits die nächsten Kapitel verstanden hat, nur Worte ohne Inhalt sein können. Die Definitionen sind nicht immer einwandfrei. Im § 126 steht z. B.: „Dasjenige von zwei Mitteln, in welchem sich das Licht langsamer fortpflanzt, wird als das optisch dichtere Mittel, das andere als das optisch dünnere Mittel bezeichnet.“ Als Tatsache ist der Inhalt dieses Satzes natürlich richtig, als Definition aber falsch; denn die Definition soll ein Kriterium für die Unterscheidung beider Medien enthalten; das Kriterium in diesem Falle ist die Größe der Geschwindigkeiten des Lichts in beiden Mitteln. Damit nun jene Definition einen Sinn hat, mußte in dem Buche eine experimentelle Methode zur Messung der Lichtgeschwindigkeit in verschiedenen Mitteln, etwa der Foucaultsche Versuch, dargelegt worden sein. Eine derartige Messung findet man jedoch nicht in dem Buche.

Zu loben ist die knappe und klare Darstellungsweise, die Übersichtlichkeit und Ordnung und die gute Ausstattung.

Gr.-Lichterfelde.

Wilhelm Bahrdt.

Chemisch-mineralogischer Kursus. Leitfaden der Chemie und Mineralogie für höhere Lehranstalten. Methodisch bearbeitet von Otto Ohmann, Prof. am Dorotheenstädt. Realgymnasium in Berlin. Fünfte, die neueren Anschauungen berücksichtigende Auflage. Mit 157 Figuren und einer Spektraltafel. Berlin, Winkelmann & Söhne, 1910. VIII und 207 S. In Leinwand gebunden M 2,20.

Der Verf., dessen Verdienste um die Methodik und Technik des chemischen Unterrichts allgemein anerkannt sind, ist in der letzten Zeit mehrfach für die Einrichtung von chemischen Schülerübungen eingetreten, und zwar von ähnlichen, wie sie seit einer Reihe von Jahren an vielen höheren Schulen für die Physik eingeführt worden sind, die also von den seit Jahrzehnten üblichen, im wesentlichen auf die Analyse ausgehenden Laboratoriumsarbeiten wesentlich abweichen. Diesem

Gedanken entspricht die wichtigste Verbesserung, die die vorliegende neue Auflage des Leitfadens zeigt; es ist nämlich eine große Reihe von einfachen Versuchen, die sich für die Unter- und Obersekunda der Vollarbeiten und die oberste Klasse der Realschulen zu praktischen Übungen eignen, — falls „irgendwie Zeit im Lehrplan und ein Übungsraum vorhanden“ ist — eingefügt und gekennzeichnet worden. Sie sind auf Grund wirklicher Erfahrungen mit großem pädagogischen Takt ausgewählt und erläutern teils das physikalische Verhalten der Stoffe, wie Löslichkeit, Kristallisation, Sublimierbarkeit usw., teils sind sie vertiefende Parallelversuche für das eigentlich chemische Pensum und beziehen sich auf die Bildung von Sulfiden und Oxyden, die Darstellung von Salzen, die Fällung von Lösungen durch Schwefelwasserstoff usw.; auch eine Zahl von einfachen maßanalytischen Übungen ist aufgenommen worden. Bei dem Versuch über den Opal, S. 47, wäre der Zusatz wünschenswert, daß der beim Erhitzen des Minerals im Probierring auftretende Wasserbeschlag nur dann das Vorhandensein von chemisch gebundenem Wasser beweist, wenn man die Probe vorher durch Trocknen bei 100° von dem mechanisch anhaftenden Wasser völlig befreit hat.

Daß in dem Buche die mineralogisch-geologischen Tatsachen eine eingehendere Behandlung als in ähnlichen Schriften finden, ist ja, da es Chemie und Mineralogie zu einem einheitlichen Ganzen vereinigen soll und grundsätzlich die chemischen Erscheinungen an wirkliche Naturkörper knüpft, selbstverständlich. Dementsprechend zeigt diese Auflage eine Vermehrung der so lehrreichen Mineralversuche. Noch mehr ist die Gesteinslehre auf Grund der neueren Anschauungen umgearbeitet und erweitert worden. Mit der hier gegebenen Einteilung in die drei Hauptgruppen der Erstarrungs-, Sediment- und metamorphischen Gesteine wird man sich gewiß einverstanden erklären; wenn es aber in bezug auf die Untereinteilung der ersten Gruppe, S. 183, heißt, daß „ein Tiefengestein, z. B. Granit, nie als solches eruptiv werden kann“, so wird man dies mit Rücksicht auf die durch andere Gesteine gangartig hindurchgreifenden Granite als irreführend bezeichnen müssen.

Im übrigen sei auf die Besprechungen der früheren Auflagen (d. Zeitschr. III, 49; X, 318; XVIII, 60; XX, 410) verwiesen. Möge das in vieler Hinsicht vorbildliche Buch mehr und mehr die gebührende Verbreitung finden

und die Fachgenossen zu immer vollkommenerer Gestaltung des chemischen Unterrichts anregen.

J. Schiff.

1. **Anorganisch-chemisches Praktikum.** Qualitative Analyse und anorganische Präparate. Von Dr. E. Riesenfeld, Prof. a. d. Universität Freiburg i. Br. 2. Aufl. Leipzig, S. Hirzel, 1910. 340 S. Geb. M 6,—.
2. **Tabellen zur chemischen Analyse.** Von O. Wallach, Prof. a. d. Universität Göttingen. 4. Aufl. Bonn, A. Marcus u. E. Weber, 1910. 69 S.
3. **Einführung in die qualitative chemische Analyse.** Zum Gebrauche bei den praktischen Übungen im Laboratorium. Von Dr. S. Wiechowsky, Prof. am Pädagogium in Wien. Wien und Leipzig. J. Sagar, 1910. M 2,—.
4. **Übungsbeispiele aus der quantitativen chemischen Analyse** durch Gewichtsanalyse einschließlich der Elektroanalyse. Von Dr. G. Vortmann, Prof. a. d. Techn. Hochschule in Wien. 3. Aufl. Leipzig und Wien, F. Deuticke, 1910. 63 S. M —,—.

1. Nach Art der größeren, auch in dieser Zeitschrift besprochenen Praktika (Knoevenagel u. a.) sind die einzelnen Abschnitte mit umfangreichen theoretischen Erörterungen durchsetzt. Dieselben sind klar und übersichtlich abgefaßt und bewegen sich durchgängig auf dem Boden der modernen Anschauungen. Bei Gelegenheit des Massenwirkungsgesetzes wird z. B. als umkehrbare Reaktion sehr anschaulich das Gasgemisch $CO_2 + H_2$ bzw. $CO + H_2O$ behandelt, das beim Erhitzen auf 885° den Gleichgewichtszustand $\frac{1}{4} H_2, \frac{1}{4} CO_2, \frac{1}{4} CO, \frac{1}{4} H_2O$ erlangt. Sehr zweckmäßig sind die genannten, allenthalben zerstreuten „theoretischen Ergänzungen“ im Inhaltsverzeichnis noch besonders zusammengestellt, ebenso die zahlreichen (60) Präparate, die sonst den analytischen Übungen angegliedert sind. Im Kapitel „Handfertigkeiten und Anweisungen“ wäre es empfehlenswert gewesen, die Unfallmöglichkeiten, die im Interesse der Praktikanten immer wieder zu betonen sind, noch mehr zu berücksichtigen. Das Buch sei, auch im Hinblick auf die chemischen Schülerübungen der höheren Lehranstalten, allgemeiner Betrachtung empfohlen.

Nr. 2 (O. Wallach) läßt die Vorteile, die die Anordnung in Tabellenform bietet, sehr scharf hervortreten. In typographischer Hinsicht ist zu bemerken, daß durch eine so kleine Schriftart, wie sie die theoretischen Vorbemerkungen (S. 5—11) aufweisen, der Myopie Vorschub geleistet wird.

Nr. 3 (S. Wiechowski) nimmt ebenfalls teilweise die Tabellenform zu Hilfe und enthält noch mancherlei nützliche Beigaben über Glasbearbeitung, erste Hilfe bei Unfällen u. a.

4. (G. Vortmann.) Die empfehlenswerten „Übungsbeispiele“ wurden gelegentlich der zweiten Auflage bereits in dieser Zeitschrift besprochen (XVIII, 119). Die vorliegende Ausgabe ist durch die Aufnahme einiger neuerer Trennungsmethoden bereichert worden.

Auch die letztgenannten Bücher können für die Zwecke der chemischen Schülerübungen manche nützliche Dienste leisten. O.

Aus Natur und Geisteswelt. Nr. 234. K. Arndt, Elektrochemie, 80 S. — Nr. 264. W. Löb, Einführung in die chemische Wissenschaft, 104 S. — Nr. 286. R. Biedermann, Die Sprengstoffe, ihre Chemie und Technologie, 130 S. — Nr. 291. O. Anselmino, Das Wasser, 122 S. — Nr. 241. J. E. Mayer, Heizung und Lüftung, 112 S. — Nr. 76. G. Abel, Chemie in Küche und Haus, 2. Aufl. von J. Klein, 152 S. — Nr. 1. H. Buchner, Acht Vorträge aus der Gesundheitslehre, 3. Aufl. von M. v. Gruber, 134 S. — Nr. 19. J. Frentzel, Ernährung und Volksnahrungsmittel, 2. Aufl. von N. Zuntz, 120 S. — Leipzig, B. G. Teubner. 1909, 1910. Jedes Bändchen M 1,25.

Die vorstehenden Bändchen der geschätzten Sammlung sind ein neues Zeichen dafür, in welchem steigendem Maße gediegene populäre Darstellungen aus den Naturwissenschaften immer weiteren Kreisen zugeführt werden. Die Elektrochemie von K. Arndt gibt nicht nur eine klare Darstellung der Grundtatsachen — unter Berücksichtigung des historischen Momentes —, sondern wird auch den vielseitigen technischen Anwendungen, z. B. der Elektrolyse der Salzlösungen in der chemischen Großindustrie gerecht. Das Bändchen von W. Löb ist keine eigentliche Einführung in die Chemie, sondern eine Zusammenfassung der wichtigsten Gesetze der allgemeinen Chemie. Die übersichtlichen Ausführungen über die Aggregatzustände (wohl besser Formarten), die Lösungen, das periodische System, die Thermochemie usw. würden durch Einstreuen kurzer historischer Notizen noch mehr gewinnen. Die „Sprengstoffe“ von R. Biedermann geben einen vorzüglichen, auf viel zahlenmäßiges Material gestützten Einblick in die Natur dieser immer wichtiger werdenden Stoffe. In ähnlicher Weise enthalten auch die übrigen genannten Bücher treffliche, von wissenschaftlicher Grundlage ausgehende Darstellungen der einzelnen Gebiete. Auf das

in biologischer Hinsicht sehr wertvolle Bändchen von Frentzel-Zuntz mit seinen instruktiven Abbildungen und Tafeln sei noch besonders hingewiesen. *O. Ohmann.*

Lehrgang der Chemie und Mineralogie für höhere Schulen. Von Prof. Dr. F. Küsspert, am Realgymnasium in Nürnberg. 2. Aufl. I. Teil: Metalloide, 237 S., M 2,20; II. Teil: Metalle, 126 S., M 1,50; III. Teil: Mineralogie, 68 S., M 1.20.

In der Neuausgabe ist das zuerst einbändige Lehrbuch in drei handliche kleinere Bücher geteilt worden. Die verschiedentlich vorgenommenen Änderungen — z. B. ist jetzt zum ersten Teil ein sorgfältig gearbeitetes Register hinzugekommen — sind durchweg Verbesserungen. Teil I, S. 17 ist als Druckfehler stehen geblieben, daß die Zahl der Elemente „etwa 70“ (statt etwa 80) betrage. Da die erste Ausgabe an dieser Stelle bereits eine eingehende Besprechung erfahren hat (diese Zeitschr. XXII, 64), so muß es genügen, auf die neue Auflage des frisch geschriebenen Lehrbuches empfehlend hinzuweisen. *O.*

Physikalisch-chemische Rechenaufgaben. Von Dr. R. Abegg, Professor, und Dr. O. Sackur, Privatdozent a. d. Univ. Breslau. Sammlung Götschen, Leipzig 1909. 104 S. M 0,80.

Den Anfang des Buches bildet eine Zusammenstellung derjenigen Gesetze und Formeln, die in den Aufgaben zur Anwendung gelangen — es handelt sich hier um die fundamentalsten Gesetze der physikalischen Chemie in prägnanter Fassung und in mathematischer Formulierung. Dann werden auf verhältnismäßig engem Raum (S. 9...21) 32 Aufgaben aus den verschiedenartigsten Gebieten — über Gasdruck, Lösungen, Bildungswärmen, Dissoziationskonstanten, Leitvermögen u. v. a. — aufgestellt, während der ganze übrige Raum der ausführlichen Lösung der Aufgaben gewidmet ist. Die Aufgaben nebst Lösungen sind vorzüglich dazu geeignet, die schwierigeren Begriffe der modernen Theorien einzüben. Da sie schon eine ziemlich weitgehende Beherrschung des Stoffes voraussetzen, werden sie insbesondere vorgeschrittenen Praktikanten gute Dienste leisten. Sie seien aber auch allgemeinerem Interesse empfohlen. *O.*

Versammlungen und Vereine.

Verein zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts.

XIX. Hauptversammlung in Posen.

17.—19. Mai 1910.

Die Zahl der Teilnehmer hat einschließlich der Damen 221 betragen, eine überaus hohe Zahl, die vielleicht die Besuchszahl aller vorhergegangenen Versammlungen übertrifft.

Am 17. Mai wurde die 1. Hauptsitzung im Auditorium maximum der Kgl. Akademie eröffnet. An die Begrüßungsreden von Prof. KÖNNEMANN, Prov.-Schulrat KUMMEROW und Oberbürgermeister WILMS schloß sich eine gedankenreiche Ansprache des Rektors der Akademie, Prof. SPIES, mit besonderer Beziehung auf Kopernikus, den hervorragendsten Forscher der deutschen Ostmark.

Dann folgte der Vortrag von F. POSKE-Berlin über die humanistischen Elemente im realistischen Unterricht (diese Zeitschr. XXIII, 242); dann eine Führung durch das Akademiegebäude und Demonstration einer Reihe von Apparaten und Versuchen: Erzeugung flüssiger Luft, Foucaultsches Pendel, Versuche mit Druckluft, eine Wellenmaschine für langsame Wellen nach W. H. Julius (diese Zeitschr. XX, 87), Verwendung von Transformatorströmen

für elektrische Schweißung, Analyse elektrischer Schwingungen bis zur Frequenz 100000 pro Sekunde mittels eines Drehspiegels. — Von den weiteren Vorträgen sei noch genannt: Geh.-Rat Prof. WERNICKE „über die Wasserversorgung großer Städte“.

Am zweiten Tage hielt Prof. LUMMER-Breslau einen von zahlreichen Versuchen begleiteten Vortrag „über das Sehen im Dunkeln“, in dem auch die physikalischen Prinzipien der modernen Photometrie eingehend erörtert wurden. — Dr. JANSEN-Hamburg sprach über die Stabilität der Flugmaschinen (vgl. diese Zeitschr. XXIII, 229). — Direktor GRIMSEHL-Hamburg führte eine Reihe von Versuchen und sehr einfach konstruierten Apparaten vor, um die elementarsten Induktionserscheinungen und deren Umkehrung zu erläutern. — Über die Vorträge aus andern Gebieten und die Besichtigungen vergleiche man die „Unterrichtsblätter“ 1910, Nr. 4 und 6.

An die Versammlung schloß sich noch die Besichtigung eines Ansiedlungsdorfes in der Nähe von Posen sowie ein zweitägiger physikalischer Übungskursus unter Leitung von Prof. SPIES.

Verein zur Förderung des physikalischen Unterrichts in Berlin.

Sitzung am 14. Januar 1910. Herr HEYNE machte einige Mitteilungen aus dem 1745 erschienenen Buche „Die Eigenschaften der elektrischen Materie usw.“ von Chr. H. Winkler und schloß daran Betrachtungen über die Behandlung physikalischer Fragen vor 165 Jahren. — Derselbe sprach über einige bei der Darstellung einer Zentralbewegung aus zwei Komponenten sich ergebende Schwierigkeiten. — Herr BÖHM sprach über Beziehungen zwischen den Formeln für die Pendelbewegung und die Zentrifugalkraft, ferner über einen Beweis für den Satz vom Parallelogramm der Kräfte.

Sitzung am 11. Februar 1910. Herr STEINDEL demonstrierte in dem neuen Institut der Hohenzollernschule (Gymnasialabteilung) einige neuere Unterrichtsmittel der Physik. Er beschrieb die rotierende Luftpumpe von Dr. Gaede und stellte mit ihr mehrere Versuche an. Er zeigte eine selbstkonstruierte Wellenmaschine für transversale, stehende und longitudinale Wellen. Er demonstrierte den Behnschen Versuch, die durch Rauch veranlaßte Nebelbildung, Versuche über die Zentrifugalkraft und über Influenz. Er zeigte den Frahmischen Resonanzkreisel, ein pneumatisches Feuerzeug von besonderer Form, einen Lautsprecher, einen Wechselstromwecker, Dreifarbenlaternen von Leppin & Masche, ein Elektrometer von Ellermann, eine Weinholdsche Fallmaschine.

Sitzung am 11. März 1910. Herr VOLKMANN sprach über einen selbstkonstruierten Lichtzeiger für objektive Spiegelablesung. — Derselbe zeigte eine neue Kreuzmuffe und eine besonders gearbeitete Wand- und Tischklemme. — Herr HEITCHEN sprach über einen Fehler des Rechenschiebers und dessen Kompensation. — Derselbe besprach die Eigenschaften einiger stark brechender Flüssigkeiten, eine spaltförmige Herstellung des Bogenlichts, die Farbenvereinigung durch Drehung vieler nebeneinander erzeugter Spektren, ein für Projektionsversuche geeignetes Umkehrprisma, einen Hohlspiegelversuch, Darstellung der Linsensätze.

Sitzung am 6. Mai 1910. Herr HEYNE besprach das Programm der bevorstehenden Jahresversammlung des „Vereins zur Förderung des math. und naturwissenschaftl. Unter-

richts“ in Posen. — Herr MASCHE zeigte die für den physikalischen Unterricht getroffenen neuen Einrichtungen des Kaiser-Wilhelms-Real-gymnasiums und demonstrierte einige Schulversuche und Schülerübungsversuche mit den dortigen Apparaten.

Sitzung am 11. Juni 1910. Herr GLATZEL sprach über Vorgänge in Wechselstromkreisen und demonstrierte den Einfluß einer Selbstinduktion und eines Kondensators auf die dabei auftretenden Erscheinungen. Bei der Diskussion erörterte Herr KOLBE (Petersburg) als Gast die Frage der Energiemessung und -verwertung bei der drahtlosen Telegraphie. Hieran schloß sich eine Besprechung der Vorzüge und Nachteile der verschiedenen Elektrometer und Elektroskope.

Sitzung am 9. September 1910. Herr POSKE erstattete einen Bericht über die Brüsseler Weltausstellung. Er beschrieb die Einrichtung der deutschen Unterrichtsabteilung, die Räume für Schülerübungen, für physikalische Apparate, für Mechanik und Optik. An der Hand des Katalogs gab er einen Überblick über die andern Ausstellungsgegenstände aus dem Gebiet des deutschen Schulwesens, beschrieb die entsprechenden Abteilungen der fremden Nationen und schilderte seine eigene Tätigkeit in Brüssel. — Herr HEYNE zeigte einen Brief von Helmholtz an Schellbach.

Sitzung am 28. Oktober 1910. Herr Ingenieur EYRING zeigte einen Benzinmotor für Demonstrationszwecke. — Eingehend besprochen wurde die Frage der Beschaffung physikalischer Apparate, einer Kontrolle derselben durch Sachverständige bzw. einer für diesen Zweck zu schaffenden Zentralstelle.

Sitzung am 25. November 1910. Herr F. F. MARTENS sprach im physikalischen Hörsaal der Handelshochschule über die Dynamomaschine im Unterricht. Er gab schematisch das Prinzip eines Gleichstromstators in seinen verschiedenen Abarten und beschrieb die Schaltung und Wickelung eines Trommelankers. Er gab eine Berechnung der bei der Maschine vorkommenden Konstanten. Er zeigte die Kuppelung einer Maschine mit einer zum Abbremsen dienenden zweiten Maschine und die dadurch auszuführende Bestimmung ihres Drehmoments.

Sitzung am 9. Dezember 1910. Herr VOLKMANN demonstrierte einen neuen Fresnelschen Interferenzspiegel und eine Lampe zur objektiven Darstellung von Spektrallinien.

Schk.

Himmelserscheinungen im April und Mai 1911.

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

| | | April | | | | | | Mai | | | | | |
|----------------------------|---------|--|---------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | 3 | 8 | 13 | 18 | 23 | 28 | 3 | 8 | 13 | 18 | 23 | 28 |
| ♀ | AR | 1 ^h 37 ^m | 2. 9 | 2.34 | 2.52 | 3. 0 | 2.59 | 2.51 | 2.40 | 2.32 | 2.30 | 2.34 | 2.44 |
| | D | + 11 ^o | + 15 ^o | + 18 ^o | + 20 ^o | + 20 ^o | + 19 ^o | + 17 ^o | + 15 ^o | + 13 ^o | + 12 ^o | + 11 ^o | + 12 ^o |
| ♀ | AR | 2 ^h 41 ^m | 3. 5 | 3.29 | 3.54 | 4.19 | 4.44 | 5.10 | 5.36 | 6. 1 | 6.27 | 6.52 | 7.17 |
| | D | + 16 ^o | + 18 | + 20 | + 21 | + 23 | + 24 | + 25 | + 25 | + 26 | + 26 | + 25 | + 25 |
| ☉ | AR | 0 ^h 46 ^m | 1. 5 | 1.23 | 1.42 | 2. 0 | 2.19 | 2.38 | 2.57 | 3.17 | 3.36 | 3.56 | 4.17 |
| | D | + 5 ^o | + 7 | + 9 | + 11 | + 12 | + 14 | + 15 | + 17 | + 18 | + 19 | + 20 | + 21 |
| ♂ | AR | 21 ^h 12 ^m | 21.27 | 21.42 | 21.56 | 22.11 | 22.25 | 22.39 | 22.53 | 23. 7 | 23.21 | 23.35 | 23.48 |
| | D | - 17 ^o | - 16 | - 15 | - 14 | - 13 | - 12 | - 10 | - 9 | - 8 | - 6 | - 5 | - 3 |
| ♃ | AR | | 14 ^h 42 ^m | | 14.37 | | 14.32 | | 14.27 | | 14.23 | | 14.18 |
| | D | | - 14 ^o | | - 14 | | - 14 | | - 13 | | - 13 | | - 12 |
| ♄ | AR | 2 ^h 19 ^m | | | | | | 2.33 | | | | | |
| | D | + 12 ^o | | | | | | + 13 | | | | | |
| ☾ | Aufg. | 5 ^h 34 ^m | 5.23 | 5.11 | 5. 0 | 4.50 | 4.39 | 4.29 | 4.20 | 4.11 | 4. 3 | 3.56 | 3.50 |
| | Unterg. | 18 ^h 34 ^m | 18.42 | 18.51 | 19. 0 | 19. 9 | 19.17 | 19.26 | 19.34 | 19.42 | 19.50 | 19.57 | 20. 4 |
| ☾ | Aufg. | 7 ^h 11 ^m | 12.21 | 18.55 | — | 3.27 | 4.35 | 7.25 | 14.12 | 20.25 | 0.32 | 2.16 | 3.36 |
| | Unterg. | — | 4. 7 | 5.17 | 6.43 | 11.50 | 18.54 | 0.45 | 3. 5 | 4. 2 | 7. 5 | 13.29 | 21. 1 |
| Sternzeit im mittl. Mittg. | | 0 ^h 42 ^m 39 ^s | 1. 2.22 | 1.22. 4 | 1.41.47 | 2. 1.30 | 2.21.13 | 2.40.56 | 3. 0.38 | 3.20.21 | 3.40. 4 | 3.59.47 | 4 19.29 |
| Zeitgl. | | + 3 ^m 38 ^s | + 2.10 | + 0.48 | - 0.27 | - 1.32 | - 2.26 | - 3. 6 | - 3.34 | - 3.48 | - 3.47 | - 3.32 | - 3. 3 |

Mittlere Zeit = wahre Zeit + Zeitgleichung.

| Mondphasen in M.E.Z. | Neumond | Erstes Viertel | Vollmond | Letztes Viertel |
|-------------------------|---------|---|---|---|
| | | April 28, 23 ^h 25 ^m Mai 28, 7 ^h 24 ^m | April 6, 6 ^h 55 ^m Mai 5, 14 ^h 14 ^m | April 13, 15 ^h 36 ^m Mai 13, 7 ^h 10 ^m |

| Planetensichtbarkeit | Merkur | Venus | Mars | Jupiter | Saturn |
|----------------------|--|---|--|---|---|
| im April | um die Mitte des Monats abends etwa 1 Stunde lang sichtbar | 2 ¹ / ₂ bis 3 Stunden als Abendstern sichtbar | morgens etwa 1/4 Stunde lang sichtbar | die ganze Nacht hindurch sichtbar | wird um die Mitte des Monats unsichtbar |
| im Mai | unsichtbar | am Schluß noch 2 ³ / ₄ Stunden lang sichtbar | morgens 1/4 bis 1/2 Stunde lang sichtbar | die ganze Nacht hindurch sichtbar, Opposition am 1. | unsichtbar, Konjunktion am 1. |

Eine in Deutschland **unsichtbare, totale Sonnenfinsternis** ereignet sich in der Nacht vom 28. zum 29. April. Die Sichtbarkeitszone erstreckt sich von Ostaustralien über Mittelamerika bis in die südliche Hälfte Nordamerikas.

Verfinsterungen der Jupitertrabanten (E = Eintritt, A = Austritt):

| | | | | | |
|--|------|---|-------|--|----|
| April 6, 22 ^h 44 ^m 30 ^s M.E.Z., | II E | April 29, 21 ^h 26 ^m 55 ^s M.E.Z., | III E | Mai 10, 20 ^h 27 ^m 2 ^s M.E.Z., | IA |
| 8, 21 48 33 | I E | 29, 22 48 48 | III A | 17, 22 20 58 | IA |
| 24, 20 3 58 | I E | Mai 1, 22 14 5 | II A | 25, 0 15 2 | IA |

F. Koerber.

Nachdruck nur mit Quellenangabe und mit Genehmigung der Verlagshandlung gestattet.