

Die propädeutische Physik im Lehrplan des Gymnasiums.

Von

Dr. F. Poske in Berlin.

I.

Die neuen preussischen Lehrpläne für die höheren Schulen ¹⁾ enthalten in Bezug auf den physikalischen Unterricht am Gymnasium eine Bestimmung, die auf den ersten Blick als die Erfüllung eines von vielen Seiten und immer dringender geäußerten Bedürfnisses erscheinen könnte. Sie setzen einen vorbereitenden chemisch-physikalischen Kursus fest und weisen diesem ein Semester der Obertertia, zwei Semester der Untersekunda mit je zwei Stunden zu. Damit ist eine Einrichtung wieder ins Leben gerufen, die durch die Lehrpläne von 1882 aufgehoben, vorher aber an einer Reihe von Gymnasien zugelassen war und in einem einjährigen physikalischen Kursus in der Obertertia bestand. Die innere Notwendigkeit dieser Einrichtung war so stark, dass die statt ihrer angesetzten Kurse in der Mineralogie und Anthropologie mit der Zeit immer mehr Stücke aus der propädeutischen Physik in sich aufnahmen. Diese Notwendigkeit ist nunmehr durch die Anordnung eines obligatorischen physikalischen Unterkursus von der Behörde selbst anerkannt worden. Auch die dafür verwendbare Zeit ist die gleiche wie vor 1882. Denn von den drei Semestern, die für diesen Unterricht bestimmt sind, wird eines (in Untersekunda) der Chemie und Mineralogie vorzubehalten sein, es bleibt also nur ein Jahr mit wöchentlich zwei Unterrichtsstunden für die eigentliche Physik übrig.

In einer wesentlichen Hinsicht aber unterscheidet sich die neue Einrichtung von der älteren. Bei dem propädeutischen Kursus vor 1882 konnte der zu bearbeitende Stoff auf ein engeres Gebiet, in der Regel wohl die Mechanik der drei Aggregatzustände und die Wärmelehre, beschränkt werden. Diese Beschränkung des propädeutischen Kursus ist u. a. auch in der bereits 1859 erschienenen, auf einen Jahrgang von zwei wöchentlichen Stunden berechneten „Physikalischen Vorschule“ von EMSMANN eingehalten. Durch die neuen Lehrpläne aber ist die Ausdehnung des „vorbereitenden physikalischen Lehrganges“ über alle Hauptgebiete der Physik vorgeschrieben ²⁾. Der Umfang des Unterrichtes ist also zum mindesten auf das Doppelte vergrößert, während die Stundenzahl unverändert gelassen ist. Diese Ausdehnung des unteren Kursus wird in den Lehrplänen selbst gerechtfertigt

¹⁾ Lehrpläne und Lehraufgaben für die höheren Schulen nebst Erläuterungen und Ausführungsbestimmungen. 77 S. Berlin, W. Hertz, 1891.

²⁾ Die Verteilung ist folgende. In Ober-III: Der Mensch und dessen Organe nebst Unterweisungen über die Gesundheitspflege. — Vorbereitender physikalischer Lehrgang Teil I (Mechanische Erscheinungen, das Wichtigste aus der Wärmelehre). In Unter-II: Vorbereitender physikalischer Lehrgang Teil II (Magnetismus, Elektrizität, die wichtigsten chemischen Erscheinungen nebst Besprechung einzelner besonders wichtiger Mineralien und der einfachsten Krystallformen, Akustik, einige einfache Abschnitte aus der Optik).

durch die Absicht, „auch denjenigen Schülern, welche nach dem Abschluss der Untersekunda die Schule verlassen, ein möglichst abgerundetes Bild der wichtigsten Lehren auf diesen Gebieten mit in das Leben zu geben“. Man darf dagegen nicht einwenden, dass das Gymnasium auf diese Schüler keine Rücksicht zu nehmen brauche, denn die Thatsache ist einstweilen nicht aus der Welt zu schaffen, dass eine grosse Anzahl von Schülern von dieser Stufe in das praktische Leben eintritt und auf dem Gymnasium ihre ausschliessliche Vorbildung erhält. Man wird aber andererseits erwarten dürfen, diese Rücksicht nur in solem Maasse geübt zu sehen, dass dadurch nicht die Erfüllung der eigentlichen Aufgaben des Gymnasiums gefährdet wird, und man wird eine solche Maassregel um so mehr beanstanden müssen, wenn zu befürchten steht, dass nicht einmal der Zweck, der bei jener Absicht vorschwebte, in befriedigender Weise erreicht wird.

Um mit dem Letzteren zu beginnen, so erscheint es völlig ausgeschlossen, dass in der jetzt dafür angesetzten Zeit ein Bild der wichtigsten Lehren der ganzen Physik, sofern es mit wirklicher Einsicht in diese Lehren verknüpft sein soll, gegeben werden könnte. Zumal wenn der Unterricht, wie es durch den Zweck der Einrichtung nahe gelegt ist, möglichst bis zum Verständnis der vielfältigen praktischen Anwendungen (wie Dampfmaschinen, Telephon, Kraftübertragung) geführt werden soll, wird ein hastiges Durcheilen des weiten Gebiets, statt eindringenden Durcharbeitens, die Folge sein müssen. Zieht man noch in Betracht, dass in den davon betroffenen Klassen die Arbeitskraft der Schüler durch den vorgeschriebenen Abschluss der grammatischen Schulung, durch die Vermehrung des mathematischen Unterrichtsstoffes und durch die Einführung der Prüfung bereits übermässig angespannt ist, und dass andererseits der physikalische Unterricht davon absehen muss, den häuslichen Fleiss der Schüler in Anspruch zu nehmen, so wird die Besorgnis nur allzu begründet sein, dass bloss Oberflächlichkeit durch solchen Betrieb begünstigt und dass die Halbbildung, die bisher den von dieser Stufe des Gymnasiums Abgehenden nachgesagt wurde, nicht vermieden, sondern vielmehr gesteigert werde.

Andererseits kann auch für die auf dem Gymnasium Bleibenden kein Segen von der geschilderten Gestaltung des Unterrichts erwachsen. Die Forderung der Lehrpläne, dass die Schüler zum eigenen Denken und zum Beobachten angeleitet werden sollen, wird nur in sehr beschränktem Maasse erfüllt werden können, wenn gleichzeitig ein auch nur annähernd abgeschlossenes Wissen von den „wichtigsten physikalischen Lehren“ mitgeteilt werden soll. Ein ruhiges Verweilen bei den Vorgängen, ein Eingehen auf Fragestellungen und Erklärungsmöglichkeiten, ein Herausarbeiten der induktiven Denkprozesse wird fast unausführbar; die Schüler, die eine Anleitung zum richtigen Urteilen über die Wirklichkeit in diesen Stunden erhalten sollten, werden darin fortan mehr ihre Neugierde angeregt als ihren Wissenstrieb gefördert und befriedigt finden. Die Bestrebungen zur Hebung des Physikunterrichts, die in dieser Zeitschrift seit ihrer Begründung zum Ausdruck gekommen sind, werden von den neuen Bestimmungen am empfindlichsten getroffen; denn wie soll unter solchen Umständen noch eine Einführung in die Methode des wissenschaftlichen Denkens möglich sein? Man wird sagen, dass dafür ja die Oberstufe noch Gelegenheit bietet. Aber solange von einem propädeutischen Kursus die Rede ist, hat man seine Berechtigung vornehmlich darin gefunden, dass er den Schülern diejenige Vorbildung im Beobachten und Denken geben soll, die bei der Behandlung physikalischer Probleme auf der Oberstufe

vorausgesetzt werden muss. So fordert schon EMSMANN in der bereits angeführten Schrift eine Vorklasse, „in welcher die Schüler im Beobachten geübt werden, in welcher sie die strenge Methode der Induktion kennen lernen, in welcher sie mit den Mitteln vertraut werden, die den gewöhnlichen Maassbestimmungen zu Grunde liegen, in welcher sie an einfachen Erscheinungen die Bestimmungsstücke zu verfolgen, das Gesetz aufzustellen und die Erklärung durchzuführen, d. h. auf andere bekannte Gesetze zurückzuführen befähigt werden.“ Und es ist auch nicht gleichgiltig, auf welcher Stufe der geistigen Entwicklung versucht wird diese Fähigkeiten auszubilden. Gegen die einseitig sprachlich-grammatikalische Schulung des Verstandes ist das physikalische Denken ein Gegengewicht, das dem noch bildsamen Geiste möglichst früh nahe gebracht werden muss, wenn anders es noch leicht und willig aufgenommen werden soll. Physikalischen Erscheinungen, selbst solchen einfachster Art, bringen die Schüler der Mittelklassen das regste Interesse entgegen, und dies Interesse bietet eine wertvolle Handhabe, um auch den Sinn für denkende Betrachtung der Erscheinungen in ihm auszubilden. Auf der Oberstufe ist das Interesse nicht mehr so frisch, und ist gar der Reiz der Neuheit durch Vorwegnahme der wichtigsten Experimente auf der Unterstufe abgestreift, so wird es schwer halten, noch eine gleich lebhaftete Teilnahme an der Erklärung der physikalischen Vorgänge auf der Oberstufe zu wecken, zumal wenn die Einsicht in die einfacheren Gesetze fehlt, die für das Verständnis schwierigerer Erscheinungen erforderlich ist. Darum muss mit der Einführung in die Methode des physikalischen Denkens möglichst zeitig begonnen werden, wenn dieses Denken als ein Bestandteil der gesamten geistigen Ausbildung zur Geltung kommen soll. Eine solche Einführung aber ist bei der jetzigen Stundenzahl unvereinbar mit der Durchmessung eines so weiten Stoffgebietes, wie die Physik es selbst bei der elementarsten Behandlung darstellt. Es ist also der Schluss nicht abzuweisen, dass durch die neue Anordnung die eigentliche Aufgabe des Physikunterrichts, die in der Erziehung zum physikalischen Denken besteht, hintangesetzt wird, ohne dass gleichwohl mehr als der Schein einer Vorbildung für das praktische Leben erreicht wird³⁾. Nur bei einer erheblichen Vermehrung der Stundenzahl würden sich beide Zwecke zugleich erfüllen lassen; erwies sich eine solche Vermehrung als unausführbar, so wäre es besser gewesen, den propädeutischen Physikunterricht auf Mechanik und Wärmelehre zu beschränken. Dann wäre es möglich gewesen, die wesentlichste Seite dieses Unterrichts zu verwirklichen, und die nach Abschluss dieser Stufe vom Gymnasium Abgehenden hätten wenigstens den Gewinn gehabt, auf einem begrenzten Gebiet die bildende Kraft des physikalischen Unterrichtes an sich zu erfahren⁴⁾.

³⁾ In demselben Sinne äussert sich F. Pietzker in dem Aufsätze „Die neuen Lehrpläne für die preussischen höheren Schulen“ (*Zeitschr. f. d. Reform der höheren Schulen*, 4. Jahrg. Nr. 1): „Es ist eine Pflicht es auszusprechen, dass eine innerliche Wirkung von diesem vorbereitenden Lehrgange, bei dem die ausgeworfene Zeit mit der zu bewältigenden Aufgabe durchaus nicht im Verhältnis steht, unter keinen Umständen erwartet werden darf.“

⁴⁾ Dem Askanischen Gymnasium in Berlin und einigen andern ist gestattet worden, die Anthropologie (allerdings unter Verkürzung des ohnehin nicht zu reichlich bemessenen naturwissenschaftlichen Unterrichts) aus O. III nach U. III zu verlegen, so dass noch zwei Semesterstunden für den physikalischen Kursus herauskommen (die im ersten Vierteljahr auf Wärmelehre, im zweiten auf mineralogisch-chemische Vorbegriffe verwendet werden). Auch diese Zeit ist indess noch keineswegs ausreichend, um für die beiden oben genannten Zwecke zu genügen. Es sei daran erinnert, dass an den österreichischen Gymnasien dem Unterkursus 10 Stunden (einschliesslich 2 Stunden Mineralogie) zugewiesen sind.

Der chemische Unterricht erleidet durch die neuen Verfügungen ebenfalls eine beträchtliche Einbusse. Zwar steht ihm wie bisher ein Halbjahr der *U. II* zur Verfügung. Während aber bisher der halbjährliche mineralogische Kursus in *O. III* zu einer Art von chemischem Vorkursus benutzt werden konnte, fällt jetzt nicht nur diese Vorbereitung fort, sondern es wird überdies dem chemischen Unterricht auch die bisherige Lehraufgabe aus der Mineralogie (Besprechung einzelner besonders wichtiger Mineralien und der einfachsten Krystallformen) übertragen, d. h. wörtlich dieselbe Aufgabe, für die allein die Lehrpläne von 1882 ein besonderes Halbjahr für nötig befunden haben. Auch hier also Zusammendrängung des Stoffes auf Kosten der Gründlichkeit, Vermehrung des Umfangs auf Kosten der Tiefe.

II.

Es bleibt bei der soeben auseinandergesetzten Lage der Sache noch die Frage übrig, ob sich nicht gleichwohl der Ungunst der neuen Bestimmungen etwas abgewinnen lässt, was zur Förderung der eigentlichen Ziele des physikalischen Unterrichts zu dienen vermöchte. Auf diesen Punkt vornehmlich möchte ich die Aufmerksamkeit der Fachgenossen richten. Denn kein grösseres Missgeschick könnte unsern Unterrichtsgegenstand treffen, als wenn man unter dem Druck der Verhältnisse danach streben wollte, möglichst zahlreiche und verschiedenartige Experimente vorzuführen und zu „erklären“, um den Abgehenden möglichst viele Eindrücke für das praktische Leben mitzugeben. Wenn der physikalische Unterricht mehr als ein blosses Anhängsel, wenn er ein ebenbürtiger Unterrichtsgegenstand neben den übrigen Disziplinen des Gymnasialunterrichts bleiben will, so ist dies nur auf eine Weise denkbar: Man verzichtet darauf, ein „abgerundetes Bild“ zu geben, man verzichtet überhaupt auf encyclopädische Vollständigkeit in irgend welcher Beziehung, man verzichtet darauf, die Kenntnis der „wichtigsten“ Lehren der Physik (darunter würde ich die Undulationstheorie, die Äquivalenz von Arbeit und Wärme, die Erhaltung der Energie u. s. w. verstehen) zu vermitteln, und begnügt sich mit dem Verständnis der einfachsten Lehren. Nur unter dieser Voraussetzung wird es möglich sein, den Unterricht so zu gestalten, dass er seine erziehende Kraft noch zu bewähren vermag. Ein solches Verfahren steht auch völlig im Einklang mit der Forderung der Lehrpläne, es sei „bei der gewaltigen Fülle des Stoffes und der verhältnismässig geringen Zahl der dafür verfügbaren Lehrstunden auf eine angemessene Auswahl die grösste Sorgfalt zu verwenden“⁵⁾.

Von mancher Seite ist eine Auswahl des Stoffes in dem Sinne vorgeschlagen worden, dass dem Unterkursus die experimentelle Seite der Physik zuzuweisen sei, während der oberen Stufe die mehr theoretischen, eine systematische Zusammenfassung ermöglichenden Theile vorbehalten bleiben sollten⁶⁾. Diese Ansicht beruht auf einer Verkennung der Bedeutung des Experiments in der Physik, dem

⁵⁾ Das gleiche Ziel verfolgen die österr. Instr. (für Realschulen) mit der Forderung, dass der Stoff möglichst beschränkt, dafür aber vielseitig bearbeitet werde (a. a. O. S. 214).

⁶⁾ Die Lehrpläne von 1882 haben anscheinend eine solche Auffassung begünstigt, indem sie vorschrieben, diejenigen Zweige der Physik, welche vorzugsweise experimentelle Behandlung gestatten (Elektrizität, Magnetismus, Wärme) sollten der Untersekunda zufallen. Damit kann aber doch nichts anderes gemeint gewesen sein, als dass für diese Stufe nur die experimentelle Behandlung angemessen sei, während die oben erwähnte Ansicht darauf hinauskommt, dass die experimentelle Behandlung sich nur für die Unterstufe eigne.

auf allen Stufen, nicht nur des Unterrichts, sondern auch der Forschung eine entscheidende Rolle zufällt. Die scharfsinnigste Theorie kann durch ein Experiment gestürzt werden, die folgerichtigste Erklärung aus einer Hypothese bedarf der Bestätigung durch die Erfahrung. Ja die blosse Einführung neuer Begriffe in die theoretische Erörterung erfordert in der Regel, dass auf die Erfahrung zurückgegangen wird. Wie dürfte man von der Wellenlänge des Lichtes sprechen, ohne einen entsprechenden Versuch zur wenn auch nur rohen Messung dieser Grösse zu machen, wie von der durch Compression eines Gases erzeugten Wärme, ohne diese Wärme durch einen direkten Versuch nachzuweisen. Ein scharfer Gegensatz zwischen Unter- und Oberstufe lässt sich also nicht aus dem ausschliesslich experimentellen Charakter der ersteren herleiten. Und während das Experiment auf der Oberstufe nicht fehlen darf, ist andererseits eine Zusammenhäufung des experimentellen Materials auf der Unterstufe zwecklos. Versuche mit der Influenzmaschine, der Dynamomaschine, dem Funkeninduktor verbieten sich von selbst, wenn nicht auch auf eine ausreichende Erklärung dieser Apparate eingegangen werden kann. Der Unterricht würde zu einer blossen Schaustellung verlaufen, wenn er in der Vorführung von recht auffälligen Versuchen seine Stärke suchen wollte.

So wenig wie der Gegensatz von experimentell und theoretisch ist der Unterschied von induktiv und deduktiv geeignet, zu einer scharfen Abgrenzung der beiden Stufen zu führen. Auch der induktive Charakter ist der Physik wesentlich und auf keiner Stufe von ihr zu trennen. Wenn sich der Physikunterricht auf der Oberstufe vorwiegend mit der deduktiven Behandlung begnügt, so würde er sich grade jenes Vorzuges begeben, der ihm einen eigenen Wert gegenüber den sämtlichen andern Gymnasialdisziplinen verleiht, des Vorzuges, dass er die Schüler in die Methode, durch die neue Erkenntnis gewonnen wird, einführt. Allerdings darf die induktive Methode nicht mit dem logisch unzureichenden Verfahren des (unvollständigen) induktiven Schlusses verwechselt werden. Die induktive Methode besteht nicht darin, dass eine Einzelbeobachtung für eine ganze Gruppe von Erscheinungen verallgemeinert wird. Aus der Constanz des Siedepunkts beim Wasser schliessen zu wollen, dass der Siedepunkt bei allen Flüssigkeiten constant sein müsse, wäre ebenso unlogisch, wie aus einem Versuch über Wärmeausdehnung zu folgern, dass die Wärme die Körper ausdehnt. Missverständnisse dieser Art machen die Geringschätzung erklärlich, der das naturwissenschaftliche Verfahren hier und da noch begegnet. Aber auch die Zusammenfassung einer Reihe von gleichartigen Beobachtungen macht noch nicht das Wesen der induktiven Methode aus; wollte man etwa im Unterrichte die Siedepunkte möglichst vieler Flüssigkeiten bestimmen, um dann das allgemeine Gesetz um so sicherer aussprechen zu können, so würde man nur Zeit verlieren, ohne sich doch über ein bloss klassifizierendes Zusammenfassen zu erheben. Der eigentliche Bereich der induktiven Methode beginnt erst da, wo es sich um eine Analyse der Thatsachen handelt. Eine solche bestände — um bei dem eben benutzten Beispiel zu bleiben — darin, dass man über den Verbleib der Wärme nachdenkt, die der siedenden Flüssigkeit zugeführt wird, ohne dass doch eine weitere Temperaturerhöhung eintritt. Dies führt zu der Erkenntnis, dass hinter der Thatsache des constanten Siedepunktes eine andere Thatsache, der Wärmeverbrauch bei der Verwandlung von Wasser in Dampf, verborgen ist. Diese Thatsache findet schliesslich durch die direkte Messung der Condensationswärme ihre Bestätigung. Betrachtet man das Verfahren

der Physik von diesem Gesichtspunkte, so ist leicht einzusehen, dass es sich auf allen Stufen um ähnliche Gedankengänge handelt. Es genügt hier an die Analyse der Spektralerscheinung durch NEWTON zu erinnern. Und auch in Fällen, wo die Analyse eine mathematische Form annimmt, wird das Verfahren, obgleich komplizierter, im Prinzip nicht verschieden von dem eben beschriebenen. So beruht die Ableitung der Formel für die Schallgeschwindigkeit, anscheinend eine reine Deduktion, auf der eingehenden Analyse des in der Luft stattfindenden Vorgangs.⁷⁾ Dass sich mit der induktiven Analyse die deduktive Synthese auf allen Stufen verknüpft und auf der oberen, infolge der ausgedehnteren Anwendung mathematischer Methoden, leicht einen breiteren Raum einnimmt, dies steht der Auffassung nicht entgegen, dass die angedeutete Analyse der Vorgänge das Wesentliche der physikalischen Methode ausmacht.⁸⁾

Wir werden hiernach weder die Unterscheidung von experimentell und theoretisch, noch die von induktiv und deduktiv zu Grunde legen können, wenn es sich um Abgrenzung des Lehrstoffes für die Unter- und Oberstufe handelt. Es wird vielmehr auch hier der von A. HÖFLER in dieser Zeitschrift (II, 5) aufgestellte Grundsatz maassgebend sein müssen: dass wir das natürliche Interesse des Schülers für die Erscheinungen der physischen Welt zu beobachten und jedesmal nur insoweit zu befriedigen trachten, als ein Bedürfnis nach physikalischer Erkenntnis wirklich bereits vorhanden ist oder auf naturgemässe Weise geweckt werden kann. Eine weitere Sichtung wird durch die unzureichend bemessene Zeit erforderlich gemacht, die dadurch noch mehr beschränkt wird, dass auch schriftliche Klassenarbeiten (eine willkommen zu heissende Neuerung) angefertigt werden sollen und dass man die Behandlung einfacherer physikalischer Aufgaben nicht ganz wird fallen lassen dürfen. Eine Einigung über das was beizubehalten und das was auszuschneiden ist, wird nicht leicht sein. Es sind daher auch nur vorläufige Vorschläge beabsichtigt, wenn im Nachstehenden der Versuch gemacht wird, eine zweckmässige Auswahl zu treffen. Erst die Erfahrung wird darüber entscheiden können, wie der Stoff am besten zu bemessen ist. Wie man aber auch immer die Auswahl vornehme, stets wird festzuhalten sein, dass gründliche und methodische Durcharbeitung eng begrenzter Abschnitte das Einzige ist, was dem propädeutischen Unterricht in der Physik auch unter den heutigen Verhältnissen noch Wert verleihen kann.

III.

Nach den amtlichen Lehrplänen ist der Stoff, wenn ein halbes Jahr für die Chemie und Mineralogie in Abzug gebracht wird, über ein Jahr mit zwei wöchentlichen Unterrichtsstunden so verteilt, dass Mechanik der Aggregatzustände und Wärmelehre das eine Halbjahr (in O. III), Magnetismus, Elektrizität, Akustik und Optik das andere Halbjahr (in U. II) einnehmen. Ich suche aus jedem einzelnen

⁷⁾ A. Voss und F. Poske, Die Akustik als Unterrichtsgegenstand, in der ehemaligen Zeitschr. zur Förderung des physikalischen Unterrichts, 2. Jahrg. 1885, S. 199.

⁸⁾ Das hier angedeutete Verfahren findet in der Analysis mathematischer Aufgaben eine Art von Vorbild, abgesehen davon, dass eine unmittelbare Beziehung zur Wirklichkeit hier nicht in Frage kommt. Um so bedauerlicher ist es, dass die neuen Lehrpläne auch im mathematischen Unterricht aus praktischen Rücksichten und, meiner Meinung nach unnötigerweise, den Stoff erheblich vermehrt und dadurch die eigentliche geistige Schulung auf diesem Gebiete gleichfalls beeinträchtigt haben.

Gebiet das zu bezeichnen, was dem vorher dargelegten Bedürfnis der Stoffabmessung entspricht.

a) Der Mechanik der Aggregatzustände wird in der Regel ein Abschnitt über allgemeine Eigenschaften vorausgeschickt. Für möglichste Einschränkung dieses Abschnitts haben sich schon mehrfach Stimmen erhoben. Es ist mehr ein Gebot der systematischen Anordnung, als ein pädagogisches Bedürfnis gewesen, wenn in Lehrbüchern, und danach auch im Unterricht, eine möglichst vollständige Aufzählung und Vorführung solcher allgemeinen Eigenschaften angestrebt wurde. Dem Wesen der physikalischen Methode ist eine solche Zusammenstellung fremd, sie ist vielmehr lediglich den deduktiven Wissenschaften nachgebildet. Man wird sich daher auf das beschränken dürfen, was zur Feststellung des Körperbegriffs unumgänglich ist. Demnach gehören hierher „Ausdehnung (Raummaasse)“ und „Undurchdringlichkeit (Volumbestimmung)“. Daran schliesst sich die „empirische Charakteristik der Aggregatzustände“ (hierbei auch die Begriffe elastisch und unelastisch, dehnbar und spröde). — Man wird dagegen an dieser Stelle mit Recht alles ausschliessen, was irgendwie an Molekularhypothesen anknüpft, so insbesondere die darauf gegründeten Definitionen von Cohäsion und Adhäsion, und die in Lehrbüchern meist recht unklar behandelte Porosität. Auszuschliessen ist ferner das Beharrungsvermögen, das eine schärfere Bearbeitung im Zusammenhang mit der Bewegungslehre erfordert, wenn es in seiner Bedeutung richtig aufgefasst werden soll⁹⁾. Dagegen gehört hierher „Schwere und Gewicht“, sowie „Spezifisches Gewicht“ und dessen Bestimmung aus absolutem Gewicht und Volumen. Die Lehre vom Schwerpunkt wird richtiger der Betrachtung des Hebels (siehe unter b) angefügt.

b) Die Mechanik der festen Körper wird auf die Betrachtung der „einfachen Maschinen“ beschränkt werden müssen. Im Anschluss an die schiefe Ebene kann das „Kräfteparallelogramm“ noch auseinandergesetzt werden; an den Hebel schliessen sich einfache Versuche über den „Schwerpunkt“ an; wenn die Zeit es gestattet, auch die Demonstration des „Fadenpendels“.

Auf einzelne Stücke aus der Dynamik, wie die Fallgesetze, den Zusammenhang von Kraft und Masse einzugehen, davon möchte ich aus den oben angeführten allgemeinen Gründen abraten. In Bezug auf diese Kapitel gerade äussern auch die österr. Instr. f. R.: der Unterricht in der Mechanik für die unteren Stufen sei mit grossen methodischen Schwierigkeiten verbunden, die aus der Neuheit und Abstraktheit der Grundbegriffe erwachsen, und er erheische deshalb von Seiten des Lehrers besondere Sorgfalt und Umsicht. Gerade dies Kapitel würde es am allerwenigsten vertragen, mit zu grosser Überstürzung behandelt zu werden. Wichtiger und auch der Klassenstufe angemessener scheint es mir, wenn desto länger bei den folgenden beiden Abschnitten verweilt wird.

c) In der Mechanik der flüssigen Körper erfordern die Gesetze des „Druckes in Flüssigkeiten“ eine möglichst gründliche Erörterung. An den „Auftrieb“ schliessen sich das „archimedische Prinzip“, die „Bestimmung des „spezifischen Gewichts“, das „Schwimmen“ und die „Aräometer“ an.

d) Die Mechanik luftförmiger Körper wird auf die Betrachtung der Luft selbst beschränkt werden müssen. Die „Lehre vom Luftdruck“ und deren Durcharbeitung ist eine der lehrreichsten, und vielleicht die lohnendste Aufgabe

⁹⁾ Derselben Ansicht ist A. Wachlowski in seinen „Bemerkungen zu den Instruktionen etc.“ in der Zeitschrift zur Förderung des physikalischen Unterrichts 1888, S. 244.

aus dem ganzen Gebiet der propädeutischen Physik, ihr sollte daher ein möglichst breiter Raum erhalten bleiben. Auf die quantitative Feststellung der Beziehung zwischen Druck und Volumen wird nicht verzichtet werden dürfen, wenn die Erscheinungen der Luftverdünnung beim Heber, bei den Pumpen u. s. w. zu mehr als oberflächlichem Verständnis gebracht werden sollen.

e) Für die Wärmelehre wird hiernach am Schlusse des ersten Halbjahres nur eine geringe Zeit übrig bleiben, die am besten auf eine sorgfältige Behandlung der „Ausdehnung fester, flüssiger und gasförmiger Körper“ zu verwenden ist. Der Unterschied von Wärmemenge und Temperatur wird in diesem Zusammenhange eine Stelle finden können, die „Strömungen in Flüssigkeiten und Gasen“ infolge ungleicher Erwärmung sind durch ihre enge Beziehung zu Abschnitt e hier von Wichtigkeit und bieten die Möglichkeit eines Ausblickes auf atmosphärische Verhältnisse. Von den Änderungen des Aggregatzustandes wird schwerlich mehr als die Thatsache des constanten Schmelz- und Siedepunktes, als Ergänzung zur Lehre vom Thermometer, vorgeführt werden können, sofern dies nicht schon bei der Besprechung der Aggregatzustände geschehen ist. Ganz auszuschliessen sind jedenfalls die Spannkraft der Dämpfe, die Dampfmaschine, die spezifische Wärme, die Wärmeleitung, soweit sie nicht bei der Begründung der Thermometrie in Betracht kommt, die Wärmestrahlung, die Hygrometrie und die meteorologischen Vorgänge. (Auch die österr. Instr. für G. verweisen trotz reichlicher bemessener Zeit die ganze Lehre von den Dämpfen und deren Anwendungen auf die Oberstufe.)

f) Beim Magnetismus wird man nicht nötig haben über die Fundamentalscheinungen hinauszugehen. Die magnetische Verteilung ist zum Verständnis des Magnetisierens erforderlich, die Behandlung des „Molekularmagnetismus“ zum Verständnis der elektromagnetischen Wirkungen. Sehr angemessen ist, wie auch die österr. Instr. anraten, ein Eingehen auf die Bestimmung des astronomischen Meridians.

g) Die Reibungselektrizität spielt im zweiten Halbjahr eine gleich wichtige Rolle, wie die Mechanik der gasförmigen Körper im ersten, und sollte deshalb im elementaren Rahmen möglichst gründlich bearbeitet, aber nicht über die Erklärung der Leydner Flasche hinaus ausgedehnt werden. Eine zweckmässige Abgrenzung für diesen Abschnitt (wie auch für f, h und einige andere) findet man in NOACKS Bemerkungen zum physikalischen Gymnasialunterricht (*d. Zeitschr. IV, 168*). Nur von den dort angegebenen Wirkungen der Elektrizität dürften mehrere der Oberstufe vorzubehalten sein.

h) Der Galvanismus kann ohne Erwähnung des Metallkontaktes mit der Hydrokette und dem Nachweis der entgegengesetzten Elektrizität an den beiden Polen begonnen werden. Daran schliessen sich Wärmewirkungen, chemische und magnetische Wirkungen des Stroms, die Ampèresche Regel, der Elektromagnetismus nebst einigen Anwendungen. Die Induktion wird als ein abgeschlossenes und nicht so rasch zu erledigendes Gebiet besser auf die Oberstufe verwiesen. Auch vom Potentialbegriff wird man auf der Unterstufe keinen Gebrauch machen können.

i) Die Lehre vom Schall muss auf Entstehung, Ausbreitung, Geschwindigkeit und Reflexion des Schalles beschränkt werden. (Vgl. NOACK a. a. O.).

k) In der Lehre vom Licht ist nach der gradlinigen Ausbreitung namentlich die Lehre von der Spiegelung wichtig; es muss zu deutlicher Einsicht gebracht werden, wie das Bild im ebenen Spiegel zu Stande kommt. Dagegen haben Versuche zur Feststellung des Brechungsgesetzes hier minderen Wert, da dies Gesetz (bei der be-

schränkten Zeit) doch nicht zur Erklärung der Wirkung von Prismen und Linsen benutzt werden kann. Nützlicher würde eine experimentelle Demonstration der Bilder sein, die durch Convexlinsen erzeugt werden, und Anwendung der gewonnenen Sätze auf die Wirkungen der Krystalllinse des Auges, Accommodation, Kurz- und Weitsichtigkeit, und einige einfache Thatsachen der physiologischen Optik. Die optischen Instrumente werden nach dem über das Brechungsgesetz Gesagten auszuschliessen sein. Wo den Lehrplänen gemäss ein ganzes Halbjahr auf die Anthropologie verwendet wird, kann die Besprechung akustischer und optischer Erscheinungen am zweckmässigsten wohl mit dieser verbunden werden.

Schon die hier gegebene Zusammenstellung übersteigt vielleicht in ihrer Gesamtheit das Maass dessen, was dem physikalischen Unterricht auf der Unterstufe an Stoff zugemutet werden kann. In diesem Falle wird es am ratsamsten sein, die Aufmerksamkeit vorwiegend auf die Mechanik flüssiger und luftförmiger Körper einerseits, die Reibungselektrizität andererseits zu concentrieren und die übrigen Abschnitte je nach der verfügbaren Zeit noch mehr einzuschränken.

Ähnliche Überlegungen werden auch für das Realgymnasium gelten können, dem gleichfalls nur 6 Semesterstunden (zwei Semester mit je 3 Stunden in U. II) für die propädeutische Physik nebst Chemie und Mineralogie zugewiesen sind.

Zum Schluss mögen noch aus der Litteratur für den physikalischen Unterricht genannt werden: Mach und Odstrzil, Grundriss der Naturlehre für die unteren Klassen der Mittelschulen; R. Arendt, Materialien für den Anschauungsunterricht in der Naturlehre; Sumpf, Anfangsgründe der Physik. Für die Chemie verdienen aus der grösseren Zahl vorhandener Leitfäden wegen der engeren Verknüpfung von Mineralogie und Chemie besonders O. Ohmanns Mineralogisch-chemischer Kursus und der soeben erschienene methodische Leitfaden für den Anfangsunterricht in der Chemie von W. Levin erwähnt zu werden.

Zur experimentellen Darstellung des Ohmschen und Kirchhoffschen Gesetzes im elementaren Unterrichte.

Von

Dr. P. Szymański in Berlin.

Die rein experimentelle Begründung der Gesetze der galvanischen Strömungen ist ein Kapitel der Physik, bei dessen Behandlung man sich immer und immer nach neuen Versuchsanordnungen umsieht und jedesmal die bereits erprobten Methoden mehr oder weniger modifiziert. Die Frage, wie man unter Voraussetzung elementarer Kenntnisse das Ohmsche Gesetz durch systematische Versuche dem Schüler recht anschaulich entwickeln kann, wird häufig erörtert, und die Bemerkungen und Abhandlungen darüber beweisen, dass die Frage interessant und wichtig, die Antwort aber noch nicht vollständig gelungen ist. Im Folgenden will ich einen kleinen Beitrag zur Diskussion dieser Frage hinzufügen, indem ich eine Reihe von Versuchen zusammenstelle, die ich bei der Behandlung des Gegenstandes anzuführen pflege.¹⁾ Es soll dies nur ein Schema von Versuchen sein, das sich auch leicht modifizieren und durch passend eingeschaltete Betrachtungen mehr mathematischer Natur und durch Hinzuziehung der Analogieen aus der Hydro-

¹⁾ Die Versuche habe ich im Verein zur Förderung des physikalischen Unterrichts in Berlin am 19. November 1890 (vgl. d. *Ztschr.* IV, 158) vorgeführt.

mechanik oder Thermik vervollständigen lässt. Ich will mich hier auf die elektrischen Erscheinungen beschränken.

Die logische Reihenfolge der Versuche bleibt wohl im ganzen bei jeder Methode ziemlich dieselbe, weil sie sich aus der Materie des Gesetzes von selbst ergibt. Immer wird man zuerst die Theorie des offenen Elementes resp. der Batterie in Bezug auf den elektroskopischen Zustand und die Messung der elektromotorischen Kraft aus den Zustandshöhen vorangehen lassen; dann wird man den Begriff der Stromstärke erläutern, den Begriff des Widerstandes präzisieren und die Gesetze dafür ableiten und zuletzt den Zusammenhang zwischen der Stromstärke, der elektromotorischen Kraft und dem Widerstande aufsuchen. Nur durch die Verschiedenheit der benutzten Apparate und die Einzelheiten der Versuche können sich die Methoden von einander unterscheiden. — Gewöhnlich wird in diesen Darlegungen die Tangentenbussole als Messapparat benutzt. Trotz seiner Bequemlichkeit ist meiner Ansicht nach dieser Apparat für die elementare Behandlung keineswegs der geeignetste. Es müssen doch bei dem Schüler einige Kenntnisse der Trigonometrie und der Statik vorausgesetzt werden. Aber dann kommt noch in Betracht, dass das Tangenten-Gesetz ja nur eine Näherung ist. Man wird dem Schüler nicht verheimlichen dürfen, dass die Genauigkeit von der Länge der Magnetnadel abhängig ist, dadurch wird das Vertrauen des Schülers zu dem Instrument geschwächt, da er mit den praktischen Näherungsmethoden wenig vertraut ist. Doch zugegeben, dass man diese Schwierigkeiten bewältigen kann, immer leiden dann die Demonstrationsversuche an dem Übelstande, dass die Verhältnisse der Stromstärken erst durch Rechnung gefunden werden, wodurch ein Teil der Anschaulichkeit der Versuche und die greifbare Vergleichbarkeit der Stromwirkungen sicher verloren geht*). Dieser Übelstand kann dadurch beseitigt werden, dass man ein Galvanometer benutzt, das gleichzeitig ein Differential- und Wagegalvanometer ist.

1. Beschreibung des Galvanometers.

Der Apparat ist ein Vertikal-Demonstrations-Galvanometer üblicher Form, dessen Spule mit zwei Wicklungen gleichen Drahtes versehen ist, die mit einander nach dem Differential-Prinzip verbunden werden können. Mit der Magnetnadel ist ferner ein Aluminiumstäbchen verbunden, das mit einer gleichmässigen (willkürlichen) Teilung in horizontaler Lage versehen ist und durch aufgesetzte Reiterchen belastet wird, so dass das Instrument gleichzeitig als Wage-Galvanometer benutzt werden kann. Diese Einrichtung gestattet bekanntlich, die relative Stromstärke nach der Nullmethode zu finden, indem man die drehende Wirkung des Stromes durch die Gegenkraft des Reiterchens aufhebt. Die Ströme sind bei Anwendung

*) *Anm. des Herausgebers.* Wir halten die oben angeführten Gründe nicht für so schwerwiegend, dass dadurch die Vorzüge der Tangentenbussole aufgehoben würden; diese bestehen in der Einfachheit und Übersichtlichkeit der Anordnung (namentlich im Vergleich mit der in Fig. 3 skizzierten Nullmethode) und in der Leichtigkeit der Handhabung bei der Demonstration. Erforderlich ist allerdings die objektive Sichtbarkeit der Ausschläge, für die sowohl bei den früher in dieser Zeitschrift (*III, 103; VI, 31*) veröffentlichten Formen als auch bei dem in diesem Heft beschriebenen Galvanometer von K. Noack Vorkehrung getroffen ist. An höheren Schulen, wo man sich auf einige elementare Kenntnisse aus der Trigonometrie stützen kann, wird die Tangentenbussole auch in Zukunft ihren Platz behaupten, dagegen bietet beim fachtechnischen Unterricht für Praktiker die oben beschriebene Form des Wagegalvanometers gewisse Vorteile. Erinnerung sei bei dieser Gelegenheit auch an das in d. Zeitschr. *I, 182* beschriebene Wagegalvanometer von Fr. C. G. Müller.

desselben Reiterchens proportional der Länge des Hebelarmes, und bei Anwendung derselben Hebelarmlänge proportional den Gewichten des Reiterchens, oder allgemein proportional den Momenten der Reitergewichte in Bezug auf die Drehaxe; dies Messgesetz wird von den Schülern ohne weiteres selbständig gefunden²⁾.

Als eine kleine Neuerung an dem Instrument, die ein präzises Einstellen auf die Nulllage zur Folge hat und die Empfindlichkeit des Instruments steigert, ist die Lagerung des Nadelsystems zu erwähnen.

Die Axe ist, wie aus der Fig. 1 ersichtlich, mit zwei senkrecht gegen die Axenrichtung befestigten (Nähnadel-) Spitzen versehen, mit denen sie auf zwei Achat- oder Glasplatten ruht; von diesen Platten ist die eine zur Sicherung der Nulllage etwas ausgehöhlt, die andere mit einer Längsrinne versehen. Da die Spitzen leicht auswechselbar befestigt sind, so können verdorbene Spitzen durch neue ersetzt werden. Zur Regulierung der Empfindlichkeit (Grösse des Ausschlages) ist an dem Zeiger ein Laufgewichtchen und zur Justierung der Nulllage ein drehbares Fähnchen befestigt. Um das Galvanometer auch bei ganz starken Strömen anwenden zu können,

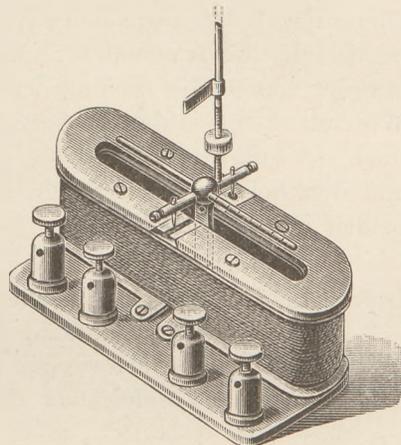


Fig. 1.

ist die Spule aus Metall und bildet für sich ein um die Nadel herumgeführtes Leiterstück, das als Stromleitung benutzt werden kann. Bei Anwendung der Windungen wird die Spule geschlossen, so dass sie als Dämpfer wirkt.

2. Leitungswiderstand.

Um den Begriff des Leitungswiderstandes einzuführen, wird ein Stromkreis aus einem Element, dem Galvanometer, Ausschalter und einem langen Neusilberdraht als Widerstand hergestellt. Am besten eignet sich dazu der Wheatstone'sche Doppelcylinder-Rheostat. In Ermangelung eines solchen kann man sich eine recht einfache Vorrichtung herstellen, die man auch sonst bei vielen galvanischen Versuchen anwenden kann, wo es darauf ankommt, den Widerstand eines Stromkreises kontinuierlich zu ändern. Ein mehrere Meter langer Neusilberdraht, 0,5 mm im Durchmesser, wird zu einer dichten Spirale von ca. 2 cm Durchmesser gewickelt. An das eine Ende desselben lötet man (Fig. 2) einen 3 cm breiten Ring aus Messingrohr vom Durchmesser der Spiralwindung an und versieht ihn zur bequemen Befestigung mit einem senkrecht gegen die Axe der Spirale ange-löteten Stiel von dickem Kupferdraht; an das andere Ende lötet man einen dicken, ca. 5 cm langen Kupferdraht. In den Ring resp. die Spule wird ein ziemlich streng passendes Messingrohr hineingeschoben, das wenigstens so lang gewählt wird, dass die ganze Spirale darauf Platz findet und an dem in die

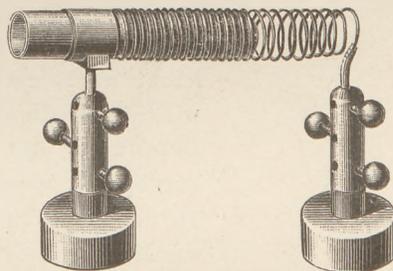


Fig. 2.

²⁾ Die kleinen Abweichungen in Folge der Änderung des Magnetismus der Magnetnadel bei verschiedenen Stromstärken, sind bekanntlich bei gut gehärteten Magnetnadeln, die richtig magnetisiert sind, von so geringem Einfluss, dass die betreffende Correktion ausser Betracht kommt.

Spirale hineinragenden Ende mit einer messingenen Halbkugel versehen ist. Die Vorrichtung wird in zwei HOLTZschen Fuss-Klemmen (*d. Ztschr. II, 55*) wie es die Figur andeutet, befestigt. Durch passende Entfernung der Fussklemmen wird die Spirale etwas gespannt gehalten und durch drehendes Herauschieben des Messingrohrs aus derselben werden immer mehr Windungen freigelegt und dadurch die Leitung kontinuierlich verlängert. Die Verlängerung der Leitung zeigt eine Abnahme, die Verkürzung eine Zunahme des Ausschlages des Galvanometers. Hiermit wird der Begriff des Widerstandes als einer die Bewegung der Elektrizität hemmenden Kraft eingeführt. Nachdem der Schüler die Zunahme des Widerstandes mit der Länge der Leitung eingesehen hat, wird er die Festsetzung, dass der Widerstand der Länge proportional ist, selbstverständlich finden. Man wird noch nach der Substitutionsmethode zwei verschiedene Drähte mit einander vergleichen und dem Schüler klar machen, dass bei gleichen Ausschlägen die Widerstände der beiden Drähte gleich sind.

Um nun die ferneren Gesetze abzuleiten, wird das Galvanometer als Differential-Galvanometer benutzt. Die Stromverzweigung bei diesem Instrumente

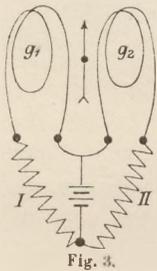


Fig. 3.

ist so einfach, dass sie ohne Bedenken schon an dieser Stelle eingeführt werden kann. Man wird zunächst, um die Methode der Vergleichung der Widerstände mit Hilfe dieses Instrumentes zu erläutern, in die beiden Zweigleitungen I und II (Fig. 3) zwei ganz gleiche, zu Spiralen gewickelte Drähte einschalten und zeigen, dass die Nadel beim Schliessen des Stromes in der Nulllage verbleibt, dass aber bei Verkürzung des einen oder des anderen Zweigdrahtes ein Ausschlag nach der einen oder der anderen Seite auftritt, dessen Richtung man im voraus bestimmen, und aus dessen Richtung man umgekehrt schliessen kann, wo der grössere Widerstand eingeschaltet ist. Alsdann schaltet man in den einen Zweig eine Spirale von dünnem, in den andern eine von dickerem Draht und reguliert die Länge desselben in Gegenwart der Schüler, bis das Galvanometer keinen Ausschlag giebt. Beide Spiralen haben gleichen Widerstand, was man vielleicht auch noch nach der Substitutionsmethode demonstrieren wird. Bei diesen und allen folgenden Versuchen eignen sich zur Befestigung der Widerstände die schon genannten Fussklemmen vorzüglich, wenn man sie mit horizontalen Kupferdrähten versieht, an denen die Spiralen mit Hilfe von Haken oder direkt befestigt werden, wobei ihre Länge durch Verschiebung der Windungen reguliert werden kann. (Fig. 4.)

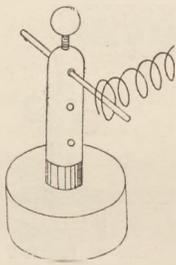


Fig. 4.

Um die Abhängigkeit des Widerstandes vom Querschnitte zu demonstrieren, verfähre ich nach der PFAUNDLERSchen Methode (*Lehrbuch von Müller-Pouillet, 9. Aufl. III, S. 125*). Man stellt sich aus Neusilberdraht von 0,5 mm Durchmesser mehrere gleiche Spiralen (5 Ohm Widerstand) her, und versieht dieselben an den Enden mit Haken aus dickerem Kupferdraht. Bei den Versuchen werden die Spiralen zwischen den Fussklemmen an den horizontalen Drähten angehakt und in den Stromkreis eingeschaltet. Diese Versuchsanordnung ist, meiner Ansicht nach, der Verwendung eines Widerstandsrahmens³⁾ wegen der Einfachheit und grösseren Anschaulichkeit vorzuziehen. In beide Widerstandszweige des Differentialgalvanometers

³⁾ Vgl. B. Fest, *diese Zeitschr. III, 237*.

werden zwei gleiche Spiralen eingeschaltet; die Nullstellung der Nadel nach Einschaltung des Stromes verrät die Gleichheit der Widerstände. Schaltet man nun in den einen Zweig eine zweite Spirale parallel der ersten, so zeigt der Ausschlag am Galvanometer eine Abnahme des Widerstandes der Doppelleitung; wird dann die Zahl der Windungen der Spirale des ersten Zweiges halbiert, so bleibt die Nadel in der Nulllage, d. h. die Doppelleitung hat den halben Widerstand des einfachen Drahtes. Dies kann man auch noch dadurch demonstrieren, dass man in den einen Zweig eine Doppelleitung von doppelter Länge (vier Spiralen, parallel zu zweien geschaltet), und in den anderen Zweig eine einfache Spirale einschaltet. Die Nulllage der Nadel beim Schliessen des Stromes zeigt die Gleichheit der beiderseitigen Zweigwiderstände. Ebenso verfährt man mit der 3fachen, 4fachen Leitung, so dass man zunächst den Satz ableitet: n nebeneinander geschaltete gleiche Drähte haben einen Widerstand, der gleich ist dem n^{ten} Teil des Widerstandes eines einfachen Drahtes. Da nun bei diesen Versuchen sowohl der Querschnitt als auch die Oberfläche durch die Parallelschaltung vervielfacht wird, so muss noch durch einen Versuch entschieden werden, ob die Verminderung des Widerstandes proportional dem Querschnitt oder der Oberfläche ist. Zu dem Ende vergleicht man den Widerstand einer der Spiralen aus dem dünnen Draht mit dem Widerstande einer Spirale von doppelt so dickem Draht. Soll die dicke Spirale den gleichen Widerstand haben wie die dünne, so muss sie die 4fache Länge besitzen. Man stellt sich eine solche Spirale für immer her; von der 4fachen Länge der dickeren Spirale kann man den Schüler durch Wägung beider Spiralen überzeugen (sie muss 16mal so schwer sein, wie die dünnere). Aus diesen Versuchen folgt das Gesetz: Der Widerstand ist umgekehrt proportional dem Querschnitt.

Die Abhängigkeit des Widerstandes von dem Materiale demonstriert man, indem man einen mehrere Meter langen Kupferdraht in den einen Zweig und einen Neusilberdraht von demselben Querschnitt in den anderen Zweig einschaltet und letzteren in Gegenwart der Schüler so lange justiert, bis die Nadel keinen Ausschlag zeigt. Die auffällige Verschiedenheit der Längen der beiden Drähte macht den Versuch recht anschaulich. Selbstredend wird hier der Begriff des spezifischen Leitungswiderstandes eingeführt. Um endlich die Änderung des Widerstandes einer Leitung mit der Temperaturänderung zu zeigen, benutze ich als Zweigwiderstände zwei eng gewickelte Spiralen aus dünnem Eisendraht (Blumendraht), die auf ihren Widerstand bei derselben Temperatur abgeglichen sind. Erwärmt man eine der Spiralen mässig mit einer Flamme, so zeigt der Ausschlag am Galvanometer eine Zunahme des Widerstandes. Es reicht schon aus, wenn man eine der Spiralen mit der Hand erwärmt. Man kann hier das Bolometer erwähnen. — Nachdem der Schüler die Vergleichbarkeit der Widerstände eingesehen, wird man die üblichen Einheiten einführen und die Einrichtung der Widerstandsskalen besprechen. Man kann dies vielleicht schon an einer früheren Stelle thun und den Versuchen eine etwas bequemere Form geben; ich definiere aber die Einheit erst hier, weil doch bei der Definition derselben die Temperatur mit berücksichtigt werden muss; doch muss es bei der Besprechung der Widerstandsskalen dem Schüler bereits bekannt sein, dass dicke Metallstücke einen kleinen Widerstand, also die an dem Widerstandskasten angebrachten Metallverbindungen praktisch einen verschwindenden Widerstand haben.

Zum Nachweis der Gesetze der Widerstände von Flüssigkeiten benutze ich einen parallelepipedischen Glastrog, (20 cm lang, 10 cm hoch, 5 cm breit); in

diesen werden als Elektroden zwei ca. 5 cm breite, 11 cm lange Kupferstreifen eingesetzt, die mit Hilfe von angelöteten Kupferdrähten in den Fussklemmen befestigt werden, so dass sie parallel mit sich selbst verschoben werden können. An dem Trog ist eine weit sichtbare Centimeterteilung in der Länge und in der Höhe angebracht. Die Versuchsanordnung ist nun selbstverständlich. Ich bemerke nur, dass der Widerstand der Flüssigkeit, die in den einen Zweig eingeschaltet wird, nicht etwa durch die früher benutzten Spiralen abgeglichen wird, sondern in dem zweiten Widerstandszweige befindet sich nunmehr der Widerstandskasten. Abgesehen davon, dass dann die Versuche bequemer ausgeführt werden, soll der Widerstandskasten noch dazu dienen, die Widerstände der Flüssigkeiten nebenbei wirklich zu messen, damit neben der Ableitung der Gesetze dem Schüler auch die Grössen der Widerstände der Flüssigkeiten im Vergleich zu denen der Metalle vorgeführt werden. Die Versuche werden am besten mit Kupfersulfatlösung in derselben Reihenfolge wie bei den Drähten ausgeführt.

Die verschiedenen Längen der Flüssigkeitssäulen erhält man durch Verschieben der Platten gegen einander, die verschiedenen Querschnitte durch Nachfüllen. Zur Demonstration der verschiedenen Leitungsfähigkeit benutzt man am besten reines, dann mit einigen Tropfen Schwefelsäure angesäuertes Wasser, Kupfervitriollösung etc. Die Abnahme des Widerstandes mit der Temperaturerhöhung demonstriert man mit kalter und warmer Kupfersulfatlösung. Aus allen diesen Versuchen wird die Formel $w = sl/q$ abgeleitet.

3. Stromstärke (Ohmsches Gesetz).

Die Abhängigkeit der Stromstärke von dem Widerstande und dem elektroskopischen Zustande wird abgeleitet unter der Voraussetzung, dass der Begriff des elektroskopischen Zustandes, und die Messbarkeit der elektromotorischen Kraft eines Elements resp. einer Batterie durch die Differenz der Zustände an den Polen erläutert ist, kurz, dass die Theorie des offenen Elementes resp. der offenen Batterie bereits erledigt ist. Bei den bezüglichen Versuchen wird das Galvanometer als Wage-Galvanometer benutzt. Zunächst wird demonstriert, dass auch in der Flüssigkeit des Elementes ein Strom zirkuliert, dessen Richtung die Fortsetzung der Richtung des Stromes in der äusseren Leitung ist. Zu dem Ende stellt man sich ein röhrenförmiges (am besten Kohle-Zink-Chromsäure) Element her, indem man eine 30 bis 40 cm lange Röhre, deren Durchmesser mehrere Centimeter beträgt, an beiden Enden mit gut passenden Korken verschliesst und durch diese dickere Kupferdrähte hindurchleitet, die eine Zink- und eine Kohlenplatte tragen. Die Löt- resp. Befestigungsstellen des Drahtes und der Platten überzieht man mit Paraffin oder Guttapercha. Die Röhre wird mit Chromsäure-Lösung gefüllt und liefert ein Element, in dem man den Strom in der Flüssigkeit nachweisen kann dadurch, dass man die Röhre über eine Magnetnadel hält und den Strom durch einen Draht, der weit von der Magnetnadel herumgeführt wird, schliesst. Aus der Thatsache nun, dass auch die Flüssigkeiten einen Widerstand zeigen, wird der Schüler schliessen, dass die Stromstärke nicht nur von dem äusseren, sondern auch von dem inneren Widerstande abhängig ist. Dies kann man der Anschaulichkeit halber noch direkt nachweisen, indem man das beschriebene Röhren-Element durch das Galvanometer (und einen Widerstandskasten) schliesst und die Abnahme resp. Zunahme des Ausschlages beim Entfernen oder Nähern der beiden Platten beobachtet. Statt des Röhren-Elementes kann man

auch ein einfaches Zink-Kupfer-Schwefelsäure-Element benutzen, das man sich aus dem früher benutzten Troge herstellt. — Nunmehr bildet man einen Stromkreis aus einem Daniell, dem Ausschalter, Galvanometer und Widerstandskasten. Man setzt auf einen Teilstrich des Hebels in der Nähe der Axe ein passendes Reiterchen und reguliert den Widerstand im Rheostaten, bis die Wirkung des Stromes auf die Galvanometer-Nadel durch die Wirkung des Reiterchens aufgehoben wird, d. h. die Magnetnadel beim Schliessen des Stromes nicht ausschlägt.⁴⁾ Der Gesamtwiderstand des Stromkreises besteht, abgesehen von dem Widerstande der Drähte, den man bei dicken Drähten vernachlässigen kann, aus dem unbekanntem Widerstande des Elementes w , dem bekannten Widerstande des Galvanometers g und des Rheostaten r . Jetzt wird der Gesamtwiderstand des Stromkreises halbiert dadurch, dass man an Stelle des einen Daniell zwei parallel geschaltete Elemente setzt und aus dem Widerstandskasten einen anderen Widerstand r' zieht, so dass $r' + g = \frac{1}{2}(r + g)$ d. h. $r' = \frac{1}{2}(r - g)$. Es ist dann die elektromotorische Kraft in dem Stromkreis dieselbe geblieben, der Gesamtwiderstand dagegen ist $\frac{1}{2}w + r' + g = \frac{1}{2}(w + r + g)$ geworden, also halbiert. Das Reiterchen wird auf den doppelten Abstand von der Drehaxe gebracht, und die Nulllage der Nadel beim Schliessen des Stromes beweist, dass die Stromwirkung die doppelte geworden ist. Weiter wird man 3 Daniell parallel schalten und durch einen Widerstand des Rheostaten r'' den Widerstand der äusseren Leitung auf $\frac{1}{3}$ der ursprünglichen Grösse bringen. Es muss $r'' + g = \frac{1}{3}(r + g)$ d. h. $r'' = \frac{1}{3}(r - 2g)$ sein; der Gesamtwiderstand ist alsdann $\frac{1}{3}w + r'' + g = \frac{1}{3}(w + r + g)$. Das Reiterchen wird nun auf die 3fache Entfernung auf dem Wagebalken verschoben, damit beim Schliessen des Stromes kein Ausschlag erfolgt, d. h. die Stromwirkung ist nun die 3fache. So kann man weiter gehen und leitet den Satz ab, dass bei gleichbleibender elektromotorischer Kraft der Strom umgekehrt proportional ist dem Gesamtwiderstande des Stromkreises.

Zur Ermittlung der Abhängigkeit der Stromstärke von der elektromotorischen Kraft bei gleichbleibendem Gesamtwiderstande schaltet man wieder ein Element, das Galvanometer und einen solchen Widerstand r ein, dass die Wirkung des Stromes durch das Reiterchen auf dem ursprünglichen Hebelarm aufgehoben wird. Alsdann schaltet man 4 Daniell zu einer Batterie von 2 Doppelementen. Dadurch wird die elektromotorische Kraft ohne Änderung des Gesamtwiderstandes verdoppelt. Das Reiterchen hält der Wirkung des Stromes das Gleichgewicht, wenn es auf die doppelte Entfernung gebracht wird. Ebenso verfährt man weiter, indem man 9 Elemente zu einer Batterie von drei 3fachen Elementen schaltet u. s. f. Daraus wird der Satz abgeleitet: Bei gleichbleibendem Gesamtwiderstande ändert sich der Strom proportional der elektromotorischen Kraft. Man wird vielleicht dieselben Versuche noch mit Reiterchen von grösserem oder kleinerem Gewichte und auch bei anderen Widerständen wiederholen. Nunmehr wird die Strom-einheit (Ampère) definiert, als derjenige Strom, der in einem Stromkreise vom Widerstande 1 Ohm durch die elektromotorische Kraft 1 Volt erzeugt wird, und die Formel $I = E/W$ aufgestellt. Zur Vervollständigung der Versuche kann man nun noch Stromstärken bei passend gewählten elektromotorischen Kräften und Widerständen, z. B. bei zwei hintereinander geschalteten Elementen und doppeltem äusseren Widerstande nach der Formel berechnen und durch Versuche demonstrieren.

⁴⁾ Für diese Versuche ist es wünschenswert, an dem Galvanometer eine Arretier-vorrichtung zu besitzen, durch welche die Magnetnadel in ihrer Nulllage gehalten wird. Auch bei den vorigen Versuchen erleichtert die Arretierung das Experimentieren.

4. Zustandsgesetz längs eines Stromkreises.

(Erweitertes Ohmsches, Uebergang zum Kirchhoffschen Gesetz.)

Um die Giltigkeit des Ohmschen Gesetzes auch für einzelne Teile der Leitung, wo dann an Stelle der elektromotorischen Kraft (der Differenz der Zustände der Pole der offenen Batterie) die Differenz der Zustände an den Enden des betrachteten Leiterstücks, und an Stelle des Gesamtwiderstandes der Widerstand des letzteren tritt, nachzuweisen und daraus nach der bekannten Methode das Kirchhoffsche Verzweigungsgesetz abzuleiten, wird man die Demonstration der Verteilung des elektroskopischen Zustandes längs der durchströmten Leitung vorausschieken. Als Einleitung hierfür eignet sich die Vorführung der Strömungen in Halbleitern, die zwei stark elektrische Körper verschiedener Zustände mit einander verbinden. Diese Strömungen sind bei passender Wahl der Halbleiter so langsam, dass man dieselben Schritt für Schritt verfolgen kann. Solche Strömungen kann man erzeugen in trockenen Bindfäden, die zwischen Körpern von verschiedenem Zustande ausgespannt werden; besser eignen sich hierfür nach Prof. KUNDT trockene Holzstäbe. Der betreffende Versuch wurde von Prof. KUNDT im Verein zur Förderung des physikalischen Unterrichts am 23. Juni 1890 vorgeführt. Weil diese Versuche meines Wissens weniger bekannt sind, so wird es wohl angemessen sein, die Anordnung hier zu beschreiben. Mehrere möglichst gleichartige runde Holzstäbe von circa 6—8 mm Durchmesser und 1 m Länge⁵⁾ werden mit Hilfe von kurzen Messingrohrhülsen zu einem einige Meter langen Stabe aneinandergefügt. Derselbe wird an beiden Enden mit Hilfe von eingeschlagenen Drahtstücken horizontal in isolierenden Stativen (Holtzschen Fussklemmen) befestigt und dazwischen mit weiteren isolierenden Trägern gestützt (Fig. 5). In gleichen Entfernungen sind nun auf dem Stabe mehrere (Henleysche) Papier-Elektroskope

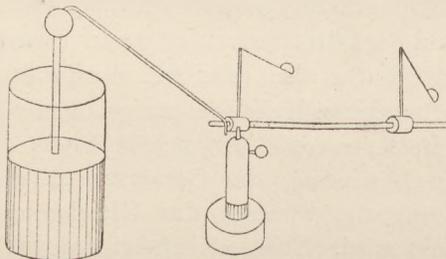


Fig. 5.

befestigt, deren Blättchen circa 10 cm lang und der Sichtbarkeit halber an dem unteren Ende mit halbkreisförmigen Scheibchen versehen sind. Die Befestigung der Elektroskope geschieht am leichtesten mit Korken, die auf die Stäbe an den betreffenden Stellen aufgeschoben sind. Verbindet man das eine Ende des Stabes mit einer starken Elektrizitätsquelle, am besten einer grossen Leydener Flasche, so strömt die Elektrizität im Stabe langsam fort, was man an den allmählich zunehmenden Divergenzen der Elektroskope beobachten kann, und zwar so lange, bis alle Elektroskope (vorausgesetzt, dass sie gleich empfindlich sind) denselben Ausschlag zeigen, also der Stab überall denselben Zustand angenommen hat. Leitet man das andere Ende oder irgend eine Stelle des Stabes nach der Erde ab, so zeigen die Elektroskope verschiedene Divergenz und zwar von der Elektrizitätsquelle nach der Ableitungsstelle hin abnehmend. Das Elektroskop der Ableitungsstelle divergiert nicht. Ladet man zwei Flaschen entgegengesetzt und verbindet die Enden des Stabes mit denselben, so entsteht eine Strömung wie im ersten Falle mit dem Unterschiede, dass die Divergenz der Elektroskope von den Enden nach der Mitte zu abnimmt und die eine Gruppe der Elektroskope positive, die andere negative Ladung verrät.

⁵⁾ Vogelbauer-Stöcke, die man in verschiedenen Stärken und Längen sehr billig bekommt.

Zwischen den beiden Gruppen giebt es eine Scheidegrenze, an welcher das Elektroskop keine Divergenz zeigt. Ersetzt man bei diesen Versuchen einen der Holzstäbe durch eine gleichlange Messingröhre, so divergieren die an den Enden der metallischen Leitung befindlichen Elektroskope gleich stark. Die Versuche kann man auf mannigfaltige Weise variieren und auch in verzweigten Leitern die Strömungen demonstrieren. Durch dieselben wird dem Schüler die Thatsache der Strömung recht anschaulich vorgeführt und die Änderung des elektroskopischen Zustandes demonstriert. — Nunmehr hat man die analogen Versuche für die galvanischen Strömungen in den Drähten durchzunehmen. Mit Hilfe eines Quadranten-Elektrometers lassen sie sich bekanntlich mit Leichtigkeit ausführen, so dass man das Gesetz der geradlinigen Abnahme des Zustandes nachweisen kann. Mit einem Blattelektroskop sind die Versuche schwieriger auszuführen, besonders wenn man die Gleichheit der Differenz der Zustände für gleiche Leiterstücke nachweisen will; man begnügt sich dann gewöhnlich mit der Thatsache der Abnahme des elektroskopischen Zustandes längs der Leitung.

Im Folgenden stelle ich einige Versuche zusammen, wie man mit Hilfe des Demonstrationsgalvanometers das Zustandsgesetz demonstrieren kann. Längs des Experimentiertisches wird zwischen zwei Fussklemmen, die man mit Holzzwingen an den Tisch festklemmt, ein circa 4m langer Neusilberdraht von $\frac{1}{2}$ mm Durchmesser ausgespannt und derselbe in den Stromkreis eines Bunsen-Elementes mit dem Ausschalter eingeschaltet. An denselben werden nun 2 andere Fussklemmen, die mit horizontal befestigten, etwas federnden Drahtstücken versehen sind, so herangestellt, dass die Klemmendrähte den ausgespannten Neusilberdraht an zwei Punkten berühren. Zwischen diesen Fussklemmen wird nun ein Stromkreis, bestehend aus dem Galvanometer und dem Widerstandskasten, hergestellt, wodurch eine Stromabzweigung entsteht. Schliesst man den Hauptstromkreis, so zeigt die Galvanometernadel einen Ausschlag, den man durch den eingeschalteten Widerstandskasten passend regulieren kann.⁶⁾ Durch die früheren Thatsachen geleitet, wird der Schüler sofort begreifen, dass die Strömung durch den Galvanometerdraht eine Folge der Differenz der Zustände an den beiden Punkten des ausgespannten Neusilberdrahtes ist. Bewegt man die Fussklemmen, so dass immer neue Punkte des ausgespannten Drahtes berührt werden, die Distanz der Berührungspunkte aber dieselbe bleibt (was man am leichtesten dadurch erzielt, dass man die beiden Abzweigungsklemmen auf ein Brettchen stellt und das letztere parallel mit dem ausgespannten Draht verschiebt), so ändert sich der Ausschlag nicht. Daraus folgt:

Die Differenzen der elektrischen Zustände an Punkten des Drahtes in gleichen Abständen sind einander gleich, d. h. die Differenz der Zustände wächst proportional mit der Entfernung der betrachteten Punkte.

Diese Zunahme kann man auch demonstrieren, indem man die Fussklemmen weiter auseinander schiebt. Nunmehr wird der ausgespannte Draht durch eine Leitung ersetzt, die aus zwei Neusilberdrähten von 1 mm resp. 0,5 mm Durchmesser gebildet wird, die beide hintereinander in den Hauptstromkreis eingeschaltet sind. Der Versuch wird in ähnlicher Weise ausgeführt, wobei sich herausstellt,

⁶⁾ Ich bemerke, dass bei den folgenden Versuchen der Widerstand des abgezweigten Kreises im Verhältnis zu dem zwischen den Abzweigungspunkten liegenden Widerstande der Hauptleitung gross gewählt werden muss, damit die Änderung des elektroskopischen Zustandes der Hauptleitung, die in Folge der angesetzten Abzweigung auftritt, verschwindend klein wird. Man kann es dem Schüler klar machen, dass man den Zustand untersucht nicht wie er vor, sondern wie er durch Ansetzen der Abzweigung geworden ist.

dass die Ausschläge am Galvanometer verschieden werden, wenn man die Fussklemmen in gleicher Entfernung einmal an den dünnen, das andere Mal an den dicken Draht ansetzt. Der weitere Versuch ergibt, dass die Entfernung der Abzweigungspunkte auf dem dicken Draht viermal so gross sein muss wie auf dem dünnen, wenn der Galvanometerstrom derselbe bleiben soll. Aus diesen Thatsachen leitet man den Satz ab:

Die Differenzen der elektrischen Zustände einer vom Strom durchflossenen Leitung für Punkte, welche von einander um gleiche Widerstandsschritte entfernt sind, sind einander gleich.

Zum Schluss wird man noch den Zustand in einer Flüssigkeit, die in den Stromkreis eingeschaltet ist, durch analoge Versuche demonstrieren, wozu man den oben erwähnten Trog benutzen kann. Auf Grund dieser Versuche wird nun das Diagramm des geschlossenen Elementes resp. der geschlossenen Batterie abgeleitet und die Richtigkeit des Ohmschen Gesetzes für beliebige Stücke der Leitung erschlossen. Wie sich daraus mathematisch elementar das Kirchhoffsche Gesetz ergibt, ist bekannt. Will man dasselbe nicht in seiner Allgemeinheit aufstellen, so wird man doch auf Grund der demonstrierten Thatsachen die häufig vorkommenden Verzweigungen (Wheatstonesche Brücke, Abzweigungsvorrichtungen) mit Leichtigkeit ableiten können.

Ein Drehstrommotor für Vorlesungszwecke.

Von

Professor Dr. F. Braun in Tübingen.

In einem Vortrage „über elektrische Kraftübertragung, insbesondere über Drehstrom“ (in Tübingen bei H. Laupp veröffentlicht) habe ich u. a. eine Reihe von Untersuchungen mit Mehrphasenstrom vorgeführt. Ich entspreche gern dem Wunsche des Herausgebers, die Beschreibung des dort benutzten Drehstrommotors hier wiederzugeben.

Da es mir bei den Vorträgen darauf ankam, die Verhältnisse der Technik möglichst zu reproduzieren, so wurde der Drehstrom selber mittelst einer kleinen Grammeschen Maschine erzeugt. Von vier um 90° gegen einander abstehenden Punkten des Grammeschen Ringes war je ein Draht zu einem auf die Rotationsaxe isoliert aufgesetzten Schleifring geleitet. An die vier Ringe legten sich vier Schleiffedern an. Die Feldmagnete waren durch eine Batterie erregt, der Grammesche Ring wurde durch einen Motor in Rotation gebracht.

Der empfangende Apparat, der Drehstrommotor (Fig. 1), enthielt einen Eisenkern aus aufgerolltem Eisendraht von 1,1 mm Dicke. Er bildete einen Wulst von 28 mm Dicke und 1600 g Gewicht. Er war mit vier Spulen Kupferdraht von 1 mm Dicke bedeckt; jede Spule enthielt drei Lagen. Der Ring mass nach dem Überwickeln innen 14, aussen 22 cm im Durchmesser.

Die vier Spulen lassen sich in verschiedener Weise verbinden; entweder über Kreuz“, d. h. das Ende der ersten (E_1) mit dem Anfang der dritten (A_3) und entsprechend das Ende der zweiten mit dem Anfang der vierten; man leitet dann die Ströme resp. ein und ab durch A_1 und E_3 einerseits, A_2 und E_4 andererseits¹⁾, oder man kann sie verbinden wie die Figur zeigt und die Klemmen in cyklischer Folge an die vier Schleiffedern des Grammeschen Ringes anschliessen.

¹⁾ Dies wäre die Anordnung für Benutzung constanter Ströme und einen Weiler'schen Commutator, man vgl. den folgenden Aufsatz, besonders Fig. 5 und 6.

Erzeugt man nun im Generator Strom und führt ihn der sekundären Maschine zu, so rotieren durch ihren Eisenring zwei Magnetpole. Hält man in das Innere einen kleinen Magnetstab, der sich um eine horizontale Axe drehen kann (Fig. 1), so kommt er in Rotation, bald so rasch, dass man ihn nur noch wie eine gleichmässig helle Scheibe erblickt. Hält man ihn auf und stösst ihn nach der entgegengesetzten Seite an, so erlischt seine Bewegung rasch und geht wieder in die frühere Richtung über; er folgt dem durch den Eisenring rotierenden Magneten. Man stelle eine horizontale Magnetnadel in die Nähe des Kreises, einige Schwankungen, ein leichter Anstoss und auch sie setzt sich in Rotation. Man kann sie fast auf einen halben Meter entfernen und noch immer dreht sie sich weiter.

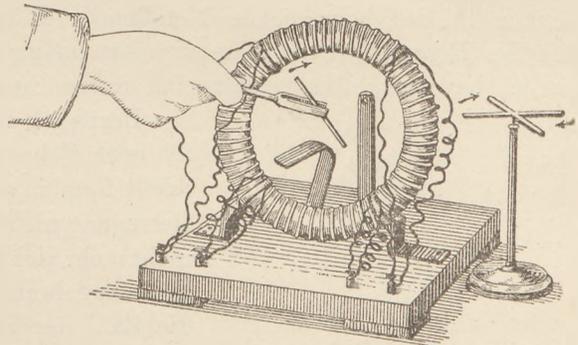


Fig. 1.

Statt der Magnetnadel nehme man ein leichtes Kreuz von weichem Eisenblech (Fig. 1); es wird immer nur magnetisch durch den nächsten Pol, welcher an ihm vorbeipassiert; während dieser Zeit verhält es sich wie eine Magnetnadel und gerät gleichfalls ins Laufen. Auch schwerere Eisenmassen können in Rotation versetzt werden; nur bringt man sie dann im Inneren des Ringes an (Fig. 2), weil dort die Wirkungen stärker sind.

Die rotierenden Pole zeigt deutlich der folgende Versuch. Man bringe das Ende eines gebogenen federnden Streifens aus Eisenblech in die Nähe einer Stelle des Ringes (Fig. 1); um die Wirkung zu verstärken, halte man unter das Ende der Eisenfeder auf den Ring ein Stückchen Eisenblech. Sobald ein Pol die Stelle passiert, macht er das Eisen magnetisch, die Feder wird angezogen; der Pol wandert vorbei, die Feder schlägt zurück, ein anderer Pol kommt, die Feder wird wieder angezogen und man hört den lauten Ton der schwingenden Eisenfeder. — Man werfe ein Stück Eisenblech unter den Ring; es tanzt auf und nieder. — Eisenstäbchen, die man auf ein horizontales Holzbrett legt und in die Nähe des Ringes hält, marschieren in das Magnetfeld hinein. Eisennägel pulsieren hin und her. Alles in und um den Ring ist in fortwährend wechselnder, magnetischer Erregung — es pulsiert im wahrsten Sinne des Wortes überall magnetisches Leben.

Dies und die ganzen magnetischen Vorgänge im Ring zeigt am übersichtlichsten der folgende Versuch. Man lege den Ring horizontal und auf denselben eine grosse Glasplatte, bestreue sie mit feinem Eisenpulver und lasse Drehstrom in den Ring. Sofort hebt sich die Eisenfeile empor wie die Borsten eines Igels. Man sieht über die Eisenfeile fortwährend im Kreise eine Welle laufen; es dreht sich etwas darüber weg wie die Speiche eines Rades. Das ist das äussere Bild des unsichtbaren rotierenden Magneten. Und der Welle entgegen fangen alle Eisenteilchen an zu laufen; sie hüpfen wie Frösche; richtiger gesagt, sie überschlagen sich; oberhalb des Rings in Vertikalebene; mehr nach dem Centrum hin wälzen sie sich in Horizontalebene über die Glasplatte.

Lässt man den Motor langsamer laufen, so beobachtet man an vier Stellen ein Pulsieren der Eisenfeile — wie eine stehende Welle. Diese vier Stellen sind immer da, wo zwei Spulen zusammenstossen. An diesen Punkten wird auch der

federnde Eisenstreifen besonders stark angezogen. Dort befinden sich ruhende Pole, deren Kraft aber periodisch schwankt. Diese magnetischen Pulsationen wirken mit zum Antrieb, wenn der Ring als Motor benutzt werden soll. Sie erzeugen in der beweglichen Metallmasse Induktionsströme; diese in Verbindung mit der Eigenschaft des Eisens, seinen magnetischen Zustand nicht sofort zu verlieren, bewirken, dass selbst eine runde Eisenscheibe in Drehung versetzt wird.

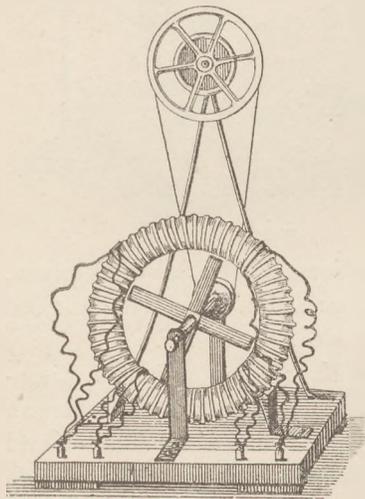


Fig 2.

Bezüglich der Einzelheiten der Versuche bemerke ich noch Folgendes: Das Eisenkreuz von 700 *gr* Gewicht kam in sehr schnelle Rotation; da man seine Bewegung nicht von allen Seiten und bald überhaupt nicht mehr sieht, war die Uebertragung auf die obere Rolle angebracht (Fig. 2). Es läuft aber nur, wenn die Zahl der Polwechsel über eine gewisse Grösse hinausgeht. Ist diese nicht erreicht, so stellt es sich in die Verbindungslinie der Spulenden ein, in welcher Stellung es die grösste Zahl Kraftlinien in sich aufnimmt.

Der Eisenfeilversuch wurde mit feinsten Eisenfeile (*ferrum limatum* oder *alcoholisatum* der Apotheken) angestellt. Die laufende Welle ist offenbar durch die inneren rotierenden Pole bedingt. Für den ersten Augenblick ist es überraschend, dass die Eisenfeile sich gegen die Welle bewegt, statt ihr zu folgen. Es erklärt sich wohl in der folgenden Weise: Die Eisenteilechen werden vom Pole schon vorher erregt und angezogen und wandern ihm daher entgegen; dabei richten sie sich aber mehr und mehr auf, die bewegend Komponente wird kleiner, wenn der Pol näher kommt, der Druck und damit die Reibung grösser; sie folgen dem Pol nicht nach; denn dazu müsste ihre Geschwindigkeit erst in die entgegengesetzte verwandelt sein; und sie laufen daher, unter Beibehaltung ihres früheren Bewegungssinnes dem neu herankommenden Pol weiter entgegen.

Es schliesst sich hieran eine zuerst paradox aussehende Erscheinung an: Senkt man nämlich eine Krystallisierschale, in welcher Eisenpulver liegt, in das Innere des horizontal gelegten Drehstromringes, so dass die Eisenfeile tiefer liegt, als die Mitte des Ringes, so nehmen die Eisenteilechen eine Bewegung an im Sinne des laufenden Poles; jetzt werden sie, wenn der Pol vertikal über ihnen sich befindet, gehoben, von der Unterlage weniger durch Reibung zurückgehalten und folgen ihm daher. Taucht man die Schale mit ihrem Boden nur eben bis zur Mitte des Ringes ein, so hört die Rotationsbewegung der Eisenfeile ganz auf. Geht man mehr in die Höhe, so laufen sie natürlich wieder gegen die Pole.

Wegen weiterer Versuche sowohl als auch wegen der Stromverteilung und des Gesetzes, nach dem die Stärke der Magnetpole wechselt, verweise ich auf die angeführte Schrift²⁾.

²⁾ Ich benutze die Gelegenheit, noch einen Irrtum zu berichtigen. Ich habe in meiner Schrift S. 37 erwähnt, dass es mir nicht gelungen sei, von den Haselwander'schen Arbeiten etwas Näheres zu erfahren. Durch die Liebeshwürdigkeit der Herren Lahmeyer & Co. habe ich davon Kenntnis erhalten, dass Haselwander seine Erfindungen in der Patentschrift D. R. P. No. 55978 vom 30. Juni 1889 beschrieben hat.

Ein Apparat für Wechsel- und Drehströme.

Von

Professor W. Weiler in Esslingen.

Infolge der Kraftübertragung von Lauffen nach Frankfurt mittels Drehströmen ist die allgemeine Aufmerksamkeit auf diese Art Wechselströme gelenkt worden. Da aber die zur Erzeugung derselben nötigen Maschinen nur wenigen zugänglich sind, so hat der Verfasser einen Apparat construiert, der sehr handlich ist, die Prinzipien, auf denen die Drehströme beruhen, wohl zur Darstellung bringt und zu einem Preise herzustellen ist, dass seine Anschaffung insbesondere auch den physikalischen Unterrichtskabinetten möglich wird.

I. Beschreibung des Apparates.

Dieser Apparat besteht aus drei Hauptteilen: zwei galvanischen Elementen, einem Stromwechsler und den gekreuzten Spulen von FERRARIS.

Der Stromwechsler (Fig. 1 u. 2) besteht aus zwei einzelnen Stromwechslern, die auf derselben Axe angebracht, aber von einander isoliert sind. Von den Kupfer-(Messing-)röhren a und a' ist, etwa 2 cm vom linken Rande entfernt, etwas über die Hälfte weggenommen, und in den leer gelassenen Raum sind die von den Röhren stehen gebliebenen Hälften b und b' dagegen geschoben, jedoch so, dass keine Berührung stattfindet; dies ist die Einrichtung des gewöhnlichen Stromwechslers. Eigentümlich an dem abgebildeten ist indess, dass die Schlitze zwischen den Kupferlappen des einen um 90° gegen die des anderen verschoben sind.

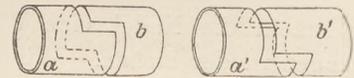


Fig. 1.

Am Rande von a und b schleifen die Stromzuführungsfedern 1 und 2, und durch die Polklemmen der Federn 3 und 4 (4 steht der 3 gegenüber auf der Rückseite) wird der zugeführte Strom abgenommen.

Ganz dieselbe Einrichtung ist für a' und b' eingehalten, d. h. die Polklemmen 5 und 6 leiten den Strom eines zweiten galvanischen Elementes durch ihre Federn beständig auf die Kupferröhren, und durch die Federn der Polklemmen 7 und 8 (8 wieder auf der Rückseite), welche erstere auf den Halbcylindern schleifen, wird der Strom weitergeleitet und zwar in die gekreuzten Rahmen der Figuren 3 und 4.

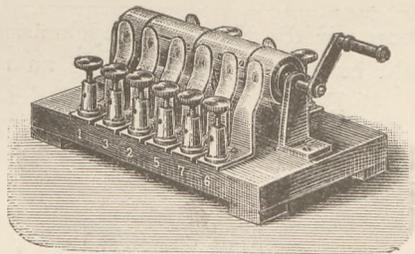


Fig 2, ca. $\frac{1}{5}$ nat. Gr.

Figur 3 zeigt zwei einfache rechtwinklig gebogene Leitungsdrähte, die senkrecht zu einander stehen und in deren Zwischenraum eine Magnetnadel (Fig. 4, rechts) zwischen Spitzen sehr leicht drehbar ist. Figur 4 stellt die nach Figur 3 ausgeführten Kupferrahmen dar; in den Nuten derselben liegt der isolierte Kupferdraht in mehrfachen Windungen; die Drahtenden der einen Spule sind zu den Polklemmen 3 und 4 (rückwärts), die der andern zu 7 und 8 geführt. Innerhalb der inneren Spule ist gleichfalls zwischen Spitzen und Achathütchen ein Cylinder leicht drehbar. Dieser Cylinder ist senkrecht zu seinen Mantellinien mit mehreren Lagen Eisendraht umwickelt und längs der Mantellinien ist seidensponnener Kupferdraht, ähnlich wie bei einem Trommelanker, in zwei gekreuzten Lagen ohne Unterbrechung gezogen, d. h. Anfang und Ende des Drahtes sind verlötet, und das Gewinde ist somit kurzgeschlossen.

Der innere Rahmen ist herausziehbar, so dass man statt der Magnetnadel den eben beschriebenen Cylinder oder Anker einsetzen kann und zwar mittels der unteren Schraube, welche an ihrem randierten Kopfe auf- oder abgedreht wird, so dass Nadel und Anker ohne Spannung, aber auch ohne Schwankungen leicht rotieren.

II. Versuche.

Versuch 1. Man stelle den Doppelrahmen horizontal, den einen Rahmen, etwa den mit den Polklemmen 3 und 4 verbundenen, in die Richtung der eingesetzten Magnetnadel; führe die Leitungsdrähte eines galvanischen Elementes, z. B. eines Braunelementes, zu den Polklemmen 1 und 2 des Stromwechslers und verbinde je 3 und 4 des Stromwechslers und des Rahmens: die Nadel weicht aus ihrer Richtung ab wie bei einem gewöhnlichen Galvanometer und verharret in ihrer neuen Lage, so lange die Walze nicht gedreht wird. „Der mit dem positiven Strom Schwimmende sieht den Nordpol der Nadel links“ (Ampèresche Regel).

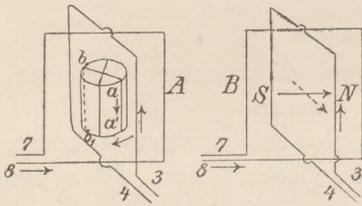


Fig. 3.

Wird nun die Walze so gedreht, dass die Halbcylinder die Federn wechseln, so macht die Nadel eine Wendung von 180° und bleibt nach einigen Schwankungen wieder stehen. Wir haben wieder Gleichstrom, der jedoch in umgekehrter Richtung fließt.

Versuch 2. Die Verbindungen sind dieselben wie in Versuch 1, aber die Walze wird andauernd gedreht. Die Nadel wird nun hin- und herschwanken und zwar erfolgen ihre Zuckungen um so rascher, je schneller die Walze getrieben wird. Die Nadel kann indess auch anfangen zu rotieren, wenn nämlich die Umdrehungen der Walze mit den Ausschlägen der Nadel zusammenfallen, d. h. wenn beide Bewegungen gleichzeitig oder synchron sind. Wir haben somit einen synchronlaufenden Wechselstrommotor — und können auch dessen Mängel bemerken; wenn wir die Kurbel unregelmässig treiben, wird die Nadel bald nach der einen, bald nach der anderen Seite zu rotieren suchen oder selbst stille stehen.

Es ist zu empfehlen, den Halbcylindern des Stromwechslers mit einem Lättchen ganz wenig Öl (Paraffinöl) zu geben, damit die stark andrückenden Federn nicht einreißen.

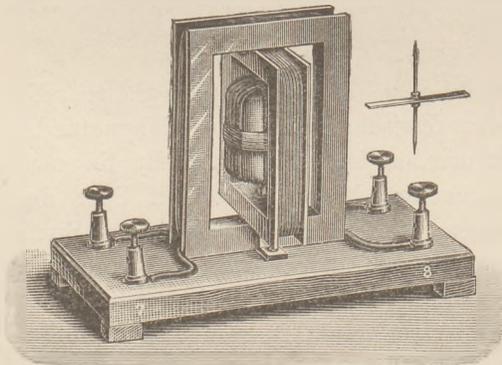


Fig. 4, ca. $\frac{1}{6}$ nat. Gr.

Versuch 3. Wir verbinden noch ein gleiches galvanisches Element mit den Polklemmen 5 und 6 und führen ferner Leitungsdrähte von den Klemmen 7 und 8 zu den gleichnummerierten Polklemmen des Doppelrahmens. Sobald wir die Kurbel drehen, beginnt die Nadel zu rotieren. Die Drehungsrichtung hängt davon ab, wie wir die Elemente einerseits mit 1 und 2 und andererseits mit 5 und 6 verbinden.

Wir schicken bei diesem Versuche durch die Spulen zwei Wechselströme, die um eine Viertelwendung oder um 90° nach einander eintreten, also gegeneinander verschoben sind und Mehrphasenströme oder ihrer Wirkung auf die Nadel (den Anker) wegen auch Drehströme heissen.

Durch 8 werde nach 7 ein Strom geleitet, während 3, 4 stromlos ist; so wird der Nordpol der Magnetnadel nach der Ampèreschen Regel nach links abgelenkt, etwa um 45° ; wird nun, während der Strom in 8, 7 abnimmt, durch 3, 4 ein ebenso starker Strom geschickt, so sucht dieser die Nadel gleichfalls nach links, also noch weiter, abzulenken, so dass die Nadel jetzt senkrecht zur Papierenbene steht, den Nordpol gegen den Beschauer gerichtet. Nun steigt der Strom in 8, 7 wieder an, aber in umgekehrter Richtung, wogegen er aus 3, 4 verschwindet; die Nadel muss sich somit weiter drehen.

Eine andere Ausdrucksweise: Die vom Strome durchflossene Spule 8, 7 ruft ein periodisches magnetisches (galvanisches) Feld hervor, das senkrecht zu seiner Spule steht, also in die Richtung 3, 4 fällt. Die Magnetnadel wird nun durch zwei Kräfte (Felder) beeinflusst: durch das Feld der Spule 8, 7 und durch die Horizontalkomponente des Erdmagnetismus; sie stellt sich daher in die Richtung der Diagonale des Parallelogramms, das aus diesen beiden Kräften gebildet werden kann. Während nun das magnetische Feld von 8, 7 abnimmt, tritt nach einer Viertelwendung der Kurbel der Strom in 3, 4 ein und erzeugt ein gleich starkes Feld in einer Richtung parallel zur Papierenbene und dieses treibt die Nadel in der eingeschlagenen Richtung weiter. Die beiden Spulen erregen somit ein magnetisches Drehfeld, das sich, von oben gesehen, im Sinne der Uhrzeiger bewegt. Ändert man die Richtung eines der beiden Wechselströme, so ändert sich auch die Richtung des Drehfeldes.

Versuch 4. Wir setzen den mit zwei gekreuzten Drahtlagen versehenen Cylinder in den inneren Rahmen ein, verwenden aber zwei stärkere Elemente, Chromsäure- oder Bunsenelemente. Sobald die Kurbel gedreht wird, setzt sich der Cylinder in Umdrehung.

Wir denken uns zur Erklärung dieser Erscheinung das Drehfeld der beiden gekreuzten Rahmen durch einen rotierenden Magneten NS ersetzt und den Pol N , der sich im Sinne der Uhrzeiger bewegt, noch hinter der Papierenbene (Fig. 3, A und B). Nach dem Lenzschen Gesetze muss in der Windung $aa'b'b$ des ruhenden Cylinders ein Induktionsstrom entstehen, der die Annäherung des Poles N hindert, also N abstösst. Der Induktionsstrom hat daher die Richtung $aa'b'b$. Da die Bewegung des Poles N fort dauert, so wird die bewegliche Windung $aa'b'b$ abgestossen und sucht sich in demselben Sinne zu drehen wie der Magnet NS . Hat der Pol N die Ebene von $aa'b'b$ durchschritten und eine Lage vor der Papierenbene eingenommen, so entsteht nach demselben Gesetze ein Induktionsstrom, welcher N anzieht; er hat die frühere Richtung, und die Windung $aa'b'b$ wird durch N mit fortgezogen. Zwar entstehen auch in den anderen Windungen gleichzeitig Induktionsströme, sie sind jedoch schwächer. Die stärkste Induktionswindung wird stets in der Windung erregt, deren Ebene parallel ist zur Richtung des Feldes. Die in Folge der Induktionsströme entstehenden Drehmomente haben alle gleiche Richtung. Da nun der Cylinder mit seiner Wickelung fest verbunden ist, so wird er in demselben Sinne gedreht wie das Feld.

Würde man auf der Walze drei Stromwechsler anbringen, die um 60° verschoben sind und würde man der Fig. 4 drei Spulen geben, welche Winkel von 60° einschliessen, so erhielte man den Dreiphasenstrom.

Versuch 5. Man legt auf die Schraube des inneren Rahmens ein Kartenblatt, das den Rahmen gerade ausfüllt, und streut ziemlich dicht feinste Eisenfeile (*Ferrum limatum* der Apotheken) darauf. Sobald die Kurbel gedreht wird und

starke Wechselströme durch die gekreuzten Spulen kreisen, pulsiert die Eisenfeile und zwar am stärksten an vier Stellen. Diese Pulsationen der Eisenfeile geben ein äusseres Bild der unsichtbar fliessenden Ströme.

Denkt man sich in die beiden Spulen der Fig. 4 einen eisernen Ring parallel zum Grundbrett gelegt, so hat man den Uebergang zu TESLA'S Zweiphasenstrommotor.

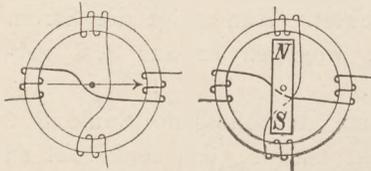


Fig. 5.

Fig. 6.

Die Spulen der Fig. 4 sind in Fig. 5 und 6 verwandelt in die beiden Spulen, die gekreuzt auf einen Eisenring (aus dünnen Drähten) gewunden sind. Fig. 5 zeigt schematisch einen Zweiphasenstrommotor und Fig. 6 einen Zweiphasenstromerzeuger.

Der innerhalb des Ringes um seine Axe drehbare Magnet erregt in dem Eisenring rotierenden Magnetismus und damit verschobene Wechsel- oder Drehströme¹⁾.

Ein brauchbares Modell des Tesla'schen Motors erhält man, wenn man einen weichen Eisenring, am besten aus Schmiedeeisen, von 10 bis 15 cm Durchmesser und etwa 1 cm Dicke nach Fig. 5 und 6 zu je ein Viertel mit 3 bis 4 Lagen isolierten Kupferdrahtes von 0,5 bis 1 mm Dicke dicht umwickelt und je 2 gekreuzte Lagen verbindet, so dass sich 2 geschlossene Spulen auf dem Ringe befinden. Eine auf Spitzen leicht bewegliche Magnetnadel wird nach Fig. 5 in den Mittelpunkt des Ringes gebracht. Die Nadel hat, so lange kein Strom durch eine Spule des Ringes gesendet wird, keine Richtung, weil das Eisen sie vor dem Einfluss des Erdmagnetismus schützt, d. h. dessen Kraftlinien in sich aufnimmt.

Versuch 6. Wir schicken den Strom eines Braunsteinelementes durch eine Spule des Ringes, die Nadel weicht nach dem Ampèreschen Gesetze aus; bei Umkehrung des Stromes macht die Nadel wie in Versuch 1 eine Wendung von 180°.

Versuch 7. Wir verbinden wie vorher, drehen aber die Kurbel andauernd; wie in Versuch 2 zittert die Nadel unter dem Einflusse des Wechselstromes hin und her oder setzt sich in synchrone Rotation.

Versuch 8. Wir verbinden wie in Versuch 3 den Doppelstromwechsler mit der Doppelspule des Ringes und drehen die Walze dauernd; die Nadel rotiert gemäss der Drehungsrichtung der verschobenen Wechselströme.

Versuch 9. Wir verbinden wie vorher, stellen aber die Nadel ausserhalb des Ringes und bemerken an ihr die Wanderung der Pole im Ringe.

Versuch 10. Wir legen den Ring horizontal, wenn er nicht schon seither so verwendet wurde, legen eine Glasplatte darauf und bestreuen diese mit feinsten Eisenfeile wie in Versuch 5. Wir erhalten dann die von Herrn F. BRAUN beschriebene Erscheinung des Fortschreitens und Überschlagens der Eisenteilchen. Halten wir zugleich die Nadel, in diesem Falle eine Inklinationsnadel, deren Axe also horizontal liegt, über die Eisenteile, so bemerken wir noch, dass die Drehrichtung der Eisenteilchen eine der Magnetrotation entgegengesetzte ist. —

Die Ausführung der beschriebenen Apparate hat Herr Präzisionsmechaniker Ferd. Ernecke in Berlin übernommen und liefert den Doppelstromwechsler nebst FERRARIS' Motor für M. 140. Auch ein Unterrichtsmodell des TESLASCHEN Ringes wird von dem Genannten angefertigt.

¹⁾ Weit ere Belehrungen bietet insbesondere die Abhandlung „Theorie des Ferrarischen Drehfeldes“ von Dr. J. SAHULKA in der Elektrotechn. Zeitschr. 1891, S. 537, ferner die bereits in dieser Zeitschr. (Heft 3, S. 158) genannte Schrift von F. BRAUN. Man vergleiche auch die früheren Berichte über Drehstrom in dieser Zeitschr. IV. 316, V. 43, 158.

Ein Schulgalvanometer.

Von

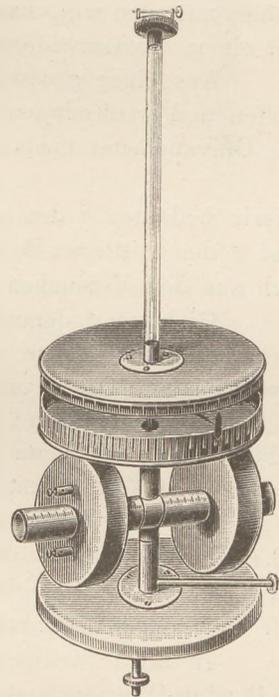
Dr. Karl Noack in Giessen.

Ich habe lange Zeit nach einem für den Unterricht geeigneten Galvanometer gesucht, ohne jedoch von einer der gebräuchlichen Formen völlig befriedigt worden zu sein. Die wohlfeileren Apparate sind nicht hinreichend zuverlässig und von sehr beschränkter Verwendbarkeit, die besseren sind im allgemeinen für Schulen zu teuer und in ihren Angaben nicht für grössere Entfernungen geeignet. Von Instrumenten, die ich zu prüfen Gelegenheit hatte, sind für genannten Zweck am geeignetsten das Federgalvanometer nach Kohlrausch, das astatische Vertikalgalvanometer von Hartmann und Braun, das v. Beetzsche Vorlesungsgalvanometer von Edelman und das Weinhold'sche Demonstrationsgalvanometer. Jedes dieser Instrumente hat gewisse Vorzüge, aber keines vereinigt alle Eigenschaften, die ein Schulgalvanometer haben muss. Diese sind meines Erachtens die folgenden: 1. Vollkommene Uebersichtlichkeit; 2. Weithin sichtbare Ausschläge ohne Spiegel und Projektion; 3. Gute Dämpfung; 4. Wahrung des Tangentengesetzes; 5. Verwendbarkeit für schwache und stärkere Ströme; 6. Niederer Preis bei dauerhafter Konstruktion. Ich habe mir schliesslich einen Apparat anfertigen lassen, der diese Bedingungen mehr oder weniger erfüllt; derselbe entspricht meinen Wünschen so vollkommen, dass ich mir nicht versagen kann, ihn weiteren Kreisen zu empfehlen.

Das Galvanometer, von welchem die nebenstehende Figur eine Darstellung in $\frac{1}{4}$ der natürlichen Grösse giebt, hat im Prinzip die Wiedemannsche Form, während die Ablesung an einer Glastrommel in ähnlicher Weise wie bei der von Herrn POSKE angegebenen Tangentenbussole (*diese Zeitschr. III. S. 103*) geschieht.

Auf einem kreisrunden schweren Brett mit drei Stell-schrauben ist eine senkrechte hohle Messingsäule befestigt, die zur Aufnahme eines Zapfens dient; eine seitliche Druckschraube gestattet den letzteren festzuklemmen. Der Zapfen trägt einen massiven Kupferkörper, an den seitlich zwei wagerechte Messingröhren, die als Träger für die Galvanometerrollen dienen, angeschraubt sind; diese Röhren sind mit Millimeterteilung versehen. Weiterhin ist an den Kupferkörper ein senkrecht Messingrohr angeschraubt, welches den Teller für das Zeigergehäuse trägt. Am Deckel des Zeigergehäuses ist ein Suspensionsrohr mit Torsionskopf befestigt.

Der Magnet ist ein Glockenmagnet, der in einer Bohrung des Kupfercylinders spielt; zwei seitliche, 1 mm weite Durchbohrungen des Kupferdämpfers, die mit Glasplättchen verkittet sind, gestatten beim Durchvisieren durch die Rollenträger eine bequeme Einstellung des Apparates in den magnetischen Meridian. Der Glockenmagnet ist an einen senkrechten Aluminiumdraht angeschraubt, der an den Coconfaden angehängt wird. In der Mitte des Zeigergehäuses ist über diesen Draht ein leichtes Messinghülschen geschoben, in welches seitlich die Arme des Zeigers eingeschraubt sind. Es kann demnach dem Zeiger jede Lage gegen



die magnetische Axe des Glockenmagnetes gegeben werden. Das Zeigergehäuse ist mit zwei Teilkreisen ausgerüstet; die eine Teilung ist um einen concentrisch am Boden des Gehäuses befestigten Blechring gelegt und ist 5 mm von der Innenwand des Glasrings entfernt; in diesem Zwischenraum spielt das breite, untere Zeigerende. Die eine Hälfte des Kreises ist mit einer Gradteilung versehen, die beiderseits von 0° bis 90° um je 5° fortschreitet; die andere Hälfte trägt eine Tangententeilung, ebenfalls nach beiden Seiten, auf welcher $tg\ 45^\circ$ mit 10 bezeichnet ist. Am oberen Rand ist in den Glasmantel eine einfache Kreisteilung in ganzen Graden für genauere Messungen mittelst des nach oben gerichteten Zeigerfortsatzes eingelegt. Beide Teilungen können ohne grosse Schwierigkeit seitlich verschoben werden. Hierdurch in Verbindung mit der Drehbarkeit des Zeigers um die senkrechte Axe ist die Verwendung des Instrumentes in jeder Lage zum magnetischen Meridian ermöglicht.

Die Galvanometerrollen haben einen Durchmesser von 12 cm und einen Holzkern von 8 cm, sodass der mittlere Durchmesser der Drahtwindungen 10 cm beträgt; ihre Breite ist 3 cm. Ein solches Rollenpaar, über welches ich einige Zahlen mitteilen will, hatte auf jeder Rolle 3200 Windungen dünnen Kupferdrahtes mit einem Gesamtwiderstand von 345 Ohm.

Aus einer grossen Zahl von Messungen bei verschiedenen Abständen der Rollen und wechselnden Stromstärken ergab sich mit guter Übereinstimmung für die Galvanometerconstante der Wert (in Ampère)

$$C = 0,000\ 000\ 2333 (d^2 + a^2)^{1/2}.$$

Hierin bedeuten d den gegenseitigen Rollenabstand (von Mitte zu Mitte gemessen) und a den mittleren Rollendurchmesser, beide in Centimetern; für letzteren ergab sich aus den Versuchen der Wert $a = 10,16$ cm.

Giebt man demnach den Rollen einen gegenseitigen Abstand von 12,67 cm, d. h. jede um 6,33 cm von der Axe des Apparates entfernt, so ist die Galvanometerconstante 0,001, und die Tangententeilung giebt ohne weiteres die Stromstärke in Zehntel Milliampère; legt man aber beispielsweise das Galvanometer in Nebenschluss zu 0,3453 Ohm, so giebt die Teilung Zehntel Ampère bei einem Widerstand von 0,3449 Ohm.

Um das Instrument als Voltmeter zu verwenden, giebt man den Rollen 10,40 cm Abstand von der Axe; dann ist die Galvanometerconstante 0,002899, und die Tangententeilung giebt unmittelbar die elektromotorische Kraft in Zehntel Volt, wie sich aus dem Galvanometerwiderstand von 345 Ohm leicht ergibt.

In allen Stellungen kann man das Tangentengesetz wegen des grossen Rollendurchmessers nahezu als gewahrt ansehen; will man aber die Annäherung sehr weit treiben, so ist es nur erforderlich, den Rollen einen gegenseitigen Abstand von $a/2 = 5,08$ cm zu geben.

Die hier angegebenen Zahlen zeigen, dass das Instrument neben vielseitiger Verwendbarkeit zu reinen Demonstrationszwecken auch weitergehenden Anforderungen zu entsprechen vermag.

Das Instrument ist in einfacher aber sauberer und zuverlässiger Ausführung von Liebrich's Nachfolger in Giessen bereits in mehreren Exemplaren ausgeführt worden; der Preis stellt sich je nach der gewünschten Drahtsorte auf 90 bis 100 Mark.

Apparat für die Einführung in die Lehre vom Trägheitsmoment.

Von

Dr. Karl Noack in Giessen.

In den letzten Heften dieser Zeitschrift ist die Behandlung des Trägheitsmomentes im Unterricht mehrfach Gegenstand der Besprechung gewesen. Die von Herrn HARTL angegebene Vorrichtung (*diese Zeitschr.* V. S. 76) ist ein sehr elegantes Lehrmittel, welches sich jedenfalls als brauchbar und nützlich erweisen wird, sobald die zuvor mathematisch behandelte Lehre der Trägheitsmomente durch den Versuch erläutert und bestätigt werden soll. Dagegen stellt sich Herr KOPPE (*diese Zeitschr.* V. S. 8) die Aufgabe, den Begriff „Trägheitsmoment“ experimentell zu entwickeln und so eine klare physikalische Grundlage für die theoretische Behandlung zu schaffen. Für die Schule ist diese Aufgabe die wichtigere.

Die von Herrn KOPPE zu diesem Zweck herangezogene gleichförmig beschleunigte Drehbewegung ist vom didaktischen Standpunkt zweifellos die geeignetste, führt aber in der Ausführung auf gewisse Schwierigkeiten, die sich nicht beseitigen lassen. Einmal giebt der dort empfohlene Apparat nur bei tadelloser technischer Ausführung brauchbare Resultate und wird dann ziemlich teuer; dann aber erfordert die Ausführung der Versuche grosse Sorgfalt und einen nicht unbeträchtlichen Zeitaufwand. Ich habe mir im vorigen Sommer einen dem MÜLLER'schen (vergl. *diese Zeitschr.* I. S. 205) nachgebildeten Apparat anfertigen lassen, der sehr sorgfältig gearbeitet ist, aber die Erfahrungen, die ich damit machte, haben mich bestimmt, zu den Torsionsschwingungen zurückzukehren. Die Einfachheit der Vorrichtung, die ich dabei verwende und die Übersichtlichkeit der Versuche bestimmen mich, den Apparat neben jenen vollkommeneren zu beschreiben.



Fig. 1 ($\frac{1}{6}$ nat. Gr.).

Der dabei einzuschlagende Lehrgang ist etwa der folgende: Nachdem die Formel $t = \pi \sqrt{m:k}$ an den Schwingungen einer belasteten Spiralfeder und einer Wassersäule in U förmiger Glasröhre (vergl. F. C. G. MÜLLER, Vibrationsbewegung, *diese Zeitschr.* II. S. 115) als richtig erwiesen ist, bestimmt man das Moment der Torsionskraft eines Messingdrahtes etwa in der Weise, wie dies im dritten Band dieser Zeitschrift, S. 63, angedeutet wurde. Bei einem solchen Draht von 0,80 mm Durchmesser und 49 cm Länge ergab sich dabei für das Drehungsmoment der Wert 38900 (gr. cm². sec²). Dann verfährt man in folgender Weise:

Das obere Ende des Drahtes wird an dem wagerechten Arm eines schweren Statives festgeklemmt; das untere Ende ist in eine kleine Schraubenmutter von Messing eingelötet, die zur Befestigung der zu benutzenden Massen dient (Fig. 2). Als solche wird ein 1000 g schwerer Bleicylinder von 2,8 cm Durchmesser (Masse gleich Trägheitsmoment) gewählt, der in halber Länge durchschnitten und mittelst eines Messingzapfens zusammengeschaubt ist (Fig. 1). An der oberen und unteren Grundfläche ist je eine kurze, leichte Messinghülse senkrecht zur Cylinderachse befestigt. Das Trägheitsmoment des Körpers bezogen auf die Cylinderachse ist 1000 (gr. cm²).

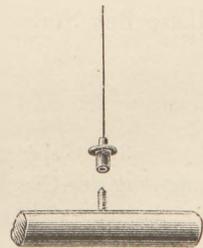


Fig. 2 ($\frac{1}{2}$ nat. Gr.).

Der Bleikörper wird an den Draht conaxial angeschraubt und dann mit Hilfe eines Korkstückchens ein Strohalm von etwa 10 cm Länge in einer der Hülsen als Zeiger befestigt. Versetzt man die Vorrichtung in Torsionsschwingungen, so beobachtet man 200 Durchgänge durch die Gleichgewichtslage in

101,0 Sekunden; die Schwingungsdauer ist demnach 0,505'', während die Rechnung 0,504'' ergibt.

Um den Einfluss der Verteilung der Massen nachzuweisen, wird der Bleikörper entfernt und statt seiner ein 19,73 g schweres Aluminiumrohr von 45,02 cm Länge und 0,817 cm Durchmesser mit einem in seiner Mitte senkrecht zur Achse eingelöteten Messingzapfen an das untere Ende des Drahtes angeschraubt (Fig. 2). Dann wird der Bleikörper geteilt und je eine Hälfte mittelst der daran befestigten Hülse, die mit leichter Reibung über das Rohr gleitet, an diesem angehängt. Eine Centimeterteilung auf der oberen Seite des Rohres ermöglicht die Messung der Abstände.

Bei einem solchen Versuche waren die Massen um je 20 cm von der Achse entfernt; zwischen 21 Durchgängen durch die Gleichgewichtslage verstrichen 201,2 Sekunden. Die Schwingungsdauer ist demnach durch die neue Verteilung der Massen auf 10,06'' gestiegen. Hieraus berechnet sich $M^1 = 399,7 M$ oder gleich $20^2 \cdot M$; ähnliche Resultate ergeben sich bei anderen Abständen.

Demnach wird der Trägheitswiderstand gefunden, indem man die Masse mit dem Quadrat ihrer Entfernung von der Achse multipliziert.

An diese Versuche schliesst sich naturgemäss die experimentelle Bestimmung eines Trägheitsmomentes ohne Kenntnis des Torsionsmomentes. Zu diesem Zweck wird das Aluminiumrohr entfernt und durch einen 200,81 g schweren Messingstab von 45,05 cm Länge und 0,815 cm Durchmesser ersetzt. Der unbelastete Stab macht 100 Schwingungen in 293,5'', hat demnach eine Schwingungsdauer von 2,935''; hängt man an den Stab die beiden Massen von je 500 g im Abstand 20 cm von der Achse, so vollziehen sich 20 Schwingungen in 210,0''; daraus ergibt sich die neue Schwingungsdauer gleich 10,50''. Nun hat man für die beiden Unbekannten k und m^1 die Gleichungen

$$2,935 = \pi \sqrt{\frac{m^1}{k}} \quad \text{und} \quad 10,50 = \pi \sqrt{\frac{m^1 + 400 \cdot 1000}{k}},$$

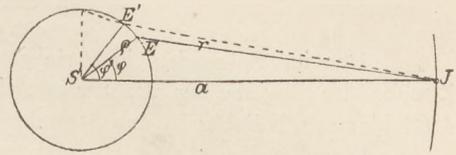
aus welchen sich für das Trägheitsmoment des Stabes der Wert 33910 ergibt.

Dieses Resultat kann in zweierlei Weise gedeutet werden; entweder man fasst 33910 als diejenige Masse auf, die im Abstand von 1 cm von der Achse angebracht durch die Torsionskraft des Drahtes die nämliche Beschleunigung erhalten würde, wie der Stab, oder man dividiert 33910 durch 200,81, d. h. durch die Masse des Stabes; der Quotient 168,9 kann dann als das Quadrat eines Abstandes aufgefasst werden und man kommt zu dem Ergebnis, dass das Trägheitsmoment des Stabes gleich $m \cdot 13^2$ ist, d. h. ebensogross, als wenn die ganze Masse des Stabes im Abstand 13 cm von der Achse vereinigt wäre.

Physikalische Aufgaben.

36. Gelegentlich der bekannten Darstellung von Olaf Römers Methode zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Lichtes wird darauf hingewiesen, dass Erde und Jupiter nur langsam sich von einander entfernen bzw. sich nähern, wenn (in Bezug auf die Erde) Sonne und Jupiter nahe der Opposition oder Conjunction sind, so dass man um (— und direkt nur um) diese Zeiten die wahre Dauer von einer Verfinsterung der Jupiter-Trabanten bis zur nächsten ermitteln kann. Dagegen ist die relative Bewegung zwischen Erde und Jupiter die stärkste in den Quadraturen. — Dies lässt schon in allgemeinen Zügen vermuten, dass jene relative Geschwindigkeit nach dem Gesetze des Sinus sich ändere (— als Funktion von — —?). Diese Vermutung ist durch genauere Rechnung zu prüfen.

Ausführung: Nehmen wir zunächst an, Jupiter stehe unbewegt in J (Figur), die Sonne in S , die Erde bewege sich gleichförmig in einem Kreise mit dem Mittelpunkt S . — Aus $r^2 = a^2 + \rho^2 - 2a\rho \cos \varphi$ und $r'^2 = a^2 + \rho^2 - 2a\rho \cos \varphi'$ folgt



$$r'^2 - r^2 = -2a\rho (\cos \varphi' - \cos \varphi) \text{ oder}$$

$$(r' + r) \delta = 4a\rho \sin \frac{\varphi' + \varphi}{2} \cdot \sin \frac{\varphi' - \varphi}{2}.$$

Für sehr kleine Winkel $\varphi' - \varphi$ wird $\sin \frac{\varphi' - \varphi}{2} \approx \frac{\varphi' - \varphi}{2}$. Da überdies $(\varphi' - \varphi) : 2\pi = \tau : T$, so wird beim Grenzübergang

$$2r\delta = \frac{\pi\tau}{T} \cdot 4a\rho \cdot \sin \varphi.$$

Nennen wir die Geschwindigkeit der relativen Bewegung zwischen Erde und Jupiter $v = \delta/\tau$, die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn um die Sonne $V = 2\rho\pi/T$, so ist

$$v = \frac{\delta}{\tau} = \frac{2\rho\pi}{T} \cdot \frac{a}{r} \sin \varphi = V \cdot \frac{a}{r} \sin \varphi.$$

Zusätze: Versinnlichung der Bewegung der Erde in Bezug auf Jupiter durch eine um den Punkt J drehbaren Stab (Lineal), längs dessen sich ein Körper (Schreibstift) so verschiebt, dass er dem Kreise folgt. Kurbelbewegung. — Der Stab EJ sei um E drehbar und schleife in einer Hülse bei J : dies versinnlicht, wie sich Jupiter in Bezug auf die Erde bewegt (entsprechend dem Anblick von der Erde aus). — Numerische Werte für $\varphi = 0, \pi/2, \pi, 3\pi/2, 2\pi \dots$. Welche Grösse (goniometrische Funktion) stellt den Faktor a/r speziell für die Quadratur dar? Phronomische Bedeutung?

Nehmen wir auf die Bewegung des Jupiter in Bezug auf die Sonne Rücksicht, so tritt an die Stelle von $T = T_c = 1$ Jahr nur $T_{i,i}$ (Bedeutung? — numerischer Wert für $T_i = 11$ Jahre? Die letzte Opposition war 5. September 1891 — daher Jupiter die Abende des vergangenen Herbstes verschönert hat —; wann wird die nächste sein?).

Analoge Aufgaben für innere Planeten?

37. a) In eine Seifenblase werden in je 1 Sek. $\kappa \text{ cm}^3$ Luft eingeblasen. Mit welcher Geschwindigkeit vergrößert sich der Radius der Blase?

Auflösung: Diese „Geschwindigkeit“ ist definiert durch δ/τ , wo τ eine verschwindend kleine Zeitstrecke, δ die Verlängerung des Radius während dieser Zeit darstellt. Das Volumen nimmt während dieser Zeit zu um

$$\kappa\tau = \frac{4}{3}\pi [(r + \delta)^3 - r^3] \approx 4\pi r^2 \cdot \delta = O \cdot \delta, \text{ wo } O \text{ die Oberfläche der Blase ist, woraus}$$

$$\delta/\tau = \kappa/O \dots \dots \dots \text{(I)}$$

Zusatz: Welche Dimension und welche physikalische Bedeutung hat die Grösse κ ? — Antw.: Dim. $\kappa = L^3 \cdot T^{-1}$ (bezw. $\text{cm}^3 \text{ sec.}^{-1}$). Sie ist, analog der „Geschwindigkeit im engeren Sinne“ („Liniengeschwindigkeit“) und der „Flächengeschwindigkeit“ eine „Volumengeschwindigkeit“. — Zu zeigen, dass Dim. $\delta/\tau = \text{Dim. } \kappa/O$.

b) Durch ein Doppelröhrchen, dessen Mündungen um $2a$ abstehen, und durch welche zusammen in je 1 Sek. wieder $\kappa \text{ cm}^3$ Luft austreten, werden zwei in gleichem Maasse wachsende Seifenblasen erzeugt. Von dem Zeitpunkt, in welchem sie den Radius a erreicht haben, bildet sich zwischen ihnen eine ebene Scheidewand, während übrigens die Kugelkrümmung bleibt. Mit welcher Geschwindigkeit vergrößern sich jetzt die Radien R ?

Auflösung: Das Volumen je einer Blase ist

$$\kappa\tau = 2 \cdot \frac{\pi}{3} [2(R + \delta)^3 + 3(R + \delta)^2 a - a^3] - 2 \cdot \frac{\pi}{3} [2R^3 + 3R^2 a - a^3] \approx 4\pi R(R + a) \delta,$$

worin $4\pi R(R + a) = 2 \cdot 2R\pi \cdot (R + a) = O$ die gekrümmte Oberfläche der Doppelblase giebt; so dass in diesem Sinne von O wieder die obige Gleichung I gilt.

Zusätze: Wie lässt sich ohne Rechnung einsehen, dass diese Gleichung I auch noch für beliebig viele (traubenförmig) aneinanderliegende Blasen gilt? — Warum bilden sich ebene Trennungshäutchen, und warum suchen die Blasen sich durch Zerreißen derselben zu einer kleineren Anzahl zu vereinigen? (Anl.: Kleinere Oberflächen bei gleichem Volumen.)

A. Höfler, Wien.

Kleine Mitteilungen.

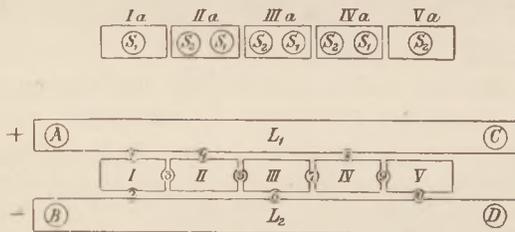
Ein Universal-Umschalter.

Von E. Grimschl, Hamburg.

Der im Folgenden beschriebene Umschalter dient seit einiger Zeit dazu, zum Zwecke der Regulierung der Stromstärke einer Akkumulatoren-Batterie, eine Reihe von 4 Glühlampen beliebig in den Stromkreis parallel oder hintereinander schalten zu können.

Derselbe Umschalter ist auch anwendbar, um eine Reihe von Apparaten beliebig in den Stromkreis ein- oder auszuschalten, auch ist derselbe nicht auf die Zahl „4“ beschränkt, sondern lässt sich für beliebig viele Lampen oder Apparate verwenden, da eine Wiederholung der Konstruktion beliebig oft ausgeführt werden kann.

Der Umschalter besteht aus zwei starken Messingleisten L_1 und L_2 , welche auf einem isolierenden Brett in paralleler Lage zu einander festgeschraubt sind und an den



Enden mit den Schraubklemmen A, B, C, D versehen sind. Zwischen diesen Leisten sind eine Reihe (in untenstehender Ausführung fünf) Messingklötze I, II, III, IV, V befestigt, die je durch einen starken Kupferdraht unterhalb des Brettes mit einer Reihe ausserhalb der Leisten L_1 und L_2 liegenden Messingklötzen $Ia, IIa, IIIa, IVa, Va$ leitend verbunden sind und zwar so, dass I mit Ia , II mit IIa u. s. f. verbunden ist. Zwischen den Leisten und

den Messingklötzen I, II u. s. w. sind Löcher $1, 2, 3 \dots 10$ in der in der Figur angegebenen Weise ausgeführt, welche zur Aufnahme von in dieselben eingeschlifenen Messingstößeln dienen. Die Klötze Ia, IIa u. ff. sind mit Schraubklemmen S_1, S_2 versehen. Zwischen diesen Klemmen werden die einzuschaltenden Apparate verbunden, so dass also bei der angegebenen Lampenbatterie die Pole der ersten Lampe an $Ia S_1$ und $IIa S_2$ liegen, die der zweiten an $IIa S_1$ und $IIIa S_2$ u. s. f. Die Klemmen A und B der Leisten L_1 und L_2 dienen zur Aufnahme der Leitungsdrähte der Batterie, die Klemmen C und D zur Aufnahme der Leitungen anderer eventuell einzuschaltenden Apparate, wie z. B. Ampèremeter, Voltmeter oder dergl.

Um die 4 Glühlampen oder Apparate, welche zwischen den Klötzen Ia, IIa u. s. w. eingeschaltet sind, in den Stromkreis einzuschalten, sind 5 Stößel erforderlich, die im Nichtgebrauchsfalle in den Löchern des Brettes, welche sich unterhalb der Leiste L_2 befinden, gesteckt werden.

Folgende Tabelle giebt die Schaltung für die möglichen speziellen Fälle an.

Es sollen eingeschaltet werden:	Es müssen Stößel gesteckt werden in:
4 Lampen parallel	2, 4, 6, 8, 10.
3 Lampen parallel	2, 4, 6, 8 oder 4, 6, 8, 10.
2 Lampen parallel	2, 4, 6 oder 4, 6, 8 oder 6, 8, 10 oder 2, 4, 8, 10.
1 Lampe	2, 4 oder 4, 6 oder 6, 8 oder 8, 10.
2 Lampen hintereinander	1, 6 oder 4, 5, 10 oder 4, 7, 10 oder 4, 9, 10 oder 1, 3, 5, 10 oder 1, 3, 7, 10 oder 1, 3, 9, 10 oder 1, 5, 7, 10 oder 1, 5, 9, 10 oder 1, 7, 9, 10.
3 Lampen hintereinander	4, 10 oder 1, 3, 10 oder 1, 5, 10 oder 1, 7, 10 oder 1, 9, 10.
4 Lampen hintereinander	1, 10.
0	1, 2.

Handelt es sich darum, auch einen Stromwechsel in einzelnen Apparaten herbeizuführen, so müssen noch an den Stellen, welche den Löchern 4, 6, 8, 10 gegenüberliegen, Löcher (4a, 6a, 8a, 10a) gebohrt werden. Soll dann z. B. der positive Strom durch den Apparat, welcher zwischen II und III eingeschaltet ist, in der Richtung II III hindurchgehen, so stößelt man 4, 6; soll der Strom durch denselben Apparat in entgegengesetzter Richtung fließen, so stößelt man 4a, 6a.

Für den für unsere Sammlung vorliegenden Zweck war eine solche Umschaltung der Richtung unnötig und es blieb daher die Bohrung der letztgenannten Löcher fort, um keine Verwirrung herbeizuführen.

Über Schaltung von Elementen.

Von E. Grimschl in Hamburg.

Bei dem Versuche, eine der physikalischen Sammlung des Realgymnasiums in Hamburg gehörige Akkumulatorenbatterie von 36 Tudor-Akkumulatoren für möglichst alle Apparate dieser Sammlung benutzbar zu machen, ohne eine Umschaltung an den Elementen vornehmen zu müssen, damit die Elemente immer gleichmässig entladen würden, gelang es mir, durch Vorschalten entsprechender Widerstände, den Strom so herunter zu regulieren, dass auch die Apparate, die schon mittelst einfachen Flaschenelementes gut funktionierten, unter Anwendung der ganzen Batterie recht gut wirkten. Ich benutzte, wenn eine Stromstärke bis 25 Ampère gebraucht wurde, für geringe Widerstände teilweise einen Rheostaten aus starken Eisendrahtspiralen, die an der einen Wand des Sammlungs-zimmers untergebracht waren. Bei geringeren Strömen schaltete ich Widerstände von Nickelindraht ein und für geringste Ströme von $\frac{1}{10}$ bis 2 Ampère, bei denen also grosse Widerstände erforderlich waren, benutzte ich eine Lampenbatterie von 4 Glühlampen, von denen jede 100 bis 125 Ohm Widerstand hatte, die durch passende Umschalter parallel oder hintereinander geschaltet werden können. Der Eisendrahrheostat hat Widerstände von $\frac{1}{2}$, 1, 2, 3, 5, 10 Ohm, der Nickelindrahtwiderstand solche von 2 bis 55 Ohm und derjenige der Lampenbatterie von 25 Ohm, wenn alle vier Lampen parallel und von 400 bis 500 Ohm, wenn sie alle vier hintereinander geschaltet werden. Auf diese Weise war es möglich, mit Stromstärken innerhalb der Grenzen 25 Ampère bis ca. $\frac{1}{10}$ Ampère zu arbeiten, da die Potentialdifferenz an den Klemmen der Batterie $65\frac{1}{2}$ Volt beträgt. Eine Erhöhung der Stromstärke auf mehr als 25 Ampère ist bei unserer Anlage unthunlich, da die Leitungsdrähte vom Akkumulatorenraum bis zum physikalischen Sammlungs-zimmer sonst zu warm werden.

Wenn nun fast alle Apparate sich der von mir getroffenen Anordnungen willig fügten, so schienen doch einige Apparate meinen Bemühungen den stärksten Widerstand entgegenzusetzen. Diese Apparate waren 1. der Funkeninduktor, 2. das Ampèresche Gestell, 3. der Apparat zur Demonstration der Rotation von Stromleitern um Magnete und umgekehrt, 4. Roget's Spirale; alles Apparate, bei denen entweder Unterbrechung des Stromes notwendig stattfindet, oder doch sehr leicht zu Stande kommt.

Der Übelstand war der, dass entweder der Strom so abgeschwächt wurde, dass überhaupt keine Wirkung eintrat, oder dass bei der Unterbrechung des Stromes sich ein starker Lichtbogen bildete, der die Unterbrechung verlangsamte und der gleichzeitig bewirkte, dass die Stellen, an welchen die Unterbrechung stattfand, zum Schmelzen kamen. Bei näherer Untersuchung stellte es sich heraus, dass die Ursache des Misslingens der Versuche in dem hohen Potential der Akkumulatorenbatterie zu suchen war. Eine



kleine Rechnung zeigt deutlich, dass eine Abschwächung eines hochgespannten Stromes durch vorgeschalteten Widerstand bei Apparaten, bei denen eine Unterbrechung stattfindet, unthunlich ist. Es sei ABC ein Stromleiter, an dessen Enden die Potentiale O und e herrschen. Derselbe besteht aus den beiden Teilen AB mit dem Widerstände w_1

und BC mit dem Widerstande w_2 . An dem gemeinsamen Punkte B herrscht das Potential x . Es ist innerhalb des ganzen Stromleiters, wenn von dem Widerstande in der Batterie Abstand genommen wird, die Stromstärke $i = e/(w_1 + w_2)$, innerhalb der Strecke AB $i = x/w_1$, innerhalb der Strecke BC $i = (e - x)/w_2$. Da die Stromstärke innerhalb jedes Teiles des Stromleiters dieselbe ist, so muss auch $x/w_1 = e/(w_1 + w_2)$ sein, also ist $x = ew_1/(w_1 + w_2)$.

Es sei nun AB derjenige Teil des Stromleiters, bei welchem eine Unterbrechung des Stromleiters stattfindet, also beim Platinunterbrecher der Teil zwischen den beiden Kontakten, beim Ampèreschen Gestell und bei den beiden anderen genannten Apparaten der Teil zwischen Quecksilber und eintauchendem Draht. Sind die Kontakte vollständig geschlossen, so ist $w_1 = 0$, beim Öffnen dagegen ist $w_1 = \infty$. In dem ersten Grenzfall ist $x = \left(\frac{ew_1}{w_1 + w_2}\right)_{w_1=0} = 0$, es herrscht also zwischen den Kontaktstellen A und B gar keine Potentialdifferenz. Ist dagegen der Kontakt geöffnet, so ist $w_1 = \infty$ und

$$x = \left(\frac{ew_1}{w_1 + w_2}\right)_{w_1=\infty} = \left(\frac{e}{1 + \frac{w_1}{w_2}}\right)_{w_1=\infty} = e.$$

(Eine ähnliche Betrachtung lässt sich auch für den Fall anstellen, dass man versuchen wollte, durch Abzweigung von der Hauptleitung ein niedrigeres Potential zu erzielen.) Im Augenblicke des Öffnens des Stromes tritt also die ganze Potentialdifferenz zwischen den Kontaktstellen A und B auf und giebt, im Falle dieselbe gross ist, wie bei Anwendung der oben angegebenen Akkumulatorenbatterie, zur Bildung eines Lichtbogens und in Folge der dadurch erzielten hohen Temperatur zum Schmelzen der Kontakte Veranlassung. Dabei ist es unwesentlich, wie gross der Widerstand im übrigen Stromkreise ist. Hieraus folgt: Apparate, welche hohe Stromstärke erfordern, bei denen aber eine Unterbrechung eintreten kann oder muss, bedürfen der Anwendung eines Stromes von niedrigem Potential.

Es gelingen mir jetzt alle Versuche der beschriebenen Art vorzüglich mittelst zweier kleiner Akkumulatoren, deren innerer Widerstand sehr klein ist, die also bei kleinem äusseren Widerstande einen starken Strom geben. Ich erreiche mit diesen Akkumulatoren beim Ampèreschen Gestell eine Stromstärke von über 40 Ampère, dagegen ist der beim Unterbrechen gebildete Funke so klein, dass kaum eine Veränderung der Kontaktspitzen zu merken ist. Sogar mit einem Doppel-Taschenakkumulator habe ich sehr gute Wirkung erzielt, wenn der Akkumulator frisch geladen ist. Hat man keine Akkumulatoren zur Verfügung, so kann man dasselbe erreichen, wenn man mehrere Elemente parallel schaltet, um auf diese Weise die Stromstärke durch Verringerung des inneren Widerstandes, ohne Erhöhung des Potentials, sehr gross zu machen.

Ein Versuch über intermittierendes Sieden.

Von Professor Dr. P. Salcher in Fiume.

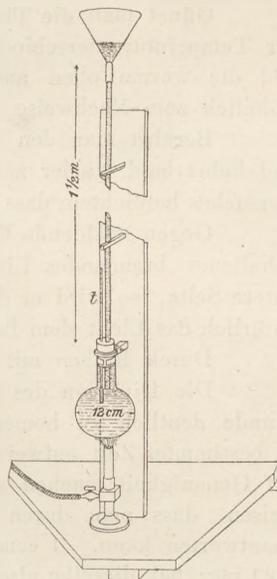
Das Geysir-Phänomen hat kürzlich erst wieder Herr ANTOLIK in dieser Zeitschrift (IV, 279, 280) behandelt, dennoch dürfte die nachstehende Versuchsanordnung von Interesse sein.

In einen Kochkolben sind mittelst Kautschukstöpsels ein längeres, mit einem Trichter versehenes Glasrohr und ein Thermometer so tief eingesetzt, dass sie ungefähr bis an den Anfang des Kolbenhalses reichen. Die Maasse meines Apparates sind: Inhalt des Kolbens ungefähr 0,5 l, Länge des Rohres 170 cm und Weite 1 cm.

Kolben, Rohr und zum Teil der Trichter werden mit (rot gefärbtem) Wasser gefüllt und dieses durch eine Spiritus- oder Gasflamme erwärmt. Kommt das Wasser zum Sieden, so zeigt das Thermometer eine höhere als die normale Siedetemperatur von 100° . Es giebt etwas über 104° an, in Uebereinstimmung damit, dass die Wirkung der 170 cm hohen Wassersäule einer Druckvergrösserung um 12,5 cm Quecksilberhöhe gleichkommt.

Von dem Dampfe, der sich anfangs entwickelt, sammelt sich der grösste Teil im Kolbenhalse unter dem Pfropfen. Erst wenn in Folge dessen das Wasser soweit herab-

gedrückt ist, dass sein Niveau unter das Glasrohr zu sinken beginnt, steigt der Dampf zunächst in einzelnen Blasen, bald aber in einem kontinuierlichen Strahle durch das Rohr auf und treibt daraus das Wasser in den Trichter. Er durchbricht wohl auch dieses und entweicht; so wie das geschieht, gerät das Wasser im Kolben in heftiges Sieden, und die Folge ist ein förmlicher Ausbruch von Dampf und Wasser. Doch gleich beruhigt sich alles wieder, das Wasser fällt in den Kolben zurück, wo indess das Sieden aufgehört hat, und das Thermometer sinkt bis einige Grade unter 100.



Etliche Minuten vergehen, bis sich der Ausbruch wiederholt, worauf abermals eine Pause eintritt. So kehrt die Erscheinung in Intervallen öfters wieder, nur stets etwas heftiger, weshalb der Versuch zuweilen mit der übrigens ungefährlichen Zertrümmerung des Kolbens endet, vorausgesetzt, dass nicht rechtzeitig abgebrochen wurde. Der jedesmalige Ausbruch zeigt ganz deutlich die plötzliche Dampfentwicklung in Folge des verminderten Druckes, der auf dem siedenden Wasser lastet: Das im Rohre und Trichter befindliche Wasser lässt sich als das Ventil (wie in Papins Topf oder Digestor) ansehen, dessen Öffnen während dem Sieden sofort eine Druckabnahme und zugleich eine rapide Verdampfung zur Folge hat. Da hierfür aber die ununterbrochen durch die Flamme zugeführte Wärme nicht genügt, so geschieht die plötzliche Verdampfung grösstenteils auf Kosten der Eigenwärme des Wassers. Da überdies nach der ersten Eruption aus Rohr und Trichter kühleres Wasser herabsinkt, so vermindert sich die Temperatur auf unter 100°; bei den folgenden Ausbrüchen wird dieser Einfluss immer geringer.

Der beschriebene Versuch erscheint mir in mehrfacher Hinsicht wichtig. Er gestattet zunächst Haupteigenschaften des Siedevorganges thermometrisch zu verfolgen, so die Ueberhitzung des Wassers im Kolben und den Wärmeverbrauch beim Verdampfen; ferner zeigt er die einfachsten Bedingungen für intermittierendes Sieden und giebt endlich die ungesuchteste Erklärung für einen merkwürdigen Vorgang in der Natur, nämlich für die Geysir-Erscheinung auf Island ¹⁾.

Versuche mit kleinen Luftballons.

Von Dr. A. Schülke in Osterode O/Pr.

Häufig werden rote oder blaue, mit Wasserstoff gefüllte Kautschukballons auf den Strassen zum Verkauf ausgebaut; das lebhafteste Interesse der Jugend an diesen Luftballen erlischt aber bald, weil das neue Spielzeug gar keine Abwechslung darbietet. Es kann jedoch zu manchen hübschen Beobachtungen benutzt werden — die um so wertvoller sind, weil sie auch von Schülern ohne jede Hilfe zu Hause angestellt werden können — wenn man folgende Abänderung damit vornimmt: Man befestigt an dem etwa 30 cm langen Faden ein Blatt Papier und schneidet oder reisst vorsichtig soviel davon ab, dass der Ball gerade in der Luft schwebt.

Ist die Luft im Zimmer ruhig, so kann man es dahin bringen, dass der Ball in jeder beliebigen Höhe zum Stehen kommt (Nachweis, dass die Dichtigkeit der Luft nach oben hin abnimmt.) Ist die Luft bewegt, so ist der so zubereitete Ball ein vorzügliches Mittel um die Luftströmungen sichtbar zu machen, z. B. im geheizten Zimmer bewegt er sich von der Thür langsam zum Ofen, steigt dann schnell auf, geht eine Strecke längs der Decke und sinkt herunter, um sich dann wieder dem Ofen zu nähern. Dies Spiel wieder-

¹⁾ Der oben beschriebene Versuch passt nicht zu der von Bunsen aufgestellten Theorie, wohl aber zu der von G. Wiedemann in den *Ann. d. Phys.* **15**, 173 (1882) angegebenen Erklärung.

holt sich beliebig lange, wenn man nur zufällig sich darbietende Hindernisse entfernt. (Der Apparat dürfte sich auch verwenden lassen, um zu untersuchen, ob Lüftungsanlagen im Schulgebäude ihren Zweck erfüllen.)

Öffnet man die Thür nach einem benachbarten Zimmer, so kann man, selbst wenn der Temperaturunterschied ein sehr geringer ist, zeigen, dass die kalte Luft unten ein- und die warme oben ausströmt. Die Erscheinung ist eindrucksvoller als bei dem gewöhnlich zum Nachweise verwendeten brennenden Licht.

Berührt man den Ball einige Sekunden mit den Händen, so steigt er in die Höhe und kehrt bald wieder zurück. Man kann dies als einfachste Form des Montgolfier'schen Versuches betrachten, dass ein Ball durch Erwärmung der Luft zum Aufsteigen gebracht wird.

Gegen strahlende Wärme ist er ziemlich unempfindlich, ein darüber oder daneben gehaltenes brennendes Licht wirkt nicht auf ihn ein, bringt man es dagegen auf die untere Seite, so wird er durch den aufsteigenden Luftstrom schnell mitgerissen. Man darf natürlich das Licht dem Ball nicht zu nahe bringen, da sich in demselben Knallgas bildet.

Durch Reiben mit der Hand kann der Ball elektrisch gemacht werden.

Die Diffusion des Wasserstoffes ist bei dieser Versuchsanordnung nach einer halben Stunde deutlich zu bemerken. Man kann sogar messend verfolgen, wieviel Wasserstoff in bestimmter Zeit entweicht, und wenn auch das nachfolgende Verfahren keinen Anspruch auf Genauigkeit machen kann, so bietet es doch Gelegenheit, die Schüler darauf hinzuweisen, dass man durch kleine Kunstgriffe manche Fragen mit recht einfachen Mitteln beantworten kann. 1 ccm Wasserstoff besitzt bei Zimmertemperatur eine Tragkraft von 1,21 mg; hat dieselbe also um a mg abgenommen, so sind $a/1,21 = 0,83 a$ mg Wasserstoff entwichen. Die Ermittlung von a geschieht dadurch, dass man von einer Ecke des als Ballast benutzten Papiers ein etwas zu grosses Stück abschneidet und hiervon schmale, parallel zur Hypotenuse geschnittene Streifen an den Luftballon hängt, solange, bis er wie früher im Gleichgewicht schwebt; der Inhalt des übrig bleibenden rechteckigen Papierstücks lässt sich dann leicht bestimmen und damit auch das Gewicht a , wenn man einen Bogen des hierzu verwendeten Papiers auf einer Briefwaage wiegt.

Ersatz des Ampèreschen Gestells.

Von **W. Saltzmänn** in Neu-Ruppin.

Bei Versuchen mit dem gebräuchlichen Ampèreschen Gestell wird es Andern wohl ebenso wie mir vorgekommen sein, dass die aufgehängten Leiter nicht die gewünschte

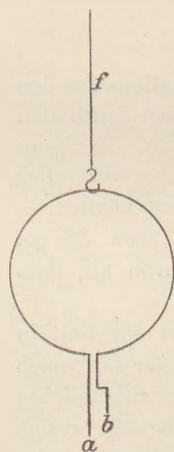


Fig. 1.

Empfindlichkeit besitzen; sie zeigen allerhand verdriessliche Launen, bleiben oft hartnäckig stehen und können sich nicht frei ganz herum-drehen. Besonders die Einwirkung des Erdmagnetismus auf aufgehängte Stromleiter bleibt sehr oft bei diesen Apparaten aus. Auch ein Solenoid aus Aluminiumdraht (18 Windungen von $6\frac{1}{2}$ cm Weite, Drahtdicke circa $1\frac{1}{2}$ mm, Länge 18 cm, Gewicht 40 gr) zeigte mir die oben gerügten Mängel und war wenig zuverlässig. Ich bin daher dazu übergegangen, die Leiter an einem seidenen Faden, der am unteren Ende mit einem Messinghäkchen versehen ist, aufzuhängen und gebe z. B. einem kreisförmigen Leiter die Gestalt wie Fig. 1 zeigt; a und b sind die beiden Enden des Leiters, welche in Quecksilber tauchen. Zu dem Ende habe ich mir vom Drechsler einen dickwandigen hohlen Cylinder aus Holz machen lassen, dessen Ansicht Figur 2 zeigt. Die obere Seite dieses Körpers hat eine tiefe ringförmige Rinne erhalten; auf der untern Seite habe ich durch vier Schrauben eine Kupferplatte mit vorstehendem Rand befestigt und zur Erzielung eines dichtern Verschlusses

Holz und Kupfer ein dünnes Leder gelegt, welches natürlich an der Stelle der untern zwischen Oeffnung des Hohleylinders ein rundes Loch hat. Man füllt nun die Höhlung des Cylinders, sowie die Rinne mit Quecksilber und hängt den Leiter so auf, dass die Spitze

a in die Höhlung, die Spitze b in die Rinne taucht. Da man nicht erwarten darf, dass bei der Drehung des Leiters die Spitze a genau ihre Stellung behält, so ist es angebracht, derselben einen grössern Spielraum zu gestatten, ich habe daher der innern Höhlung einen Durchmesser von $2\frac{1}{2}$ cm, der Rinne eine Breite von ebenfalls $2\frac{1}{2}$ cm geben lassen (Höhe des Cylinders 6 cm). Der Apparat zeigte nun die gewünschte Empfindlichkeit; bei Schluss des Stromes stellt sich der Leiter energisch in die verlangte Richtung senkrecht zum Meridian; bei Kommutierung des Stromes dreht er sich sofort um 180° . Bei meinen Versuchen stellte es sich heraus, dass, wenn der aufgehängte Leiter ein Kupferdraht ist, es nöthig ist an die kupfernen Enden bei a und b kleine Stückchen einer Stricknadel zu löten; sind die Enden a und b von Kupfer, so amalgamieren sich dieselben und es scheint, als wenn die Spitzen gewissermaassen am Quecksilber festkleben, so dass der Apparat seine leichte Beweglichkeit verliert. Auch schien es mir geboten, das Quecksilber, welches man benutzt, möglichst zu reinigen, weil es dann viel leichtflüssiger ist und also weniger Reibungswiderstand entgegengesetzt. (Zur Reinigung habe ich das in dieser Zeitschrift, V. 34, beschriebene Verfahren mit Erfolg angewendet). Auch mein Solenoid konnte leicht zu diesem Apparat vorgerichtet werden, indem die für das Ampère'sche Gestell mit Spitzen versehenen Enden abgeschnitten und den Enden die Form von Fig. 1 gegeben wurde. Auch dieses Solenoid zeigte nun, in der Mitte aufgehängt, die gewünschte Empfindlichkeit. Der Apparat hat den Vorzug, dass er fast nichts kostet, dass man sich die aufzuhängenden Leiter leicht selbst anfertigen kann und dass die aufgehängten Leiter ohne Störung beliebig viele Umdrehungen machen können.

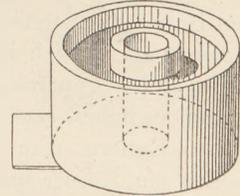


Fig. 2.

Ein Versuch zur Erläuterung der Zusammensetzung von Bewegungen.

Von Dr. **Wilhelm Dönlé** in München.

Die Zusammensetzung von Bewegungen lässt sich ohne besondere Schwierigkeit und ohne vorhergängige Demonstration des Kräfteparallelogramms durch folgenden einfachen Versuch sehr anschaulich vorführen. Man benötigt nur eine gewöhnliche Reisschiene (Lineal mit Anschlagstück), wie sie beim Linearzeichnen allgemein gebraucht wird. Man legt das Anschlagstück der Reisschiene an der (vom Experimentator aus gesehen) linken Kante des Experimentiertisches oder an der linken vertikalen Kante der Tafel fest an, so dass das Lineal der Reisschiene auf den Tisch, beziehungsweise die Schultafel zu liegen kommt. Dann braucht man nur, indem man mit der in der rechten Hand gehaltenen Kreide mit gleichförmiger Bewegung längs des Lineals hinfährt, gleichzeitig das Anschlagstück der Reisschiene längs der Tisch- oder Tafelkante mit der linken Hand gleichförmig fortzubewegen. Die Kreide verzeichnet dann auf dem Tischblatt oder der Tafel einen Strich, welcher ohne weiteres die Bewegung der Kreidenspitze längs der Diagonale des aus den Einzelbewegungen sich ergebenden Parallelogramms erkenntlich macht. Die gleichmässige und gleichzeitige Fortbewegung der Kreide längs des Lineals und des Anschlagstückes längs der Tisch- oder Tafelkante erfordert allerdings einige Übung. Man wird aber bald dahin gelangen, beide Bewegungen so gleichmässig auszuführen, dass der von der Kreide gezeichnete Strich von einem direkt mit dem Lineal gezogenen Strich kaum zu unterscheiden ist.

Am besten wird man vor dem so eben beschriebenen Versuch einmal bei festgehaltenem Anschlagstück der Reisschiene, sodann durch Festhalten der Kreide an einem Punkte des Lineals und Verschieben des Anschlagstückes die Einzelbewegungen der schreibenden Kreidenspitze demonstrieren und dann erst den anderen Versuch ausführen.

Selbstverständlich liesse sich dieses Verfahren auch verwenden, um die aus ungleichförmigen Einzelbewegungen resultierende Bewegung anschaulich zu machen; man wird auch dies nach einiger Übung ohne grosse Mühe zu Wege bringen.

Über den Nachweis der Abhängigkeit der Schwingungsdauer eines Pendels von der Fallbeschleunigung.

Von Dr. J. Jacob in Mähr.-Neustadt.

Der experimentelle Nachweis der Thatsache, dass die Schwingungsdauer eines Pendels sich mit der Fallbeschleunigung ändert, wird durch den Mach'schen Apparat in der Weise geführt, dass man ein Pendel zuerst in einer vertikalen, sodann in einer gegen den Horizont geneigten Ebene schwingen lässt: die Schwingungsdauer wird dabei zusehends grösser, um endlich unendlich gross zu werden, wenn die Ebene horizontal liegt. Ohne Hilfe dieses Apparates lässt sich dieser Versuch durch eine feinere Wage in so genauer Weise anstellen, dass sogar quantitativ ziemlich genaue Resultate erzielt werden können.

Entfernt man von einer solchen Wage die beiden Wagschalen, so bleibt im Wagebalken ein Körper von stabilem Gleichgewichte übrig, der aus der Ruhelage gebracht als Pendel schwingt, und dessen Schwingungen an der Zunge bequem beobachtet werden können. Neigt man nun die Wage, was auch in dem Falle leicht geschehen kann, wenn sie sich in einem Kasten befindet, so schwingt dieselbe in einer schiefen Ebene und infolge dessen bedeutend langsamer. Wenngleich man nun dieses Pendel nicht horizontal schwingen lassen kann, da sonst die Welle aus der Scheide hinausfiel, so kann doch die Neigung gegen den Horizont bis zu einem Winkel von 40° anstandslos bewerkstelligt werden. Es ist überdies von Vorteil, eine kleine Metallscheibe, am besten eine grössere Münze, an der Zunge mit Wachs zu befestigen und auf diese Weise die Schwingungsdauer des vertikalen Pendels, die sonst zu gross wäre, nach Belieben zu regulieren.

Nachstehende Versuchsreihe soll die quantitativen Beziehungen, die auf diesem Wege erreichbar sind, darlegen. Die Wage wurde unter vier Winkeln, welche durch

$\sin \alpha_1 = 1$, $\sin \alpha_2 = \frac{69 \cdot 28}{80} = 0 \cdot 86$, $\sin \alpha_3 = \frac{58 \cdot 6}{80 \cdot 2} = 0 \cdot 73$, $\sin \alpha_4 = \frac{46}{81 \cdot 5} = 0 \cdot 56$

bestimmt waren, gegen den Horizont geneigt, so dass die Fallbeschleunigungen

$$g_1 = 10, \quad g_2 = 8 \cdot 6, \quad g_3 = 7 \cdot 3, \quad g_4 = 5 \cdot 6$$

waren. Die mittelst eines Sekundenpendels bestimmten Schwingungsdauern betragen

$$\tau_1 = \frac{20}{21 \cdot 5}, \quad \tau_2 = \frac{20}{20}, \quad \tau_3 = \frac{20}{18 \cdot 25}, \quad \tau_4 = \frac{20}{16}$$

Bildet man nun einerseits

$$\frac{\tau_1^2}{\tau_2^2} = 0 \cdot 86, \quad \frac{\tau_1^2}{\tau_3^2} = 0 \cdot 72, \quad \frac{\tau_1^2}{\tau_4^2} = 0 \cdot 55, \text{ anderseits}$$

$$\frac{g_2}{g_1} = 0 \cdot 86, \quad \frac{g_3}{g_1} = 0 \cdot 73, \quad \frac{g_4}{g_1} = 0 \cdot 56,$$

so sieht man die Resultate so übereinstimmen, dass der Fehler höchstens $0 \cdot 01$ beträgt, und damit ist die bekannte Formel $\tau_1^2 : \tau_2^2 = g_2 : g_1$ bestätigt.

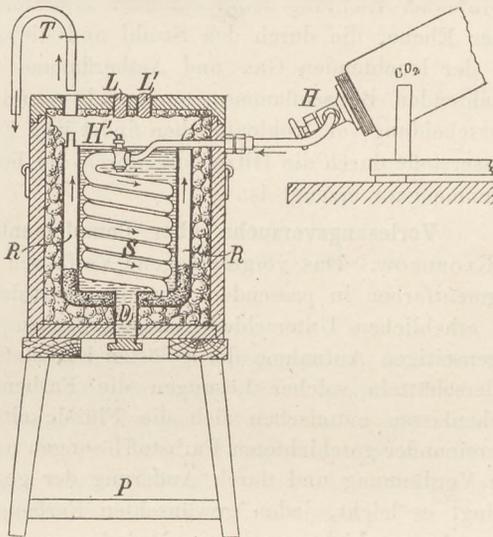
Für die Praxis.

Darstellung von Schwefeldioxyd. Von M. Rosenfeld in Teschen. Beim Erhitzen von Schwefelsäure mit Kupferdrehspänen kommt es nicht selten vor, dass die Gasentwicklung plötzlich so heftig erfolgt, dass die Flüssigkeit stark aufschäumt und übersteigt. Dieser Übelstand tritt jedoch nicht ein und man erhält einen gleichmässigen Gasstrom, wenn man so verfährt, dass man zuerst die Schwefelsäure fast bis zum Sieden erhitzt und sodann erst das Kupfer hinzufügt. Man kann auf diese Weise zum Zwecke der Demonstration der Eigenschaften des Schwefeldioxyds dieses Gas auch in einem grossen und weiten mit Gasentwicklungsröhre versehenen Reagenzröhrchen darstellen. Man formt zu diesem Zwecke die Kupferdrehspäne in kleine Bälle, die man einzeln in die heisse Schwefelsäure einträgt. Erst wenn ein solcher Ball aufgebraucht ist, wird der nächste eingetragen.

Berichte.

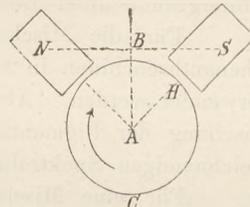
1. Apparate und Versuche.

Eine Kältemaschine für Vorlesung und Laboratorium. Unter dem Namen *Criogène Cailletet* wird von DUCRETET in Paris ein Apparat construirt, um mit Hilfe von flüssiger Kohlensäure ein Alkoholbad auf etwa -70° abzukühlen. Man lässt zu dem Zweck die Kohlensäure aus der schmiedeeisernen Flasche in das Schlangenrohr *S* eintreten, indem man die Hähne *H* und *H'* nach und nach öffnet. Der zuerst gebildete Kohlendioxid schnee verflüchtigt sich rasch, oder wird von dem Alkohol aufgelöst, mit dem die Schwammstückchen am Boden des ringförmigen Gefässes *RR* getränkt sind. Das Gas entweicht durch die gebogene Röhre *T* und durch die Arbeitsöffnungen *L* und *L'* in die Atmosphäre. Der mit Alkohol gefüllte Kühlraum *R* ist durch auswattierte Wände gegen das Eindringen der Aussenwärme geschützt. Ein Aufwand von 2 bis 2,5 kg Kohlensäure reicht hin, die Temperatur auf -70° zu erniedrigen; diese steigt dann in neun Stunden nur bis -20° , und um sie constant auf -70° zu erhalten, genügt es, von Zeit zu Zeit sehr geringe Mengen neuen Gases hindurch treten zu lassen. Will man Gase condensieren und die erhaltene Flüssigkeit aufsammeln, so kann man das Condensationsgefäss in die Mitte des Apparates bringen und es durch die untere Öffnung *D* mit einem Sammelgefässe verbinden, das auf der Platte *P* aufgestellt wird.



(*Journ. de Phys. élém.* VII, 89; 1892.)

Eine einfache Wärmemaschine. Unter diesem Titel beschreibt FRED. J. SMITH einen Versuch, bei dem die Entmagnetisierung des Nickels durch die Wärme zur Hervorbringung der Rotation einer Nickelscheibe benutzt wird. Der Versuch knüpft an den vor kurzem von Shelford Bidwell beschriebenen (*d. Zeitschr.* IV, 258) an. Eine Nickelscheibe von 5 cm Durchmesser und 1 mm Dicke wurde mit einer Axe (die durch den Mittelpunkt *A* ging) versehen und horizontal vor den Polen eines Magneten aufgestellt, so dass die Vorderflächen der Magnetpole einen Winkel von 90° gegen einander bildeten. Die dem einen Pol gegenüberliegende Stelle wurde von unten durch eine Flamme erhitzt, und die Scheibe begann in der durch den Pfeil angegebenen Richtung zu rotieren. Um die Verteilung der elektrischen Kraftlinien in der Scheibe zu prüfen, wurde eine dünne Platte aus nicht magnetischem Metall darüber gehalten und Eisenfeile auf diese gestreut. Vor der Erhitzung waren die Kraftlinien gleichförmig angeordnet, während des Erhitzens aber zeigte sich, dass nur wenige durch die erhitzte Stelle hindurchgingen. Demnach ist der Abfall der Kraftlinien an der erhitzten Seite der Scheibe geringer als an der nicht so heissen, und daraus erklärt sich die Rotation.



(*Nature* 45, No. 1161, 1892.)

Nachweis glühender fester Teilchen in Flammen. G. G. STOKES beschreibt die folgende leicht anzustellende Beobachtung. Wenn man Sonnenlicht durch eine Linse condensiert und durch die Flamme einer Kerze gehen lässt, so bemerkt man da, wo der Strahlenkegel die leuchtende Hülle schneidet, zwei hellere Lichtstreifen als in der übrigen Flamme. Diese leuchtenden Streifen rühren offenbar vom Sonnenlicht her, das

an der Grenze der Hülle an festen Teilchen zerstreut wird. Die Dicke dieser Streifen ist sehr gering, die Erscheinung also auf einen schmalen Kegelmantel beschränkt, sie fehlt in der äusseren nichtleuchtenden Hülle, im Kern und in dem unteren blauen Teil der Flamme; die Erscheinung wird noch deutlicher, wenn man die Flamme durch ein blaues Glas betrachtet. Das Licht der hellen Streifen zeigt auch die charakteristische Polarisation von Licht, das durch feine Teilchen zerstreut ist, es erweist sich, wenn man es in einer Richtung senkrecht zum einfallenden Sonnenlicht betrachtet, polarisiert in einer Ebene, die durch den Strahl und die Sehlinie geht. Dieselbe Erscheinung tritt bei der leuchtenden Gas- und Aetherflamme auf, aber nicht bei Alkohol und der nichtleuchtenden Bunsenflamme, auch nicht wenn diese durch Chlornatrium gefärbt ist. Die Ausscheidung von Kohlentheilchen findet ihre Erklärung in der Zersetzung flüchtiger Kohlenwasserstoffe durch die Hitze, die durch die bereits vollzogene Verbrennung eines Teils der Flammengase erzeugt ist. (*Nature, No. 1154, 1891.*)

Vorlesungsversuche über Complementärfarben und Farbgemische. Von NIK. v. KLOBUKOW. Das vorgeschlagene Verfahren besteht darin, dass man die zu mischenden Pigmentfarben in passenden Mengenverhältnissen solchen Lösungsmitteln einverleibt, die, bei erheblichem Unterschiede im spezifischen Gewicht, weder ineinander löslich, noch zur gegenseitigen Aufnahme der gelösten Farbstoffe befähigt sind, und durch kräftiges Ineinanderschütteln solcher Lösungen die Farbmischung zu Stande kommen lässt. Beim Stehenlassen entmischen sich die Flüssigkeiten allmählich und man erblickt die beiden übereinander geschichteten Farbstofflösungen unverändert wieder. Durch passende Änderung der Verdünnung und durch Änderung der gegenseitigen Mengenverhältnisse der Lösungen gelingt es leicht, jeden gewünschten Farbeffekt hervorzubringen. Die Anstellung der Versuche geschieht am besten in hohen, engeren Mischcylindern.

Für die Mischung von roten und grünen Farbstoffen wird eine Lösung von Aldehydgrün in Amylalkohol und eine solche von Kobaltsalzen in Wasser empfohlen. Unter den verschiedenen Präparaten des Aldehydgrüns sind die reinsten, mit sattgrüner Farbe leicht löslichen auszuwählen. Die Mischung der genannten Lösungen giebt ein schmutziges Weiss; es verhält sich also in diesem Fall ein Gemisch von Pigmentfarben gerade so wie ein Gemisch reiner Spektralfarben. (Ähnlich verhalten sich bekanntlich auch die Mischungen von Kobalt- und Nickelsalzlösungen.) Durch Zusatz von NH_4Cl , Kali oder sonstigen Alkalisalzen zur Kobaltlösung kann man die sonst nur langsam vor sich gehende Entmischung nach Belieben beschleunigen. Um die Mischfarbe möglichst weiss erscheinen zu lassen, sorgt man für eine möglichst intensive Beleuchtung und zeigt den Versuch vor einem dunklen Hintergrunde unter Beseitigung aller weissen Vergleichsobjekte.

Für die Mischung von blauen und gelben Farbstoffen kann eine Lösung von Phenanthrenchinon in Amylalkohol und eine ammoniakalische Kupfersalzlösung in Wasser verwendet werden. Als Mischfarbe erhält man hier ein helleres, gebrochenes Grün; die Mischung der Pigmentfarben weicht also in ihrem Verhalten ab von der Mischung der gleichnamigen Spektralfarben, die bekanntlich weiss liefern.

Für eine Mischung von gelben und violetten Farbstoffen kann wiederum eine Chinonlösung in Amylalkohol, und andererseits ein Gemisch von Kobalt- und Kupfersalzen in Wasser, dessen Nuance dem Spektralolett möglichst anzupassen ist, verwendet werden. Bei geeigneten Mengenverhältnissen erhält man als Mischfarbe ein schmutziges Weiss. Hier wirken also die Pigmentfarben Gelb und Violett complementär, während die gleichnamigen Spektralfarben dies nicht thun würden. (*Wied. Ann. 43, 438, 1891.*)

Eine einfache Polbestimmung der Influenzmaschine. Von G. LEONHARDT. Aus dem Saugkammer der Influenzmaschine, welcher der negativen Belegung gegenübersteht und daher auch nach dem negativen Pole hinführt, strömt bekanntlich positive Elektrizität aus, aus dem anderen Saugkammer negative. Nähert man nun, während die Maschine im Gange ist, den Finger einer Hand der vorderen drehbaren Scheibe etwas über- oder unterhalb des Saugkammes, immer auf der Seite, auf welcher der Ausschnitt der festen

Scheibe gelegen ist, so strömt entweder positive oder negative Elektrizität in den Finger ein, je nachdem derselbe auf der Seite des negativen oder positiven Pols genähert wird. Dieses Einströmen macht sich aber durch ein verschiedenartiges Geräusch bemerkbar. Während das Einströmen der positiven Elektrizität unter einem knisternden Geräusch vor sich geht, ist das Einströmen der negativen mit einem zischenden oder sausenden Geräusche verbunden. Beide sind deutlich hörbar, und besonders das knisternde Einströmen der positiven Elektrizität ist selbst auf weitere Entfernung hin noch deutlich wahrzunehmen. Hört man daher bei dem Nähern des Fingers ein knisterndes Geräusch, so zeigt dies einströmende positive Elektrizität und daher einen negativen Pol an, während ein zischendes Geräusch auf Einströmen von negativer Elektrizität und daher auf einen positiven Pol hinweist. Im dunklen Zimmer wird diese Bestimmung noch einfacher, weil man dann die aus den Saugkämmen ausströmende positive oder negative Elektrizität ohne weiteres erkennen kann. Die Bestimmung ist von Gestalt und Natur der Elektroden völlig unabhängig, daher auch in den Fällen anwendbar, in denen die von O. MUND angegebene (vgl. d. Zeitschr. I. 217) den Beobachter im Stich lässt. *Wied. Ann.* **44.** 786; 1891.

2. Forschungen und Ergebnisse.

Über elektrische Entladungen ohne Elektroden in Geisslerschen Röhren hat J. J. THOMSON der Cambridge Philosophical Society am 9. Mai v. J. berichtet und eine Beschreibung im *Philos. Mag.* (Vol. 32, No. 197, 1891) gegeben, die eine Ergänzung zu den Versuchen von Tesla (*d. Zeitschr.*, V., S. 87) bildet. Er giebt ausdrücklich an, dass zuerst Hittorf (*Wied. Ann.*, Bd. 21) die Lichterscheinungen beschrieben habe, die im Vakuum auftreten, wenn durch einen benachbarten Draht der Entladungsstrom einer Leydener Flasche geleitet werde. THOMSON benutzt ebenfalls eine Leydener Flasche, deren Belegungen mit den beiden Polen einer Influenzmaschine verbunden sind und durch einen Draht mit eingeschalteter Funkenstrecke entladen werden, sobald das Potential die entsprechende Höhe erreicht hat. Der Entladungsdraht ist an einer Stelle zu mehreren Windungen (der primären Spirale) zusammengelegt, in die ein Vakuumgefäß (besser Kugel als Röhre) gebracht werden kann. (Bei einer anderen von O. LODGE angegebenen Anordnung kann man die Funkenstrecke der Influenzmaschine selbst benutzen, indem man die inneren Belegungen zweier Leydener Flaschen mit den Polen der Maschine, die äusseren aber durch den nicht unterbrochenen Entladungsdraht mit einander verbindet.) Während bei Hittorf's Versuchen der ganze Innenraum leuchtend wurde, beschränkt THOMSON die Erscheinung auf einen leuchtenden Ring, indem er zwischen Spirale und Gefäß einen Schirm aus säuregetränktem Löschpapier bringt und so die elektrostatischen Wirkungen verhindert, die das Ansteigen des Potentials im Entladungsdraht auf die Glaswände des Gefäßes ausübt. Die Erscheinungen traten in kugelförmigen Gefässen deutlicher als in Röhren hervor; sie beginnen bei ungefähr 1 mm Druck, nehmen mit der Verdünnung zu und erreichen ein Maximum, jenseit dessen, bei sehr weit getriebener Verdünnung, keine Entladung mehr zu Stande kommt. Die Lichterscheinung wird offenbar durch die Wechselströme von sehr kurzer Periode hervorgerufen, die bei der Entladung der Leydener Flasche auftreten. Ein Magnet trennte den Lichtstrom demnach in zwei einzelne Teile von völlig gleicher Intensität; doch wurde bemerkt, dass die Entladung durch die Nähe eines Magneten, dessen Kraftlinien senkrecht zur Entladungsrichtung verlaufen, eine Erschwerung erfährt und erst bei stärkeren primären Entladungsströmen eintritt. Dieser Einfluss eines magnetischen Feldes zeigte sich bei verdünnter Luft, Sauerstoff, Kohlensäure in ganz gleicher Weise; wenn dagegen der Entladungsstrom mit den magnetischen Kraftlinien gleichlaufend war, trat umgekehrt eine Erleichterung der Entladung ein. Ein Zusammenhang dieser Wirkung mit den molekularen Zuständen, die durch die Kraftlinien bedingt werden, ist hieraus ersichtlich, aber noch nicht völlig aufgeklärt. Auf molekularen Veränderungen beruht jedenfalls auch ein phosphoreszenzartiges Nachglühen, das namentlich beim Sauerstoff hervortritt; wird die Entladung in einem Kugelrohr hervor-

gerufen, so schreitet von der Kugel aus das schwache Glühen nach beiden Seiten in die Röhre hinein fort, so langsam, dass sich die Bewegung mit dem Auge verfolgen lässt. Es scheint von Gasmolekülen herzurühren, die durch die Entladung gespalten und aus der Entladungsbahn seitwärts geschleudert sind, und die nur durch eine Art gradueller chemischer Verbindung in ihren Anfangszustand zurückkehren. Die Dauer der Phosphoreszenz wird durch erhöhte Temperatur abgekürzt.

Auch O. LEHMANN hat neuerdings die Hittorfschen Versuche mit vollkommeneren Mitteln wiederholt und bestätigt (*Wied. Ann.* **44**, 642; 1891). Er bediente sich einer grossen Töplerschen Influenzmaschine mit sechzig rotierenden Scheiben, die in einem geräumigen Gefäss mit comprimierter Luft von 3—4facher Dichte umgeben werden konnte. An zwei grossen Leydener Flaschen wurden die inneren Belegungen mit den Polen der Maschine, die äusseren mit einander durch einen kreisförmig gebogenen Draht verbunden; dieser Draht aber war an einer Stelle unterbrochen und die Enden so weit von einander entfernt, dass keine Funken übersprangen. Nun wurde eine evakuierte Uranglaskugel an isolierendem Griff an verschiedene Stellen der Drähte gebracht, während zwischen den Conductoren der Influenzmaschine beständig Funken überschlügen. Infolge von Influenzwirkung leuchtete die Kugel auf, um so heller je näher den Enden, und am hellsten zwischen den beiden Drahtenden. Darauf wurde eine ringförmige in sich geschlossene Röhre innerhalb des Drahtkreises gebracht. Bei offenem Draht trat nur schwaches Leuchten auf, wurden dagegen die Drahtenden metallisch verbunden, so erstrahlte die Röhre in sehr hellem weissen Lichte, während das Leuchten der Uranglaskugel völlig aufhörte. Hieraus geht hervor, dass das helle Licht in der Röhre nicht durch Influenz, sondern durch Induktion hervorgerufen wird. Bei Anwendung von 50 Windungen Kupferdraht an Stelle des einfachen Drahtkreises wurde das Leuchten ausserordentlich intensiv; es zeigte sich auch, dass die Röhre nicht in sich selbst zurücklaufend zu sein braucht, wenn sie durch Induktion leuchtend werden soll, dass es vielmehr zur Erzeugung der leuchtenden Entladung völlig ausreicht, wenn an der betreffenden Stelle der Röhre die inducierte elektromotorische Kraft gleich dem Entladungspotentialgefälle ist.

Experimentelle Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen. Von R. BLONDLOT. Nach den Versuchen von Sarasin und de la Rive (vgl. diese Zeitschr. IV 310) hängt die bei den Hertz'schen Versuchen beobachtete Wellenlänge von dem angewandten Resonator ab. Es muss also möglich sein, aus der Gleichung $x = VT$ die Grösse V zu bestimmen, wenn es gelingt einen Resonator zu construieren, dessen Schwingungszeit sich berechnen lässt. Als Resonator wurde ein Luftcondensator benutzt, dessen Platten, bis auf einen Bruchteil eines mm einander genähert, durch einen rechteckig gebogenen Draht verbunden waren. Nach einer von W. Thomson für die Entladung einer Batterie angegebenen Formel konnte, unter Vernachlässigung des Widerstandes, $T = 2\pi\sqrt{CL}$ gesetzt werden, wo C die Capacität des Condensators, L den Selbstinduktions-Coefficienten des Stromkreises bedeutet. Die Grösse C ist nach der Methode von Maxwell in elektromagnetischen Einheiten messbar, L ist mit Hilfe einer von Poincaré (*Electr. et Optique t. II*) angegebenen Formel zu berechnen, dadurch ist T bestimmt. Die Wellenlänge für einen gegebenen Resonator wird nach der Hertz'schen Methode durch Funkenmikrometer-Beobachtung ermittelt, indem der Resonator zwischen zwei langen parallel ausgespannten Drähten verschoben wird, längs welcher die Schwingungen verlaufen. Bei dreizehn Versuchen wurde mit Hilfe verschiedener Resonatoren die Wellenlänge von 8,94 bis 35,36 m variiert; es ergab sich, dass die danach berechneten Geschwindigkeiten zwischen 304 100 und 288 300 km hin- und herschwankten, in einer Weise, dass die Abweichungen vom Mittel nur von Beobachtungsfehlern herühren können. Das Mittel betrug 297 620 km. Es folgt demnach, dass die elektrischen Schwingungen eine bestimmte Fortpflanzungsgeschwindigkeit haben, die von der Wellenlänge unabhängig ist und mit der Luftgeschwindigkeit nahe übereinstimmt.

Über elektrische Entladungen. Von E. WIEDEMANN und H. EBERT (*Sitzungsber. d. physik.-med. Soc. Erlangen. 14. Dezbr 1891*). Ein Geissler'sches Entladungsrohr lässt sich als Condensator auffassen, dessen Belegungen die Elektroden und dessen Dielektrikum die Gasfüllung ist. Dies zeigt besonders anschaulich der folgende Versuch: Eine weit ausgepumpte Entladungsröhre mit einer Spitze (Anode) und einer Platte (Kathode) wird dadurch geladen, dass sie mit der Plattenelektrode auf den positiven Pol einer kräftigen Influenzmaschine aufgesetzt wird; der negative Pol der letzteren ist zur Erde abgeleitet, der positive von der Erde durch eine Funkenstrecke getrennt, welche gestattet, die positiven Spannungen bis auf etwa 20 000 bis 30 000 Volt zu bringen. Bei der Ladung wird die Aussenwand der Röhre zur Erde abgeleitet. Entfernt man die Röhre, so erhält man selbst nach längerer Zeit kräftige Flaschenentladungen, wenn man die Plattenelektrode berührt. Die Rohrwandung übernimmt hierbei teils die Rolle der Belege, teils die des Dielektrikums. Von der angegebenen Auffassung ausgehend entwickeln die Verfasser eine Theorie der elektrischen Erscheinungen in Geissler'schen Röhren, der zufolge sich bei der Entladung einer solchen Röhre elektrische Oscillationen ausbilden, welche für die Art des Elektrizitätsübergangs maassgebend sind. Die spezielle Entladungsform richtet sich nach der Art der ausgebildeten Oscillationen, ihrer Periode, Verteilung im Rohr und der Grösse der durch sie übergeführten Energie.

Die Capacität eines Entladungsrohres, die von seiner Grösse, dem Material und dem Gasdruck abhängt, ist derjenigen einer mässig grossen Leydner Flasche gleich. Zu ihrer Bestimmung wurde der Funkenstrom einer Influenzmaschine durch das Entladungsrohr und ein nach Ampères geaichetes Galvanometer geleitet und die Anzahl der Entladungen im Rohr mittelst eines rotirenden Spiegels gefunden. Das durch jede einzelne Ladung hervorgerufene Potential liess sich durch ein dem Rohr parallel geschaltetes Funkenmikrometer erhalten. Da der Widerstand des Entladungsrohres, wie aus seiner geringen Erwärmung folgt, sehr klein und der Selbstinduktions-Coefficient des Schliessungskreises bekannt war, so konnte die Grundschiwingung des Rohres berechnet werden. Es ergaben sich Schwingungen von der Ordnung der Hertz'schen Wellen. Zur Darstellung der Grundschiwingungen wurde das Lecher'sche Verfahren (*d. Zeitschr. IV, 147; Ber. d. Wien. Akad. 99 IIa*) unter Verwendung der Influenzmaschine statt des Induktoriums zur Erregung des Rohrs benutzt und dadurch, dass als Anode eine Spitze und als Kathode eine Kreisplatte gewählt wurde, für die constante Stromrichtung Sorge getragen. Bei höherem Gasdruck liess sich das Rohr nur durch seine Grundschiwingung und ihre tiefere Oktave, nicht aber durch die Oberschwingungen erregen; bei niederen Drucken traten durch Ladung der Rohrwände Capacitätsänderungen ein, durch welche die Grenzen der Erregbarkeit des Rohrs erweitert wurden. Die der Grundschiwingung entsprechende Lichterscheinung besteht aus einem von der Anode ausgehenden rötlichen Lichtbündel, welches sich trichterförmig erweitert, um sich in der Nähe der Kathode wieder zusammen zu ziehen. Vom Rande der Kathode kommen ihm blaue Glimmlichtstrahlen entgegen, welche von den rötlichen Strahlen durch einen dunklen Raum getrennt sind. Durch Berührung der Rohrwandung werden an derselben neue Kathoden erzeugt, von denen ebenfalls Glimmlichtstrahlen ausgehen. Wird das Entladungsrohr durch eine Influenzmaschine oder Induktorium erregt, so gelingt es nicht, die Grundschiwingung zu erhalten, weil jeder Teil des Rohres mit der ihm vermöge seiner Capacität zukommenden Eigenschwiwingung anspricht und stehende elektrische Wellen und daher Schichtungen gebildet werden. Bei schwächerer Elektrizitätszufuhr ergeben sich Wellen von kleinerer Schwingungszahl als bei stärkerer Zufuhr von Elektrizität. Die Kathode selbst und der sie umgebende dunkle Raum, der durch die Wirkung der auf die Kathode auftreffenden und der von ihr reflektierten Schwingungen entsteht, setzen dem Eindringen elektrischer Oscillationen einen grossen Widerstand entgegen. Der an der Kathode stattfindende Energieverlust erscheint teils als mechanische Arbeit — Zerstäuben der Kathode —, teils als Wärme, namentlich bei mässig niedrigem Gasdruck, während bei höherem und bei sehr niedrigem

Druck die Erwärmung der Kathode nur gering ist, teils wird er bei sehr niedrigem Druck zur Ausbildung der Kathodenstrahlen verwendet. Die Energie der Kathodenstrahlen wurde dadurch bestimmt, dass der intensiv grün leuchtende Teil eines Entladungsrohres in ein Terpentin-Calorimeter getaucht wurde. Sie ergab sich $1,4 \cdot 10^5$ mal so gross als diejenige des hellsten Sonnenlichtes. Die Amplitude der Kathodenstrahlen ist demnach etwa 370 mal so gross als die der Sonnenstrahlen. Während die Amplituden der Lichtschwingungen kleiner sind als die Dimensionen der Moleküle, sind die Amplituden der Kathodenstrahlen bedeutend grösser; beide Strahlengattungen müssen also verschiedenen Absorptionsgesetzen folgen. Hiermit steht auch die starke Absorption der Kathodenstrahlen durch Dielektrika im Einklang, da die Durchsichtigkeit mit zunehmender Amplitude der Schwingungen abnimmt. Der in den Kathodenstrahlen herrschende Druck in der Fortpflanzungsrichtung der Wellen ist von der Grössenordnung des Gasdrucks im Rohr; es werden sich also erst dann Kathodenstrahlen in einem Rohre bilden, wenn dieser Druck von derselben Ordnung ist, wie der auf der Kathode lastende Gasdruck. Man kann daher durch Einschalten von Funkenstrecken, welche die Energie der einzelnen Oscillationen erhöhen, auch bei höherem Druck Kathodenstrahlen erzeugen.

Ähnliche Zahlenwerte wurden durch die Untersuchung des Phosphorescenzlichtes gefunden. Durch Vergleichen der Dicken von Glasschichten, welche unter dem Einfluss des Kathoden- und des Sonnenlichtes phosphorescierten, sowie unter Berücksichtigung der Bestrahlungszeiten ergab sich aus den Lichtstärken für das Verhältnis beider Energien der Wert $0,76 \cdot 10^5$, also für dasjenige der Amplituden $2,7 \cdot 10^2$. Die durch die Kathodenstrahlen hervorgerufene Phosphorescenz des Glases verschwindet allmählich beim Erwärmen desselben; die Verschiebungsströme, aus welchen die Kathodenstrahlen bestehen, werden also durch die Molekularbewegung des Dielektrikums modifiziert. Andererseits werden durch starke Kathodenstrahlen im Glase molekulare Umsetzungen veranlasst, welche ein längeres Leuchten desselben nach Öffnen des Stromes bewirken.

Durch den Einfluss eines Magneten wird eine Dispersion der Kathodenstrahlen hervorgerufen; die auf der Kathode selbst sichtbaren Ansatzstellen der Strahlen erscheinen dann in der Mitte violett, nach aussen rot gefärbt. Von dünnen Metallschichten werden die Kathodenstrahlen sehr wenig absorbiert, während Dielektrika für sie undurchdringlich sind. Fallen Kathodenstrahlen auf Platten aus Metall oder aus einem Dielektrikum, so erzeugen sie dort entweder neue Kathodenstrahlen, oder sie werden diffus reflektiert. Die Metalle lassen sich mit Bezug auf die diffuse Reflexion mit dem feinsten weissen Gyps, die Dielektrika mit Kartonpapier vergleichen, bei welchem sich ausserdem noch Oberflächen-glanz bemerkbar macht.

H. R.

Über den Durchgang der Kathodenstrahlen durch dünne Metallschichten. Von H. HERTZ. (*Wied. Ann.* **45**, 28; 1892.) Dass die Kathodenstrahlen dünne Metallschichten ohne grossen Intensitätsverlust durchsetzen, zeigt HERTZ dadurch, dass er in einem Entladungsrohr einer kreisförmigen Kathode eine Uranglasplatte gegenüberstellt, welche auf der der Kathode zugewendeten Fläche teilweise mit dünnen Schichten aus Gold, Silber, Kupfer oder Aluminium und mit Glimmersplittern bedeckt ist. Auf der unter dem Einfluss der Kathodenstrahlen phosphorescierenden Rückseite der Platte bildet sich die Metallschicht als ein sehr dünner Schleier ab, während die Glimmerstückchen schwarze Schatten werfen. Da die Vorderseite der Metallschicht völlig dunkel erschien, so war das Vorhandensein von Poren in der Schicht ausgeschlossen, weil diese auch das Phosphorescenzlicht hätten hindurchlassen müssen. Wurde statt der Uranglasplatte ein Metallschirm aufgestellt, dessen centrale Öffnung durch ein dünnes Metallblättchen verschlossen war, so leuchtete der hinter dem Schirm liegende Teil der Röhre gleichmässig hell; es tritt also beim Durchgang durch dünne Metallschichten eine diffuse Ausbreitung der Kathodenstrahlen ein. Die Phosphorescenz war stark genug, um die geradlinige Ausbreitung der Strahlen und ihre Ablenkbarkeit durch den Magneten erkennen zu lassen.

H. R.

3. Geschichte.

Joh. Amos Comenius. Die Verdienste des Vaters der heutigen Pädagogik, der am 28. März 1592 geboren wurde, sind gelegentlich der Feier seines dreihundertjährigen Geburtstages den heut Lebenden wieder frisch vor die Seele getreten. Es ziemt auch unserer Zeitschrift, des Mannes zu gedenken, der den Wahlspruch alles naturwissenschaftlichen Unterrichts: „Nicht Worte, sondern Dinge“ zum Grundsatz der Erziehung überhaupt erhoben sehen wollte. „Die Weisheit besteht in den Dingen, nicht in den Worten“, heisst es im Beginn einer Abhandlung über das Studium des Lateinischen, und ferner: „Die Worte müssen beständig im Verein mit den Dingen gelehrt werden, damit sich Einsicht und Sprache immer zugleich bilden; Worte ohne Dinge sind Schalen ohne Kern, eine Scheide ohne Schwert, Schatten ohne Körper, Körper ohne Seele“. Durch den Hinweis auf die Dinge erschütterte Comenius die Herrschaft des Formalismus, er durchbrach den Bann der scholastischen Tradition durch die Forderung, dass das Erlernen der Sprache mit em Kennenlernen der durch die Sprache bezeichneten Dinge Hand in Hand gehen müsse. Er suchte eine „Thür der Dinge“ zu finden, durch die man leicht in das ganze Gebiet der Künste und Wissenschaften eindringen könne, und legte in seiner „*Didactica magna*“ die Kunst dar, alles auf natürlichem Wege und gründlich zu lehren. Bei der Feststellung des richtigen Lehrverfahrens hält er sich an natürliche Analogieen, an das Beispiel des Vogels, der seine Jungen ausbrütet, an das Vorbild des Gärtners, Malers und Baumeisters. Auf diese Art gewinnt er Grundsätze wie die folgenden: „Die Natur achtet auf die passende Zeit. — Die Natur bereitet sich den Stoff, bevor sie eine Gestalt einzuführen sich anschickt. — Die Natur verwirrt sich nicht in ihren Werken, schreitet im einzelnen, jedes für sich bildend, vor. — Die Natur beginnt ihre ganze Thätigkeit von innen heraus. — Die Natur macht keinen Sprang, sie schreitet stufenweise vor. — Wenn die Natur anfängt, hört sie nicht auf, als bis sie vollendet. — Die Natur vermeidet sorgfältig Gegensätzliches und Schädliches. — Die Natur führt alles aus Anfängen heraus, die dem Umfange nach unbedeutend, der inneren Kraft nach stark sind. — Die Natur schreitet vom Leichterem zum Schwereren vor. — Die Natur übereilt sich nicht, schreitet langsam vor. — Die Natur fördert nichts zu Tage, das nicht, im Innern gereift, hervorzubrechen strebt. — Die Natur thut nichts ohne eine Grundlage oder eine Wurzel. — Die Natur ist in beständigem Fortschritt, macht nie Halt, fängt nie etwas Neues an und lässt das Frühere im Stich; sondern setzt nur das früher Begonnene fort, vermehrt, vollendet. — Die Natur verbindet alles in beständiger Verknüpfung. — Die Natur befruchtet und stärkt sich selbst durch häufige Bewegung.“ — Viele von diesen Sätzen erinnern aufs lebhafteste an die verwandte Art der goethischen Naturauffassung.

In der Methode für den Wissenschaftsunterricht im besonderen (*Did. magna, cap. XX*) zeigt sich Comenius als ein echter Schüler Franz Bacons; als goldene Regel für die Lehrenden stellt er auf, das „Alles soviel als möglich den Sinnen vergegenwärtigt werde“. Hierfür giebt er einen dreifachen Grund an: erstens, der Anfang der Erkenntniss müsse immer von den Sinnen aus geschehen, daher könne denn auch der Anfang der Gelehrsamkeit nicht geschehen mit einer Worterklärung der Dinge, sondern nur mit einer realen Besichtigung; zweitens, die Wahrheit und Sicherheit der Dinge hänge ebenso nur von dem Zeugnis der Sinne ab; und drittens, weil der Sinn der treueste Haushofmeister des Gedächtnisses sei, so werde jener sinnliche Hinweis zur Folge haben, dass ein jeder das, was er weiss, beständig weiss. Im einzelnen empfiehlt Comenius u. a. vollständig zerlegbare Nachbildungen des menschlichen Körpers für den Unterricht in der Anatomie und beruft sich auf Robert Fludd, der das Entstehen der Winde, des Regens, des Donners künstlich den Augen vorgemalt habe. Ferner soll alles, was gelehrt wird, so gelehrt werden, wie es ist und geschieht, d. h. mit Angabe der Ursachen; denn die Ursachen eines Dinges erklären heisst die wahre Wissenschaft des Dinges überliefern. Die Unterschiede der Dinge solle man recht hervorheben, damit die Kenntniss aller Dinge eine klare sei. Ein noch grösseres Gewicht aber als auf die Wissenschaften legt Comenius auf die Künste,

d. h. auf die praktischen Übungen und giebt genaue Anweisung, wie man die Jugend dazu hinleiten sollte (*Did. magna*, XXI).

Sieht man freilich genauer zu, wie Comenius den Unterricht in den Realien gestaltet, so zeigt sich, dass er noch weit von dem entfernt ist, was wir heute unter der naturwissenschaftlichen Methode verstehen. In seiner lateinischen Schule will er der eigentlichen Naturlehre (Physik) eine Metaphysik (oder Prophysik) vorausschicken. Diese solle „die ersten und untersten Grundlagen der Natur aufdecken, die notwendigen Erfordernisse, Attribute, Unterschiede aller Dinge, nebst den allgemeinsten Normen aller Dinge, Begriffsbestimmungen, Grundsätzen, Vorbildern und Zusammenfügungen“. Dann erst möge man zu der Betrachtung der sichtbaren Welt übergehen, „damit die wunderbaren Naturerscheinungen in besonderen Beispielen mehr und mehr offenbar werden“. — Comenius hat auch, nach seinen Diktaten im Gymnasium zu Lissa, eine Naturlehre unter dem Titel *Physicae ad lumen divinum reformatae synopsis* (1633) veröffentlicht. Im Vorwort bekennt er, dass er in Bacon das strahlendste Licht des aufgehenden neuen Jahrhunderts erblicke. Er weiss, dass man zum Wissen von der Natur gelangt, indem man die Natur selbst erforscht, d. h. untersucht, wie und aus welcher Ursache ein Jegliches in der Natur geschieht; aber in der Ausführung unterscheidet sich seine Physik nicht allzusehr von den peripatetischen Lehrbüchern des 17. Jahrhunderts. Der Inhalt umfasst, ausser einer Einleitung über Wesen und Nutzen der Physik, folgende zwölf Kapitel: Die Idee der Welterschöpfung und der erschaffenen Welt; die Prinzipien der Welt, Materie, Geist und Licht; die Bewegung der Dinge; die Eigenschaften der Dinge; die Veränderungen der Dinge; die Elemente; die Dünste; die leblosen Naturkörper; die Pflanzen; die Tiere; der Mensch; die Engel. Einige Beispiele werden einen Begriff von der Art der Durchführung geben. In dem Kapitel *de rerum motu* werden neun Arten der Bewegung unterschieden: *motus expansionis*, erläutert durch die Erwärmung einer kleinen Menge Wasser in einer verschlossenen Schweinsblase; *m. contractionis*; *m. aggregationis* (Wassertropfen); *m. sympathiae et antipathiae* (Magnet, Sahne auf Milch, Sonderung verschieden schwerer Metalle beim Schmelzen); *m. continuitatis* (Einsaugen von Wasser in ein Rohr); *m. impulsionis* (Wasser durch einen fallenden Stein von der Stelle gedrängt); *m. liberationis* (Schwanken der Wage); *m. libertatis* (Zurückschnellen eines gebogenen Zweiges). In dem Kapitel *de rerum qualitativibus* wird u. a. eine Erklärung der Wärme gegeben, die (ähnlich der baconischen) nahe an heutige Vorstellungen anklingt: *calor est minutissimarum materiae partium motus in se reverberatus, millenarum cuspidum instar tactum penetrans et lacerans*. Dies wird durch drei Gründe bewiesen: weil es nichts giebt, was beständig warm oder kalt wäre; weil die Sinnesempfindung selbst es bestätigt; und weil Körper, die oft erwärmt wurden, selbst Metalle, an Masse wie an Gewicht abnehmen, bis sie endlich sogar ganz verzehrt sind! In der Lehre von den Elementen werden *aether*, *aër*, *aqua*, *terra* aufgezählt und deren Verwandelbarkeit in einander, sowie ihre Zusammensetzung aus Atomen behandelt. Im Kapitel von den Dünsten werden als Ursache von Ebbe und Flut unterirdische Dünste angegeben. So bewegt sich fast durchweg die Naturerklärung im Gebiet blosser Möglichkeiten, das baconische Verfahren des Zusammentragens von Materialien erweist sich auch hier als unvermögend, zu einem wirklichen Fortschritt der Erkenntnis zu verhelfen. Noch waren die *Discorsi* Galileis nicht erschienen, mit denen die Physik im heutigen Sinne erst anhebt. Wie Bacon beschränkte sich auch Comenius darauf, Forderungen aufzustellen und Verheissungen auszusprechen, die erst spätere Jahrhunderte mit vollkommeneren Mitteln der Forschung erfüllen konnten. Selbst der kopernikanischen Lehre stand er, ebenso wie seine grossen Lehrmeister Campanella und Bacon, ablehnend gegenüber. Aber die Bedeutung einer tieferen Befassung mit den Dingen selbst nachdrücklich geltend gemacht zu haben, wird immer als ein hohes Verdienst des Comenius bestehen bleiben.

4. Unterricht und Methode.

Der Universitätsunterricht und die Astronomie. Über dieses Thema hat Professor W. FÖRSTER bei Übernahme des Rektorats an der Berliner Universität eine Rede gehalten, in deren Verlauf er auch auf die Bedeutung der Astronomie für den Schulunterricht zu sprechen kommt.

„Für die Ausbildung der mathematischen Lehrer an den höheren Schulen ist es von hoher Wichtigkeit, dass sie einen gewissen Grad astronomischer Orientierung als untrennbar zu ihrem mathematischen Universitätsstudium gehörig besitzen. Gewiss kann das Studium der mathematischen Physik und insbesondere auch die Beschäftigung mit der Experimentalphysik ihnen selbst mindestens dieselbe Belebung und Ergänzung des rein mathematischen Studiums gewähren, als die Astronomie, aber für die jungen Seelen, auf welche der mathematische Lehrer in den höheren Schulen wirken soll, und die ihm meist so spröde gegenüberstehen, ist und bleibt das Gebiet der Himmelserscheinungen, ganz im Sinne des Eindrucks, welchen die junge Menschheit von den Himmelserscheinungen hatte, eine Idealwelt, die sie anzieht und entzückt.“ —

„Nichts erscheint mehr geeignet, in unseren höheren Schulen die Teilnahme an der Mathematik zu wecken und zu nähren, den Eindruck der Willkür, der zwecklosen Quälerei, welchen erfahrungsmässig die Anfänge mathematischen Lernens in den jungen Gemütern hervorrufen, in freudiges Interesse zu verwandeln, als wenn man schon in sehr frühen Stadien dieses Unterrichts, mit bedeutender Einschränkung des Breittretens der Anfangsgründe, arithmetische und geometrische Beispiele aus den Erscheinungen der Himmelswelt heranzieht und alsdann viel schneller als jetzt, immer an der Hand von einfachen Aufgaben aus der astronomischen Praxis und Forschung, zu solchen Zweigen der Mathematik aufsteigt, welche schon eine befriedigende Bearbeitung gewisser elementarer, aber in Folge der Weite ihres Horizontes in Zeit und Raum höchst weihervoller astronomischer Aufgaben gestatten.“

Wenn der Herr Verfasser noch hinzufügt, dass in dieser Hinsicht in den mathematischen Unterrichte der höheren Schulen keine Fortschritte, sondern sogar empfindliche Rückschritte gemacht worden seien, so dürfen wir wohl dem gegenüber auch hervorheben, dass diese Zeitschrift von Anbeginn an es an mannigfachen Hinweisen und Anregungen zu grösserer Heranziehung der Astronomie nicht hat fehlen lassen.

In einer dann folgenden Darlegung des Wertes, den das allgemeine wissenschaftliche Studium auf der Universität für die den höheren Berufsarten sich Zuwendenden hat, wird neben Philosophie und Geschichte die Naturwissenschaft gebührend gewürdigt. „Auch wissenschaftliche Studien, zumal Einblicke in die Methode und Kritik der Naturforschung und in ihre goldenen Lehren von den Fehlerquellen menschlichen Wahrnehmens und Urteilens, werden eine wichtige Mitgabe für die in Rede stehenden Berufsarten sein. Durch alle diese Mitgaben, welche vorzugsweise der Universitätsunterricht bieten kann, werden gerade gegenüber der Unruhe und Hast des Erwerbs- und Verkehrslebens diejenigen höchsten leitenden Eigenschaften und Betätigungen kultiviert, welche in der grössten Energie des Menschen, in der planvollen Geduld gipfeln.“

Der Aufgabe des Lehrers an höheren Schulen bringt der Herr Verfasser eine hohe Wertschätzung, die zugleich einen hohen Anspruch enthält, entgegen: „... Denn ihm ist die Ersatzbildung der gesamten höchsten Geisteskräfte der Nation, die immer erneute Erziehung zur Gesittung und zur Freude an den höchsten Aufgaben des Lebens vor allen Andern anvertraut. Er bedarf am allermeisten der Stille der Seele, des Reichtums und der Tiefe der Anschauungen, welche allein einen begeisternden und wahrhaft förderlichen Einfluss auf die Jugend der höheren Schulen begründen. Gerade für ihn kann der Universitätsunterricht nicht genug an die letzten Quellen des Denkens und Wissens gehen, gerade für ihn bedarf es am meisten des Universitätslehrers, der viel weniger ein Pädagoge, als ein ernster und strenger Denker ist.“

Der Vortrag schliesst mit „frommen Wünschen“, dafür, dass dem Lehrer, wenn er

in sittlicher Freudigkeit dem Ideal der Geistesbildung dienen solle, auch die entsprechende Lebens- und Arbeitsbedingungen gewährt werden sollten; insbesondere wird Schutz vor Überbürdung und vollste geistige Freiheit in Anspruch genommen. Für das, was er von den Lehrern und für die Lehrer fordert, ist dem zeitigen Rektor der Universität Berlin der freudige Dank aller, die sich diesem Berufe gewidmet haben, gewiss. P.

Die erste Unterrichtsstunde über den Galvanismus. Vom *Journal de Physique élémentaire* war nuter der Bezeichnung concours Volta ein Preis für die beste Lösung der folgenden Aufgabe ausgeschrieben worden: *Première leçon élémentaire sur la pile électrique*. Unter acht eingegangenen Arbeiten wurde die von M. NOUGARET in Périgueux herrührende preisgekrönt und im *Journ. de Phys.* (VII, No. 3, 1891) veröffentlicht. Der Gang der Darstellung ist folgender:

Aus der Lehre von der statischen Elektrizität sind die folgenden beiden That- sachen bekannt: 1. Zwischen zwei isolierten Conductoren von gleichem Potential findet Gleichgewicht statt, wenn man sie durch einen Draht verbindet. 2. Zwischen ebensolchen Conductoren von ungleichem Potential findet ein Ausgleich statt, den man dadurch erklären kann, dass positive Elektrizität vom Leiter höheren Potentials zum Leiter niedrigeren Potentials übergeht. Nennt man die Potentiale V und V' , so kann man $V - V'$ als Ursache des Überganges betrachten und als elektromotorische Kraft bezeichnen.

Würde man durch irgend ein Mittel die Potentiale V und V' constant erhalten können, obwohl die beiden Leiter durch einen Draht verbunden sind, so würde in dem Draht ein continuierlicher Übergang von Elektrizität stattfinden, d. h. ein elektrischer Strom fließen müssen. Man kann dies Ziel durch eine Holtzsche Maschine erreichen; der erzeugte Strom vermag einen Draht zu erwärmen, Wasser zu zersetzen, ein Salz zu zersetzen u. s. w. „Durch die Umdrehung der Maschine erhalten wir eine constante elektromotorische Kraft zwischen den beiden Polen, der Verbindungsdraht wird von einem Strom durchflossen, der gewisse Wirkungen hervorbringt, und die Energie dieses Stromes rührt von der Arbeit her, die zur Umdrehung der beweglichen Teile der Maschine verbraucht wird“ — Wenn andere Vorrichtungen benutzt werden, um eine constante Potentialdifferenz zwischen zwei leitend verbundenen Conductoren zu bewirken, so wird der erzeugte Strom stets Wirkungen irgendwelcher Art hervorbringen können; die Vorrichtung muss also auch geeignet sein, einen gewissen Betrag von Energie zu liefern, der dem Stromverbrauch äquivalent ist, da Energie weder geschaffen noch zerstört werden kann. Solche Vorrichtungen werden mit dem allgemeinen Namen Ketten bezeichnet.

Erstes Beispiel: Kupfer und Zink in verdünnter Schwefelsäure. Die Energie wird durch die Auflösung des Zinks geliefert. Würde man die Kette samt Schliessungs- kreis in ein Calorimeter setzen, so würde man für je 33 g Zink eine Wärmeentwicklung von 18 Calorien finden. Setzt man dagegen nur die Kette selbst in das Calorimeter und lässt im äusseren Stromkreis irgendwelche Arbeit leisten, so zeigt das Calorimeter eine entsprechend geringere Wärmeentwicklung für die gleiche Zinkmenge an. Der Apparat ist einer Dampfmaschine vergleichbar, wo der Wasserdampf die aus den Brenn- stoffen aufgenommene Wärme in den Pumpencylinder führt und einen Teil davon in Arbeit verwandelt. — Zweites Beispiel: Ein Thermoelement aus Antimon und Wismuth giebt bei Forträumung der Lötstelle einen Ausschlag am Elektrometer. Schliesst man den Kreis durch einen Draht, so erhält man in diesem einen Strom, der ähnliche Wirkungen wie der vorige hervorbringt. Die dazu nötige Energie wird von der Wärmequelle an der Lötstelle geliefert. — Diese Beispiele lehren, ebenso wie die Holtzsche Maschine, dass für Erzeugung eines continuirlichen Stroms mechanische, chemische oder calorische Energie aufgewandt werden muss, und dass der Strom diese Energie nach den verschiedenen Stellen des Schliessungskreises befördert.

Neben der Energiequelle kommt als zweite Bedingung für das Entstehen eines Stromes die Potentialdifferenz zwischen zwei Körpern in Betracht. Für diese gelten die folgenden Gesetze, welche die Voltasche Contacttheorie ausmachen:

1. „Wenn zwei heterogene Körper zur Berührung gebracht werden, so nehmen sie verschiedene elektrische Zustände an, es stellt sich zwischen ihnen eine Potentialdifferenz her.“ (Versuch mit Kupfer und Zink am Elektrometer.)

2. Diese Potentialdifferenz hängt allein von der Natur und der Temperatur der beiden Körper ab; sie ist unabhängig von ihrer Ausdehnung, von ihrer Form und von der Grösse der sich berührenden Oberflächen. (Versuche erwähnt.)

3. Das Gesetz der Spannungsreihe. Anwendung auf den Fall, dass die Enden einer Kette von Metallen aus demselben Metall bestehen, und auf geschlossene Ketten derselben Art.

4. Ausnahmen vom Gesetz der Spannungsreihe. Dies Gesetz erscheint nur dann als notwendig, wenn in dem Kreise keine Energiequelle vorhanden ist. Ist aber eine solche vorhanden, so wird ein Strom möglich sein. Kupfer und Zink in verdünnte Schwefelsäure getaucht. Nachweis der Potentialdifferenz an den freien Polen.

Die Potentialdifferenz an den freien Enden einer Kette gehorcht insofern auch dem Voltaschen Gesetz, als die Potentialdifferenz an jeder Kontaktstelle einen unveränderlichen Wert hat und die Differenz zwischen den freien Enden gleich der Summe der Differenzen an den einzelnen Kontaktstellen ist. Diese Differenz zwischen den freien Enden wird elektromotorische Kraft der Kette genannt. Sie hängt ebenfalls von der Natur der Kontaktstellen, aber nicht von ihrer Ausdehnung ab; man nennt sie deshalb eine Constante der Kette. —

Dieser interessanten Darlegung können wir insofern völlig beistimmen, als die Potentialdifferenz an den Polen einer offenen Kette unzweifelhaft den Ausgangspunkt für jede gründlichere Einführung in den Galvanismus bilden muss. Dagegen erblicken wir in der Erörterung der Rolle, welche die Energie bei der Entstehung des galvanischen Stromes spielt, keinen geeigneten Stoff für eine erste Unterrichtsstunde; denn dieser Gegenstand setzt zu seinem Verständnis die Kenntnis der chemischen Vorgänge in der Kette und überdies die Kenntnis der mannichfachen Energieverwandlungen im Stromkreise voraus, gehört also viel mehr an das Ende, als an den Anfang des Unterrichtes. Wäre die Forderung gestellt worden, die Quintessenz des Galvanismus in einer einzigen Vorlesung populär darzustellen, so würde diesem Zwecke die vorstehende Lösung aufs glänzendste entsprochen haben.

P.

Das Kochsalz im mineralogischen Anfangsunterricht. Das Programm des evangelischen Gymnasiums zu Hermannstadt (Ostern 1891) enthält eine sehr lesenswerte Abhandlung von JOSEF SCHALLERUS über das Kochsalz als ersten Körper im mineralogisch-chemischen Unterricht der dritten Klasse einer Mittelschule. Die grosse Verschiedenartigkeit der Lehrpläne und Lehrbücher in Bezug auf Umfang, Auswahl und Anordnung des mineralogischen Lehrstoffes deutet, wie der Verfasser mit Recht bemerkt, darauf hin, dass vielfach noch grosse Unklarheit über die zweckmässige Verwendung der Mineralogie im Unterricht besteht. Der Hauptübelstand aber scheint zu sein, dass die Schulmineralogie noch nicht von den Fesseln des wissenschaftlichen Systems erlöst ist; wenn dieser Unterricht vorwiegend dogmatisch erteilt wird und auf Einprägung technischer Vorbegriffe oder dürre Klassifizierungen hinausläuft, so ist es besser, dass er ganz unterbleibt; selbst das Vorzeigen der schönsten Mineraliensammlung kann ihn dann nicht von dem Fluche der Unfruchtbarkeit erretten. Dem Verfasser schwebt dagegen als Ziel vor, den mineralogischen Unterricht zu einem propädeutischen Kursus über die leblose Natur überhaupt zu gestalten. Er will die Mineralogie nicht systematisch, sondern in Einzelbildern, gleichsam biographisch, behandelt sehen. Er erkennt, wie auch schon die österr. Instrukf. f. Gymn., im Kochsalz den geeignetsten Körper für den Beginn eines solchen Unterrichtes und weist im Einzelnen aufs eingehendste nach, dass das Kochsalz von allen Mineralien die meisten Anschauungen für den Unterricht zu bieten vermag, sowie auch, dass es am geeignetsten ist, die Selbstthätigkeit der Schüler zu wecken. Es bietet ferner die beste Grundlage für die kristallographische Seite des mineralogischen Unterrichtes; denn jeder

Schüler kann mehrere ausgebildete Krystalle in die Hand bekommen und solche leicht selber aus Lösungen gewinnen. Für die Versuche über Lösung und Krystallisation wird eine ganze Reihe von Anweisungen gegeben, die sich auf Concentration, Sättigung, Temperatureinfluss, Schnelligkeit der Verdunstung, Krystallisation unter -10° , Wachstum der Krystalle u. s. w. beziehen.

Namentlich aber hebt der Verfasser die Bedeutung des Kochsalzes für die physikalische Seite des Unterrichts hervor. Die Wissenschaft muss allerdings in der Naturlehre die Kenntnis der Körper, und in der Mineralogie physikalische Kenntnisse voraussetzen. Anders verhält es sich aber im Schulunterricht. Dieser hat nicht Anschauungen vorauszusetzen, sondern zu erzeugen, wodurch die einzelnen Disziplinen nur zum Vorteile der Schüler in enge Wechselbeziehungen treten. So hat der mineralogische Unterricht nicht zu warten, bis die Physik ihm die nötigen Anschauungen bereitet, sondern er soll diese einfach selbst schaffen. „Der mineralogische Unterricht bedarf physikalische Lehren zur Ausschmückung seines Hauses, der physikalische Unterricht dagegen mineralogische Lehren zur Grundlage des seinigen. Mithin dürfte man vielleicht mit ebensoviel Recht Mineralogie als notwendige Voraussetzung für den physikalischen Unterricht verlangen als umgekehrt. — Es liegt in dem Interesse einer jeden Disziplin, sich nicht egoistisch gegen ein verwandtes Gebiet abzuschliessen und ängstlich alle Berührung zu meiden, sondern geradezu alle natürlichen Berührungspunkte auszubeuten, damit die gewonnenen Anschauungen und Vorstellungen um so richtiger, zahlreicher und fester in der Seele haften. — In der Verknüpfung des mineralogischen Anfangsunterrichts mit physikalischer Propädeutik ist daher ein grosser Vorteil für den physikalischen, ein nicht minder grosser für den mineralogischen und der allergrösste Vorteil für den Gesamtunterricht zu erblicken.“ Der Verfasser trifft hier mit W. Zopf (*d. Zeitschr.* V, 20) zusammen, der in seinem „naturwissenschaftlichen Gesamtunterricht“ gleichfalls bereits Schüler von 12—14 Jahren (unsere Quartaner und Untertertianer) mit chemisch-physikalischen Anfangsgründen bekannt machen will.

Im Einzelnen werden dann die physikalischen Anknüpfungen, zu denen das Kochsalz Gelegenheit giebt, besprochen und zwar im Hinblick auf: Gestalt, Farben, Glanz, Durchsichtigkeit, Geschmack, Geruch, Spaltbarkeit und Bruch, Festigkeit, Dichte und spezifisches Gewicht, Verhalten gegen die Wärme, Verhalten gegen Wasser. In diesen Abschnitten findet man eine Fülle anregender methodischer Bemerkungen, die sich überall da mit Vorteil werden verwerten lassen, wo dem mineralogisch-physikalischen Vorkursus ein grösserer Spielraum gegönnt ist. P.

5. Technik und mechanische Praxis.

Ein neues Material für elektrische Widerstände. Die bisher für elektrische Widerstände am meisten verwendete Legierung aus Kupfer, Nickel und Zink, das Nickelin, hat einen mit der Temperatur stark veränderlichen Widerstand und neigt überdies zu krystallinischer Strukturveränderung. Untersuchungen von K. FEUSSNER in der technischen Reichsanstalt haben ergeben, dass zinkfreie Kupfer-Nickellegierungen sich günstiger verhalten. Der Temperaturcoefficient solcher Legierungen ist mit dem Nickelgehalt veränderlich, wird bei ca. 40 % Ni Null, dann negativ, und geht bei 48° wiederum durch Null. Die Legierung mit 40 % Ni hat den Namen „Constantan“ erhalten; sie lässt sich zu Drähten bis 0,04 mm Stärke ausziehen, ist sehr widerstandsfähig gegen chemische Einflüsse und kann bis 200° erhitzt werden ohne anzulaufen. Messwiderstände aus diesem Metall werden sich in der Praxis verwenden lassen, um selbst sehr beträchtliche Stromstärken mit sehr grosser Genauigkeit direkt zu bestimmen. Auch eine Legierung von Cu mit 10—30 % Mn, „Manganin“ genannt, zeigt gerade bei Zimmer-temperatur einen sehr geringen Temperaturcoefficienten und eignet sich daher für Messwiderstände.

Elektrot. Zeitschr. XIII. No. 8, 1892.

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Grundriss der Naturlehre für die oberen Klassen der Mittelschulen von Dr. E. Mach, o. ö. Prof. a. d. deutschen Karl Ferdinands-Universität in Prag. Ausgabe für Gymnasien. Mit 358 Abbildungen. Fl. 1,40, geb. Fl. 1,60. Prag und Wien F. Tempsky, Leipzig G. Freytag. 1891.

Im IV. Jahrgang S. 105 dieser Zeitschrift ist kurz angezeigt worden, dass von MACH-JAUMANN'S Grundriss der Naturlehre (1890) zunächst nur eine „vorläufige Ausgabe“ erschienen, die definitive Ausgabe aber erst nach Approbation durch das k. k. österr. Ministerium zu erwarten sei. Eine solche Approbation ist dem Buche in seiner ersten Gestalt nicht erteilt worden (es ist hernach unter dem Titel: „Leitfaden der Physik für Studierende“ 1891 herausgegeben worden), sondern erst der nun vorliegenden, um 67 Seiten gekürzten Ausgabe, in der nur das astronomische und meteorologische Kapitel von Herrn Dr. G. JAUMANN und das chemische von Herrn Professor Dr. C. BRUNNER verfasst worden sind.

In der erwähnten vorläufigen Anzeige nannte der Herausgeber d. Zeitschr. das Werk ein solches, „in dem wir ein erstaunlich reiches Material durch elementare und zugleich strenge Darstellung bewältigt finden“. Ich kann über die nunmehr vorliegende Ausgabe, nach welcher ich vom nächsten Herbst an selbst den Unterricht in der VII. und VIII. Gymnasialklasse zu erteilen gedenke, jene lobenden Worte nur mit vollster Überzeugung wiederholen und wünsche in auch nur annähernder Vollständigkeit den Fachgenossen ein Bild von der Fülle weiterer Vorzüge geben zu können, welche MACH'S Werk im Vergleiche zu sämtlichen mir bekannten Lehrbehelfen für den physikalischen Unterricht der genannten Stufe besitzt. Indess scheint es mir dem Werte des Geschenkes, das die Schule einem Forscher von der Bedeutung MACH'S zu danken hat, besser angemessen, wenn wir auch jetzt noch uns auf eine vorläufige Anzeige beschränken und uns vorbehalten, jenes Bild erst dann näher auszuführen, wenn dies auf Grund der Erprobung des Buches im Unterricht wird geschehen können. Ich verhehle dabei nicht, dass ich schon jetzt meine, es werde vielleicht manche Partie (so die Ableitung der Formel v^2/r nach der Vektormethode, die Einführung des Begriffes Trägheitsmoment nach Huygens Pendelrechnung) den Schülern grössere Schwierigkeiten machen, als nach herkömmlichen Methoden: aber auch hierüber möchte ich mich erst durch die Erfahrung belehren lassen.

Es bedarf somit für jetzt nur der Anführung einiger derjenigen „wichtigsten Gesichtspunkte“, welche der Verf. im Vorwort selbst hervorhebt; und Ref. hat nur zu bestätigen, dass die hiermit gegebenen Versprechungen im Texte selbst vollauf eingelöst sind. MACH sagt: 1. Die Begriffe werden nicht dogmatisch eingeführt, sondern unter dem Eindruck derjenigen Tatsachen entwickelt, welche zu denselben hingedrängt haben, und welche umgekehrt durch jene Begriffe eine Aufklärung erfahren haben. Theorien und Hypothesen kommen erst dort zur Sprache, wo ein Bedürfnis für dieselben fühlbar wird. Wenn auch nicht durch Einfügung vieler Namen und Jahreszahlen, so tritt doch durch diese genetische Darstellung das historische Moment in seine Rechte ein. Metaphysische Unklarheiten und müssige Hypostasierungen werden hierdurch ferngehalten. . . . 3. Ein Übermass von Formeln und lange mathematische Entwicklungen, welche die Einsicht nicht fördern, sondern die Übersicht erschweren, Täuschungen über die Bedeutung des mechanischen Rechnens und somit eine Belastung des Intellekts herbeiführen, wurden vermieden. Wo Entwicklungen vorkommen, wird sich der Schüler mehr anstrengen müssen; er dürfte aber dafür auch einen wirklichen Gewinn davontragen. . . . Unter 5. weist Verf. auf dasjenige Verhältnis zwischen psychologischem Vorgehen und logischer Verschärfung hin, das er in dieser Zeitschrift (IV. S. 1ff.) eingehend begründet hat.

Um übrigens nur einige wenige konkretere Belege für das nicht etwa nur der Form, sondern dem ganzen Geiste der Darstellung nach Neue zu geben, was einem nach dem Buche erteilten physikalischen Unterrichte fürderhin charakteristisch sein wird, erwähnen wir: Die eng an GALILEI'S Gedankengang sich anschliessende Einführung in die Grundvorstellungen der Phonomie und Dynamik (so insbesondere S. 18 die Einführung des Trägheitsgesetzes durch die Betrachtung der Bewegung eines Körpers, der mit bestimmter Anfangsgeschwindigkeit an immer weniger steilen schiefen Ebenen emporsteigt); die Darstellung der Elektrizitätslehre, in welcher das X. Capitel „Von der Elektrizität“ (wo der Beisatz „statisch“ wohl nur weggelassen ist, weil er hier dem Schüler noch nichts sagen würde) zuerst eine zum Teil noch an die ältere dualistische Auffassung sich anlehrende Vorführung der Hauptthatsachen (§§ 267–278) und hierauf (von §§ 279–290) eine bewundernswert prägnante Darstellung der Maassbestimmungen an der Hand des Potentialbegriffes giebt (— man vergleiche etwa die Folgerungen aus dem Begriff der Kraftöhre

S. 202). Erst nach der Elektrostatik folgt der Magnetismus; es ist hiermit eine Umstellung vollzogen, die wohl Mancher schon seit Längerem auch dem Schulunterricht zugänglich gemacht zu sehen gewünscht haben mag; „denn 1. lassen sich viele elektrostatische Gesetze ohne weiteres auf dieses Gebiet übertragen, 2. ist Alles analog der Influenz von elektrischen Isolatoren, 3. hat man Alles, was man braucht, für den Galvanismus bereit“. — Im astronomischen Kapitel werden die Kepler'schen Gesetze auf Grund eines reichlichen Materiales von Zeichnungen und Beschreibungen „scheinbarer“ Planetenbewegungen Schritt für Schritt durch Auflösung der Schleifenbildungen in die fortschreitende und kreisende Bewegung mit einer Sorgfalt entwickelt, welche das hergebrachte dogmatische Gerode von Ellipsen, Umlaufzeiten, mittleren Entfernungen u. s. f., von denen der Schüler nicht einmal ahnen konnte, wie man dazu komme, geradezu beschämt.

Das eigentlich Originelle in MACHS Darstellung aber, was alle Arbeiten dieses um die erkenntnistheoretische Durchdringung seiner Wissenschaft kaum minder als um deren unmittelbare Bereicherung verdienten Forschers auszeichnet, prägt sich auch wieder in dem vorliegenden elementaren Werke in fast zahllosen Feinheiten der Einzeldarstellung aus, über die ein auszugswieser Bericht kaum möglich ist. Man lese nur z. B. den Anfang von § 80 „Newton ist es gelungen, diese Keplerschen Gesetze zu erklären. Aus Galileis Untersuchung folgt, dass ein Körper, der sich krummlinig bewegt, von einer Kraft nach der hohlen Seite der Bahn angetrieben werden muss. Die Planeten erfahren also (nach dem 1. Gesetz) fortwährend Beschleunigungen gegen die Sonne hin. Diese Ansicht wird durch das 2. Gesetz bestätigt.“ U. s. f. Wie unmittelbar wird durch diese knappen Worte an die Anschauung appelliert, und sogleich das für die theoretische Erfassung des Vorganges wesentliche herausgehoben. Ähnliche Knappheit zeichnet die Ableitung der Formel für die barometrische Höhenmessung (S. 83), die von uns bereits letzthin (*V*, S. 125) erwähnte für die Anziehung einer Kugelfläche (S. 199) — ja mehr oder weniger alle die Ableitungen aus, welche in älteren Büchern nicht selten ganze Seiten ausfüllten.

Eine andere Eigentümlichkeit, die freilich ohne Zweifel starken Widerspruch finden wird, ist die Kürze der Erwähnung bezw. die völlige Übergang, welche zahlreiche technische Anwendungen der Physik erfahren, denen sonst mit Vorliebe ausgiebige Erörterung auch im Gymnasialunterricht gewidmet zu werden pflegte. So sind die Maschinen (S. 35—38) nur in einigen wenigen typischen Beispielen vorgeführt; Schnellwage, Decimalwage, der gewöhnliche Flaschenzug, Birnbarometer, Dosenaneroïd, die Heber, Wasserpumpen, Spritzen, Spiegelteleskope, Camera obscura, Sonnenmikroskop u. dgl. m., sind ganz übergangen. Ein Teil hiervon wird ja auf der Unterstufe abgethan; aber selbst wo dies nicht zutrifft, wage ich es, mich zur Auffassung des Buches zu bekennen. Und zwar das auf Grund einer sehr deutlichen Erinnerung an den Eindruck, den ihm während seiner eigenen Schulzeit das wochenlange Verweilen bei dergleichen „praktischen Anwendungen“ gemacht hat: es wollte mir schon damals scheinen und ich habe diesen Eindruck seither nie mehr loswerden können, als gebe man sich einer wunderlichen Verwechslung hin, wenn man meint, dergleichen Dinge, die ja der Mittelschüler nur zum kleinsten Teil in ihrer wirklichen praktischen Verwendung zu sehen bekommt, geschweige denn, dass er sich selbst in solcher Verwendung bethätigen könnte, müssten ihm auch nur annähernd so interessant und lehrreich sein als Demjenigen, zu dessen täglichen Gebrauchsgegenständen jene „Anwendungen“ gehören. Es ist ein richtiger „Schnitt in einen Schulzopf“, den Mach geführt hat, wenn er sich ganz vorwiegend an dasjenige „theoretische“ Interesse auch schon beim Schüler wendet, das vorläufig unbekümmert um die „Anwendung“ im Anschauen der Thatsachen und in ihrer begrifflichen Bearbeitung einen intellektuellen Genuss zu finden vermag, dem die praktischen Früchte gegebenenfalls noch immer rechtzeitig nachreifen werden.

Diese Verschiebung der für den physikalischen Unterricht hergebrachten Stoffwahl ist indes nur ein verhältnismässig noch untergeordneter Teil der ganzen Reform, die wir durch MACHS Buch wirksamer als es irgend sonst möglich gewesen wäre, angebahnt zu sehen hoffen. Ja sie wird selbst andere Lehrfächer, zunächst die Mathematik, in ihre Kreise ziehen. Z. B. die ausgiebige Verwertung graphischer Darstellungen (nach GALILEI) auch schon für die gleichförmigen und die gleichmässig beschleunigten Bewegungen (S. 12 und späterhin) wird es unabweislich machen, einige Grundvorstellungen der analytischen Geometrie gleich zu Beginn der VII. Klasse zu entwickeln und überhaupt den Schüler während des ganzen Physikunterrichtes immer mehr an den Funktionsbegriff zu gewöhnen; die Veranschaulichung des Mariotte-Gay-Lussacschen Gesetzes (S. 178 ff. — vgl. auch *diese Zeitschrift V*, S. 138) wird einiges Eingehen auf dreiaxige Coordinatensysteme erheischen (— ein solches ist ebenfalls gleich am Anfang gebraucht, S. 9, wie es sich auch schon bei HANDL u. a. findet); und wichtiger als derlei Einzelheiten ist die im ganzen Buch

vorausgesetzte Befreiung des mathematischen und physikalischen (und somit weiterhin auch alles übrigen) Denkens vom Formalismus jeder Art, wie er in dieser Zeitschrift schon öfters (*III, S. 105* u. a.) gekennzeichnet, beklagt und bekämpft worden ist.

Wir geben uns ebensowenig wie wohl auch der Verfasser einer Täuschung darüber hin, dass so rasche und kühne Schritte nicht alle Beteiligten — Schüler, Lehrer und Schulbehörden — immer gern und gleich mitmachen. Um so lebhafter müssen alle, denen es zweifellos feststeht, dass die Entwicklung des physikalischen Unterrichts nur in der vom Verfasser eingeschlagenen Richtung, nämlich in der eines immer entschiedeneren Herausarbeitens der eigentlichen Bildungswerte, also in der Richtung des Fortschrittes der Wissenschaft selbst vorwärts, und nun und nimmer zu den aus vermeintlich pädagogischen Rücksichten gebotenen Traditionen zurück führen könne, dem verehrten Forscher danken, dass er, wie durch die thätige Anteilnahme an dieser Zeitschrift, so nun auch durch sein Lehrbuch dem Gedeihen des elementaren Unterrichtes neuerdings seine unermüdliche Fürsorge zugewendet hat.

A. Höfler, Wien.

Lehrbuch der Physik. Von J. Violle. Deutsche Ausgabe von E. Gumlich, L. Holborn, W. Jaeger, D. Kreichgauer, St. Lindeck. I. Teil: Mechanik. 1. Band: Allgemeine Mechanik und Mechanik der festen Körper. Mit zahlreichen in den Text gedruckten Figuren. XVI und 496 S. Berlin, J. Springer, 1891. M. 10,—.

Das vorliegende Lehrbuch teilt mit früheren französischen Lehrbüchern die Klarheit und Eleganz der Darstellung; es übertrifft sie durch die ausnehmend glückliche Vereinigung der theoretischen und der praktischen Seite des Gegenstandes. Es scheut in der theoretischen Behandlung nicht vor der Benutzung der höheren Mathematik zurück und gewährt dadurch den Entwicklungen zugleich Knappheit und Strenge, ohne doch die Rechnung für etwas anderes als ein Werkzeug im Dienste der Physik anzusehen. Es vermeidet andererseits die Gefahr der deduktiven Einseitigkeit, die heut durch die verführerische Stellung des Energieprinzips nahe gelegt ist; es heisst vielmehr in der Vorwort ausdrücklich: „es würde nur einen scheinbaren Vorteil gewähren, aus jenem Prinzip die ganze Physik abzuleiten . . . Vor allem aber ist es wichtig, den Verlauf der Energieverwandlungen selbst kennen zu lernen, und nur das Experiment vermag uns diese Kenntnis zu verschaffen“.

Dieser besonnenen Auffassung entspricht auch die Behandlung des Stoffes im Einzelnen. Die Statik ist der Dynamik vorangestellt, wie auch die Begründung der Statik durch Archimedes achtzehn Jahrhunderte früher erfolgte, ehe Galilei die Fundamente der Dynamik legte. In der Kinematik findet man u. a. auch den wichtigen Satz von Coriolis. In der Dynamik ist der Begriff der fingierten Kräfte (unsern Lesern aus mehreren Aufsätzen von M. Koppe bekannt) mehrfach verwendet. Die Centrifugalbeschleunigung wird nach der Hodographenmethode entwickelt. Musterhaft behandelt ist weiterhin trotz der Kürze die Theorie der Messinstrumente (S. 295—336), ebenso die Elasticitätstheorie (S. 356—391).

Am rühmenswertesten ist, dass mit dem Prinzip gebrochen wird, es müsse ein Lehrbuch lediglich eine Darstellung des augenblicklichen Standes der Wissenschaft sein. Vielmehr wird bei allen wichtigen Problemen auf die historische Entwicklung zurückgegriffen und gezeigt, wie die Erkenntnisse geworden sind, aus denen sich das Gebäude der heutigen Physik zusammensetzt. Das Buch ist durch diesen Vorzug allein mehr als viele andere vor dem Veralten geschützt. Von vielen Beispielen sei hier nur erwähnt, dass die Versuche Galileis mit der schiefen Ebene genau auseinandergesetzt und als ein „Muster für die richtige Methode der physikalischen Forschung“ bezeichnet werden. Doch wird leider auch hier Galilei irrigerweise die Hypothese von der kontinuierlichen und constanten Wirkung der Schwere zugeschrieben (vgl. *d. Zeitschr. V, 123* und *d. Heft S. 220*). Auch dass Kepler ein Beharrungsgesetz im Galileischen Sinn gekannt, geschweige denn formuliert habe, ist nicht zutreffend, wie man aus Wohlwill's auf S. 220 dieses Heftes genannter Schrift ersehen kann. Dass Irrtümer solcher Art selbst in den vorzüglichsten Werken vorkommen können, zeigt wie weit wir noch von einer quellenmässigen Behandlung der Geschichte der Physik und sogar von der Verwertung vorhandener Quellenstudien entfernt sind.

Die Herausgeber haben sich um das Werk noch besonders verdient gemacht durch eine Reihe von Zusätzen, die sich zumeist auf neuere, namentlich deutsche Forschungen beziehen. So sind gelegentlich der Dichte der Erde neben den Versuchen von Jolly auch die jüngsten von König und Richarz und von Wilsing berücksichtigt, bei den Messinstrumenten ist das Sphärometer von Bamberg hinzugefügt, und vieles andere der Art. In der so vervollkommenen Gestalt wird das Buch deutschen Lesern doppelt willkommen sein.

P.

Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften. No. 24 und 25. Unterredungen und mathematische Demonstrationen über zwei neue Wissenszweige, die Mechanik und die Fallgesetze betreffend, von Galileo Galilei. Dritter und vierter Tag mit 90 Figuren im Text; Anhang zum dritten und vierten Tag, fünfter und sechster Tag mit 23 Figuren im Text. Aus dem Italienischen und Lateinischen übersetzt und herausgegeben von Arthur v. Oettingen. Leipzig, Wilh. Engelmann. 1891. 141 und 66 S. 2 M. und 1,20 M.

Der dritte und vierte Tag, von denen Lagrange sagte, „es gehöre ein ausserordentliches Genie dazu, sie zu verfassen, man werde sie nie genug bewundern können,“ behandeln die Lehre vom Falle und von der Wurfbewegung und in einem Anhang Sätze über den Schwerpunkt. Der fünfte Tag, der nur noch geschichtliches Interesse beansprucht, enthält Beiträge zur Lehre von den Proportionen und ist nur der Vollständigkeit wegen in die vorliegende Ausgabe aufgenommen worden. Der sechste Tag, der leider von Galilei nicht vollendet wurde, behandelt die Lehre vom Stosse. Die hervorragende Bedeutung dieser Teile der Discorsi ist bereits durch Düring und Mach in erschöpfender Weise dargelegt worden. Da Galilei, wie Huygens und in neuerer Zeit wiederum Maxwell, ganz offen die Wege darlegt, die ihn zu seinen Entdeckungen geführt haben, so erschliesst er dem Leser das volle Verständnis seiner Leistungen. Daher können auch heute noch jedem Lehrer, der Schüler in die Bewegungslehre einzuführen hat, die Discorsi als das beste Vorbereitungsbuch nicht dringend genug empfohlen werden. (Vgl. diese Zeitschrift III 93 und V 156*). Mit Recht hebt der Übersetzer hervor, dass manche Aufgabe des dritten und vierten Tages verdiente, der Vergessenheit entrissen und in die Lehrbücher aufgenommen zu werden. Die Anmerkungen, mit denen Herr v. Oettingen den Text versehen hat, erleichtern das gründliche Studium dieser so berühmten Unterredungen ganz erheblich.

H. Hahn-Machenheimer, Berlin.

Bilder aus der Geschichte der Physik. Für Freunde der Naturwissenschaften und für Studierende an höheren Schulen. Von Prof. Dr. Eugen Netoliczka. Nach des Verfassers Tode fortgesetzt und durchgesehen von Prof. Dr. A. Wachlowski. Wien und Leipzig. A. Pichlers W. u. S. 1891. 263 S. fl 1,80 oder Mk. 3,60.

Dass vielleicht kaum ein zweiter Gegenstand am Gymnasium so geeignet sei als die Physik, zu einer bestimmten Weltanschauung zu führen, ist der Grundgedanke, der zur Abfassung dieser Schrift angeregt hat. Für die Erreichung des hohen Zieles, das dem verstorbenen Verfasser vorschwebte, war die historische Betrachtung der physikalischen Lehren ein wesentliches Erfordernis; denn „die Physik in ihrer historischen Darstellung ist die eigentliche Lehre von der Entwicklung des menschlichen Geistes.“ In einer Reihe von Bildern, die mit der Physik des Altertums anheben und bis in die neueste Zeit reichen, wird das wichtigste historische Material, geschickt gruppiert, in schlichter, überall wohlverständlicher Sprache vorgetragen. Dabei sind die Geschichtswerke von Whewell, Heller, Rosenberger, die Biographien Aragos und einige andere Schriften benutzt, eigene Quellenstudien scheinen nicht zu Grunde zu liegen. Dem Lehrer wird durch diese Darstellungen die Möglichkeit geboten, sich rasch über die Hauptzüge der Geschichte eines bestimmten physikalischen Abschnittes zu orientieren; noch mehr aber ist dem Buche zu wünschen, dass es in Schülerkreisen Verbreitung fände und dazu beitrüge, den Unterricht auch von dieser Seite her zu beleben, namentlich wenn einzelne von den Abschnitten als Grundlage für Schülervorträge benutzt würden. Die letzten Abschnitte der Schrift, von Young, Fresnel und Faraday bis zur Erhaltung der Energie, sind von dem Herausgeber verfasst und ebenso klar und sachkundig wie der erste Teil bearbeitet. *P.*

Naturwissenschaftliche Plaudereien. Von Dr. E. Budde. Berlin, Georg Reimer, 1891. 332 S.

Der unseren Lesern durch sein Werk über die allgemeine Mechanik der Punkte und starren Systeme bekannte Verfasser hat hier eine Reihe naturwissenschaftlicher Skizzen zusammengestellt, die er in seinen Mussestunden geschrieben und zuerst in der Kölnischen Zeitung veröffentlicht hat. Die kleinen Aufsätze sind zumeist biologischen Inhalts, die zwei letzten, über das Verwittern öffentlicher Denkmäler und über Petroleumexplosionen, greifen auf das chemisch-physikalische Gebiet über. Die frisch geschriebenen Plaudereien sind vortrefflich geeignet zu denkender Naturbetrachtung anzuregen, daher auch als Lektüre für Schüler zu empfehlen. *P.*

*) Zu den V, 156 gemachten Bemerkungen sei hier noch hinzugefügt, dass die dort erwähnte richtige Auffassung der Galileischen Falltheorie von E. Wohlwill in seiner Studie über die Entdeckung des Beharrungsgesetzes (Ztschr. f. Völkerpsych. u. Sprachw. 1883) gerechtfertigt und von Lasswitz (Gesch. der Atomistik, II 23) der Behandlung von Galileis Bewegungslehre zu Grunde gelegt worden ist. *P.*

Versammlungen und Vereine.

Physikalische Gesellschaft zu Berlin.

Sitzung am 18. Dezember 1891. Herr E. Budde gab eine kritische Übersicht der seit 1880 erschienenen wichtigeren Arbeiten über übersättigte Lösungen. Als maassgebende Prinzipien für die Untersuchung solcher Lösungen stellte er die folgenden beiden auf: 1. Der Gleichgewichtszustand einer Flüssigkeit ist eine Funktion der Beschaffenheit der Grenzfläche, mithin vor allem abhängig von der Art der an die Flüssigkeit grenzenden Krystalle und der in ihr befindlichen Krystallnuclei. 2. Wenn aus einer Lösung von beliebig vielen Substanzen eine bestimmte Verbindung austritt, so beweist dies nicht, dass dieselbe Verbindung schon in der Lösung präformiert war. Dem ersten Prinzip zufolge sind alle Theorien unzureichend, die nur aus der inneren Constitution der Flüssigkeit die Erscheinungen der Übersättigung zu erklären suchen. So die von ALEXEJEFF, der analog dem Verhalten der Salicyl- und Benzoesäure auch bei übersättigten Salzlösungen das Vorhandensein überkühlter flüssiger Substanz annehmen zu müssen glaubte. Dementgegen zeigte NICOL, dass die Kurven aller physikalischen Constanten einer Lösung ohne plötzliche Abweichung aus dem gesättigten in den übersättigten Zustand übergehen. Aus seinen Versuchen geht auch hervor, dass man in der Lösung von Soda nicht verschiedene Hydrate, sondern stets nur wasserfreies Salz anzunehmen hat. Die meiste Aufklärung ist den Untersuchungen von BACKHOUSE ROOZEBOOM über Chlorcalcium zu verdanken. Diese sprachen gleichfalls gegen die Theorie, dass unter verschiedenen Umständen verschiedene Hydrate in der Lösung präformiert seien. Sie lehren, dass der Begriff der Sättigung, und ebenso der der Übersättigung, nur in Bezug auf eine bestimmte Art von Nuclei scharf definierbar ist; wenn, wie beim Chlorcalcium, vier verschiedene Hydrate vorhanden sind, kann eine Lösung des Salzes in Bezug auf eins von diesen übersättigt, in Bezug auf ein anderes noch ungesättigt sein. Zum Schluss erörterte der Vortragende die von Alexejeff angeregte Frage nach einem Spielraum, der zwischen der Erstarrung bei vorhandenem Nucleus und bei der Erstarrung ohne solche (etwa durch langsame Verdunstung) vorhanden sei. Das bis jetzt vorliegende experimentelle Material sei für die Beantwortung dieser Frage nicht ausreichend. — Herr Paschen führte das Cavendish'sche Experiment als Vorlesungsversuch nach der von C. V. Boys angegebenen Methode vor. Bei dem von Cavendish selbst angewandten Apparat mit einem Hebelarm von $1\frac{1}{2}$ m Länge war es unmöglich, constante Temperaturen zu erhalten, auch gaben die zur Torsionswaage benutzten Metalldrähte keine constante Einstellung. Die Ablenkungen litten daher an einer Ungenauigkeit von 10 bis 50%. Genauere Resultate lieferten die Versuche von Cornu und Baille, bei denen die Dimensionen auf $\frac{1}{4}$ der Cavendish'schen reduziert waren und Quecksilber als verschiebbare Masse benutzt wurde. Die von Boys erfundenen Quarzfäden gestatten nun, die Länge des Hebelarmes auf etwa 1 cm zu verkleinern und gleichzeitig die Torsionskraft so zu vermindern, dass bei völlig gleichbleibender Nullstellung eine Schwingungsdauer von 40 bis 60 Sekunden erhalten werden kann. Der verwendete Quarzfaden ist für die Demonstration $\frac{1}{120}$ bis $\frac{1}{150}$ mm, für genaue messende Versuche $\frac{1}{200}$ bis $\frac{1}{300}$ mm dick und etwa 25 cm lang. Die beiden Hälften des Hebels sind in vertikaler Richtung um etwa 5 cm auseinandergerückt, so dass die an den Enden befindlichen Kügelchen nur von je einer der anziehenden Massen beeinflusst werden. Als anziehende Massen dienen Bleikugeln, die an der Innenwand eines drehbaren cylindrischen Gehäuses befestigt sind. Die Verschiebung dieser Massen bewirkt einen Ausschlag, der bei Vergrößerung durch einen Lichtzeiger in 13 m Abstand etwa 1 dm oder 5 Skalenteile beträgt. Die auf den Torsionshebel ausgeübte Kraft ist gleich der von etwa $\frac{1}{10}$ mg.

Verein zur Förderung des physikalischen Unterrichts in Berlin.

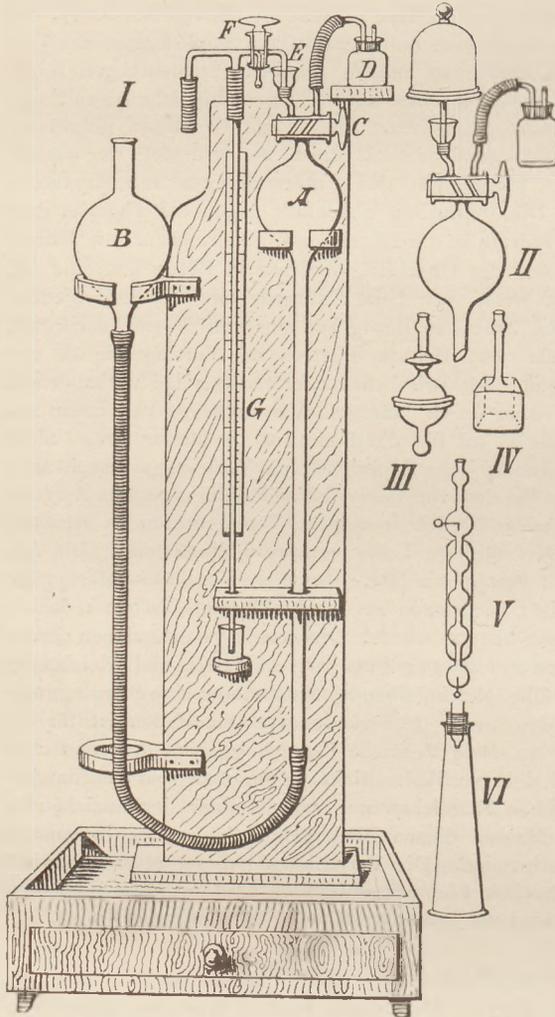
Sitzung am 25. Januar 1892. Herr R. Heyne hielt einen Vortrag über den augenblicklichen Stand der Technik der elektrischen Strassenbahnen. Als besondere Schwierigkeiten wurden hervorgehoben: die geringe Anpassungsfähigkeit des Elektromotors an die längs der Strecke veränderlichen Arbeitserfordernisse, die Übertragung der Bewegung der Motoraxe auf die Wagenaxen und die Zuführung der Elektrizität von der primären zur sekundären Maschine durch oberirdische oder unterirdische Leitung. Im einzelnen besprochen wurden die Lichterfelder Bahn von Siemens & Halske, die amerikanischen Bahnen von Sprague & Thomson-Houston, die Siemenssche Strassenbahn in Budapest mit unterirdischer Zuleitung, die neueren Systeme von Ganz & Co., Pollack, Linner und die Akkumulatorenbahn zwischen dem Haag und Scheveningen. — Herr M. Koppe sprach über den Nachweis, dass im Innern eines Leiters keine Elektrizität vorhanden sei, und machte aufmerksam, dass dabei der Unterschied zwischen Elektrizitätsmenge und elektrischer Kraft zu beachten sei.

Mitteilungen aus Werkstätten.

Quecksilberluftpumpe für den physikalisch-chemischen Unterricht.

Von Greiner & Friedrichs in Stützerbach (Thüringen).

In den Experimentierzimmern der höheren Schulen hat sich die Quecksilberluftpumpe verhältnismässig noch wenig eingebürgert, hier behauptet die altbewährte Stiefelluftpumpe neben der Wasserstrahlluftpumpe bis jetzt das Feld. — Dieser Umstand lässt sich dadurch erklären, dass die Quecksilberluftpumpen sehr hoch im Preise stehen und zerbrechlich sind, sowie durch die etwas übertriebene Furcht vor der giftigen Wirkung des verwandten Metalles.



Die Quecksilberluftpumpe ist dafür aber leichter zu handhaben wie die Stiefelluftpumpe und nicht von anderen Einrichtungen abhängig wie die Wasserstrahlluftpumpe, sie ist ein weitaus interessanterer Apparat und liefert ein bedeutend besseres Vacuum wie die beiden anderen Pumpen.

Wenn das Pumpengestell in einem dichten, genügend grossen Schutzkasten steht, so kann Quecksilber nur bei ganz fahrlässiger Behandlung verspritzt werden.

Wir haben uns nun bemüht, eine billigere, aber doch sehr gut funktionierende Pumpe speziell für den Schulgebrauch zu construieren, die wir hiermit vorführen.

Die Pumpe ist ähnlich der von uns schon früher in Wiedemanns Annalen und Zeitschrift für praktische Physik beschrieben, nur in der Ausführung etwas einfacher gestaltet, soweit dies die Güte der Pumpe nicht beeinträchtigte. Die Schläffe sind vorzüglich, der Haupthahn ein sogenannter Patentdrehhahn. Die Handhabung ist eine äusserst einfache, so dass Vorschriften kaum nötig sind, doch erlauben wir uns auf folgende Punkte aufmerksam zu machen:

1. Zur Füllung der Pumpe genügen 8 Pfd. Quecksilber, also bei einem Preise von M. 2,50 pro Pfd., für M. 20,—. Dasselbe muss rein und trocken sein. Etwas Quecksilber ist in den Trichter (E) oberhalb des Hahnes in das Gläschen für den Manometer (G) zu schütten.

2. Wenn man daran festhält, den Haupthahn immer in derselben Richtung zu drehen,

so braucht man der Stellung der Hahnbohrungen nur wenig Aufmerksamkeit zu widmen. — Beim Austreiben der Luft aus der Pumpenkugel lässt man etwas Quecksilber in das Überlaufgläschen (D) überfließen, aus welchem dasselbe gelegentlich leicht wieder in die Pumpenkugel zurückbefördert werden kann. Aus dem Überlaufgefäss entnimmt man auch das nötige Quecksilber für die Manometergläschen und die Quecksilberschlüsse.

3. Wenn das Vacuum nahezu erreicht ist, so muss das Quecksilbergefäss nur noch ganz langsam gehoben werden. Durch diese Vorsichtsmaassregel wird ein Hängenbleiben von Luftbläschen verhindert und ein Bruch der Glasteile vermieden.

4. Nach Gebrauch der Pumpe lässt man das Quecksilber aus dem Überlaufgefäss in die Pumpe zurückfließen und verschliesst dann die Hebekugel mittelst eines Stopfens.

Der Pumpe können folgende Nebenapparate auf Wunsch beigegeben werden:

Glockenrecipient für verschiedene Experimente geeignet (II).

Cylinderrecipient für den Geldstück-Feder-Versuch, zum Verlöschenlassen einer Kerze etc. (VI).

Magdeburger Halbkugeln von Glas (III).

Vierecke von Glas (welche während des Auspumpens von der Luft eingedrückt werden) (IV).

Vacuumröhren (V). (Gase können durch den Schwanzhahn (E) eingelassen werden.)

Bei den oben angedeuteten Versuchen ist ein Trocken-Apparat entbehrlich, wenn jedoch mit feuchten Gasen oder Flüssigkeiten experimentiert werden soll, so ist ein solcher Apparat immerhin nützlich. Ein zweckentsprechender Trocken-Apparat wird daher auf Wunsch mitgeliefert oder kann, wenn nötig, nachbezogen werden.

Die beschriebene Pumpe kann ebensowohl auch im chemischen Laboratorium vielfach zur Verwendung kommen, so z. B. beim Bunsenschen Filtrier-Apparat, bei der Destillation im Vacuum, zum Auspumpen der Trocken-Apparate, bei der Blutgas-Analyse etc. etc.

Correspondenz.

Zu A. Höflers Aufsatz „Über die Ableitungen für die Anziehung von Kugeln etc.“ (Heft III, S. 123 ff.) sind aus dem Kreise der Leser Bedenken hinsichtlich der dort näher besprochenen Ableitung von *TUMLIRZ* (S. 125) laut geworden; es wird eingewendet, dass bei der Concentrierung der Masse einer Kugelschale im Centrum die Einwirkung der Teilchen auf sich selbst nicht in Betracht gezogen sei.

Herr A. Höfler bemerkt hierzu, dass die fragliche Einwirkung in *MACHS* Darstellung (Lehrbuch f. Studierende S. 195, Grundriss f. d. ob. Kl. S. 199) ausdrücklich berücksichtigt ist, und dass dadurch die Beweiskraft der Ableitung nicht beeinflusst wird. Herr Höfler glaubte in seiner Darstellung jenen Umstand als selbstverständlich nicht namhaft machen zu müssen, da es sich dort nur um die Einwirkung der Schale auf einen äusseren bzw. inneren Punkt, nicht auf sich selbst handelte.

Über physikalische Schülerübungen am Gymnasium zu Giessen teilt uns Herr Dr. K. Noack folgende Angaben aus dem diesjährigen Programm der Anstalt mit. „Seit Ostern 1891 fanden an der Anstalt physikalische Schülerübungen statt; dieselben sind fakultativ und wurden an schulfreien Nachmittagen wöchentlich zweistündig abgehalten. Im Sommersemester nahmen an den Übungen 16 Obersekundaner teil, gemeldet hatten sich zu denselben 27. Im Wintersemester beteiligten sich 8 Obersekundaner und 6 Unterprimaner; gemeldet hatten sich von ersteren 25, von letzteren 9. Es wurden nur solche Schüler zugelassen, deren Leistungen in den Hauptfächern keinen Anlass zu Bedenken gaben. In den ersten Monaten wurden diesen Schülerübungen die Apparatsammlungen von Meiser und Mertig zu Grund gelegt. Später wurde eine grössere Anzahl von Apparaten in besonders für diesen Zweck geeigneten Formen angefertigt und damit der Grundstock zu einer zweckmässigen Sammlung von Schülerapparaten beschafft.“

Wir bitten unsere Leser um fernere Mitteilungen über solche Schülerübungen, um an dieser Stelle eine möglichst vollständige Übersicht über die in dieser Richtung zu Tage tretenden Bestrebungen geben zu können. Wir können schon jetzt melden, dass mehrere Berliner Realgymnasien für das demnächst beginnende neue Schuljahr fakultative physikalische Schülerübungen in ihren Lehrplan aufgenommen haben.

Der naturwissenschaftliche Ferienkursus zu Berlin findet in diesem Jahr vom 20.—31. April unter der Leitung der Herren Direktor Dr. Schwalbe und Direktor Dr. Vogel statt. Das Programm kündigt folgende Vorlesungen an: Allgemeine Circulation der Atmosphäre, von Prof. v. Bezold (3 St.); der heutige Stand der Astronomie, von Prof. W. Förster (2 St.); Lehre vom asymmetrischen Kohlenstoff-Atom und dessen Zusammenhang mit dem optischen Drehungsvermögen, von Prof. H. Landolt (2 St.); neue Methoden zur Darstellung von Sauerstoff und Ozon, von demselben (1 St.); die neuen Theorien der Gebirgsbildung, von Prof. Dames (3 St.); Ziele und Wege der geographischen Forschung, von Dr. Dove (4 St.); Theorie der elektrolytischen Dissociation, von Dr. H. Jahn (3 St.); Methodik des mineralogisch-chemischen Unterrichts, von Direktor Schwalbe (4 St.); über Gewinnung und Verwendung des Aluminiums, von Dr. Lüpke (1 St.); neue chemische Schalexperimente, von Dr. Lüpke und Dr. Böttger (1 St.); die neuesten Fortschritte der Photochemie, von Dr. E. Vogel (1 St.).

Himmelserscheinungen im Mai und Juni 1892.

☾ Mond, ♀ Merkur, ♀ Venus, ♂ Erde,
☉ Sonne, ♂ Mars, ♃ Jupiter, ♄ Saturn.

Monatstag	Mai						Juni						
	5	10	15	20	25	30	4	9	14	19	24	29	
Helio- centrische Längen.	256°	270	284	299	316	334	356	22	51	82	113	141	☾ ♀ ♂ ♃ ♄
	184	192	200	208	216	224	232	240	248	256	264	272	
	225	230	235	240	245	249	254	259	264	269	273	278	
	258	261	264	267	270	272	275	278	281	284	287	290	
	5	6	6	7	7	7	8	8	9	9	10	10	
	178	179	179	179	179	179	179	180	180	180	180	180	b
Geo- centrische Recta- sensionen.	158°	212	275	344	51	129	188	244	314	19	92	162	☾ ♀ ♂ ♃ ♄
	23	25	29	34	39	46	55	64	75	89	99	110	
	91	96	101	105	109	112	115	117	118	118	117	115	
	43	48	53	58	63	68	73	78	83	88	94	99	
	302	304	307	309	311	313	315	317	318	319	320	321	
	11	12	13	14	15	16	17	18	18	19	20	21	
	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	176	b	
Geo- centrische Dekli- nationen.	+ 15°	- 12	- 27	- 12	+ 20	+ 24	+ 0	- 23	- 23	+ 5	+ 27	+ 13	☾ ♀ ♂ ♃ ♄
	+ 7	+ 7	+ 8	+ 10	+ 12	+ 15	+ 18	+ 21	+ 23	+ 24	+ 25	+ 24	
	+ 27	+ 27	+ 27	+ 26	+ 25	+ 25	+ 24	+ 23	+ 22	+ 21	+ 20	+ 19	
	+ 16	+ 18	+ 19	+ 20	+ 21	+ 22	+ 23	+ 23	+ 23	+ 23	+ 23	+ 23	
	- 22	- 22	- 21	- 21	- 21	- 20	- 20	- 20	- 20	- 20	- 20	- 20	
	+ 4	+ 4	+ 4	+ 5	+ 5	+ 6	+ 6	+ 6	+ 7	+ 7	+ 7	+ 7	
	+ 5	+ 5	+ 5	+ 5	+ 5	+ 5	+ 5	+ 5	+ 5	+ 4	+ 4	b	
Aufgang.	16 ^h 2 ^m	16.12	16.4	15.57	15.51	15.46	15.42	15.39	15.38	15.39	15.40	15.43	☉
	0 ^h 2 ^m	6.15	12.6	14.17	15.41	20.46	1.42	7.45	11.50	13.4	15.49	22.15	☾
Untergang	7 ^h 31 ^m	7.40	7.48	7.55	8.2	8.9	8.14	8.18	8.22	8.24	8.24	8.24	☉
	15 ^h 3 ^m	15.57	18.36	—	7.26	12.34	13.43	15.2	20.17	1.57	9.4	11.29	☾
Zeitglchg.	- 3 ^m 23 ^s	- 3.46	- 3.50	- 3.39	- 3.44	- 2.37	- 1.50	- 0.55	+ 0.6	+ 1.10	+ 2.15	+ 3.18	☉

Daten für die Mondbewegung (in Berliner Zeit):

Mai 3 8 ^h 5 ^m Erstes Viertel	Juni 1 22 ^h 45 ^m Erstes Viertel
" 8 18 Mond in Erdferne	" 5 8 Mond in Erdferne
" 11 11 53 Vollmond	" 10 2 26 Vollmond
" 19 3 46 Letztes Viertel	" 17 9 54 Letztes Viertel
" 24 6 Mond in Erdnähe	" 21 4 Mond in Erdnähe
" 25 18 43 Neumond	" 24 3 0 Neumond.

Constellationen. Mai: 5 ♀ im Aphel; 6 13^h ♄ ♂ ☾; 11 sichtbare partielle Mondfinsternis (Anfang 10^h 4^m, 0 Berliner Zeit; Mitte 11^h 47^m, 1; Ende 13^h 30^m, 2; grösste Verfinsternung 0,956 vom Durchmesser); 16 21^h ♃ in grösster westl. Elongation; 17 8^h ♂ ♂ ☾; 20 Nachmittags Sonne im Zeichen der Zwillinge; 22 9^h ♃ ♂ ☾; 24 3^h ♃ ♂ ☾; 28 20^h ♀ ♂ ☾; 30 2^h ♂ im grössten Glanz. — Juni: 2 19^h ♄ ♂ ☾; 13 21^h ♄ ☾ ☾; 14 7^h ♂ ♂ ☾; 18 0^h ♃ im Perihel; 19 1^h ♃ ♂ ☾; 20 6^h ♃ obere ♂ ☾; 20 12^h ☾ im Krebs, Anfang des Sommers; 24 12^h ♃ ♂ ☾; 25 14^h ♀ ♂ ☾; 30 5^h ♄ ♂ ☾; 30 22^h ♂ im Aphel; 31 22^h ♃ ♂ ♀.

Ziemlich viele Meteore sind zu erwarten: Mai 2, 8, 17, 20, 21, 24, 26, 27; Juni 14, 15, 18, 19, 20, 21; auffallend wenige: Mai 25, 29; Juni 17.

Helle Nächte. Vom 18. Mai bis zum 26. Juli dauert die Dämmerung die ganze Nacht hindurch. (Nördlich von Berlin ist die Periode etwas länger, südlich etwas kürzer.) Die Beobachtung der veränderlichen Sterne wird hierdurch sehr erschwert. Die Minima von δ *Librae* liegen auch in diesem Jahre ungünstig, doch verdient der Stern fortlaufende Controlle. Von sonstigen Sternen sind β und *R Lyrae*, η *Aquilae* bequem zu beobachten.

Die vielfach zerrissenen Parteen der Milchstrasse im Adler, Schützen, Sobiesky'schen Schilde u. s. w. sind im Hochsommer ein dankbares Beobachtungs-Objekt. Gerade diese Gegenden werden von verschiedenen Beobachtern so verschieden aufgefasst, dass eine gründliche Erforschung mit guten unbewaffneten Augen von normaler Lichtbrechung und hoher Empfindlichkeit sehr willkommen ist. Sorgfältiger Abschluss alles künstlichen Lichtes ist erforderlich. Zum Einzeichnen empfehle ich Messer's Atlas. Die Mitternachtsdämmerung schadet weniger, als man denken möchte, weil die angedeuteten Gebiete im Süden stehen.

J. Plassmann.

Hierzu eine Beilage der Verlagsbuchhandlung von Julius Springer in Berlin N.

Nachdruck nur mit Quellenangabe und mit Genehmigung der Verlagsbuchhandlung gestattet.