

Zur Einführung.

Ziel und Wege des physikalischen Unterrichts.

Ziel und Wege des physikalischen Unterrichts sind durch das Wesen und die Art der Physik als Wissenschaft bestimmt.

1. Die physikalische Erkenntniss ist, ihrem Wesen nach, Einsicht in den rationellen Zusammenhang der Thatsachen, welche die Materie und deren Zustandsänderungen betreffen.

In die Grundlagen und die Hauptrichtungen dieser Erkenntniss soll der Physikunterricht einführen. Er soll nicht nur den Inhalt dieser Erkenntniss mitteilen, sondern auch zeigen, wie solche Erkenntniss zu Stande kommt. Denn nur so vermag er die Ueberzeugung zu schaffen, dass es ein sicheres Wissen von den Dingen und den Vorgängen der Wirklichkeit giebt. Er hat zu diesem Zwecke die gedanklichen Prozesse klar und scharf herauszuarbeiten, durch welche physikalische Einsichten von jeher gewonnen worden sind und noch gewonnen werden.

Die Methode des physikalischen Erkennens muss auch die Methode des physikalischen Unterrichtes sein.

Das Verfahren der Physik ist aber seiner Natur nach nicht von demjenigen des wissenschaftlichen Denkens im allgemeinen verschieden, noch auch ist die Beweiskraft der Folgerungen im Bereiche des physikalischen Forschens eine geringere als auf anderen Wissensgebieten. Indem der Physikunterricht darthut, wie physikalisches Wissen erzeugt wird, liefert er eines der gültigsten Zeugnisse von der Entstehung des Wissens überhaupt. Auch der Physikunterricht hat daher eine im eigentlichen Sinne humanistische Aufgabe.

Je mehr dieser Gedanke bei der Gestaltung des physikalischen Unterrichts Verwirklichung findet, desto mehr wird die Physik sich als ein hervorragendes Bildungsmittel erweisen.

2. Die physikalische Forschung hebt mit Beobachtung und Experiment an; diese liefern die Grundthatsachen und Grundbegriffe, auf welchen sich das System physikalischer Einsichten aufbaut. Beobachtung und Experiment begleiten auch die Physik in allen ihren Entwicklungen, und selbst wo der Weg sich scheinbar von jenen beiden entfernt, da liefern sie doch schliesslich den Prüfstein und das Maass für das Ergebnis.

Demgemäss hat der Physikunterricht auf allen Stufen Beobachtung und Experiment zu pflegen und zu voller Geltung zu bringen, um so mehr, als an ihnen und durch sie auch die Fähigkeit zur genauen Auffassung des Wirklichen geweckt und geübt wird.

Aus dieser hohen Bedeutung der experimentellen Seite der Physik erwächst die Forderung, die Unterrichtsmittel so zu gestalten und zu handhaben, dass die mit ihnen anzustellenden Versuche in einer für alle deutlich wahrnehmbaren und zugleich durchaus überzeugenden Weise verlaufen. Nichts schädigt das Vertrauen zur Wissenschaft wie auch den Erfolg des Unterrichts mehr, als wenn undeutlich aufgefasste oder nicht völlig beweiskräftige Versuche die Stelle exakter Nachweise vertreten. Es ist deshalb der Vervollkommnung sowohl der Unterrichtsmittel als auch der experimentellen Technik stete Fürsorge zuzuwenden.

3. Die Physik als Wissenschaft findet erst in Verbindung mit der Mathematik ihre Vollendung. So kann auch der physikalische Unterricht der mathematischen Bearbeitung des Erfahrungsmaterials nicht entraten. Doch bedarf das Eingreifen der Mathematik in den physikalischen Unterricht einer genaueren Begrenzung.

Der Gebrauch der Mathematik innerhalb des physikalischen Bereichs ist einerseits darauf gerichtet, ein geometrisches Abbild oder eine analytische Formel zu gewinnen, welche sich mit der untersuchten Erscheinung in allen wesentlichen Punkten deckt. Insofern die mathematische Analyse der Erscheinungen diesem Zwecke dient, erscheint sie als eine besondere Form derselben zerlegenden Arbeit des Denkens, welche auch in den nicht der Rechnung unterworfenen Teilen der Physik auszuführen ist. Die Bewältigung, welche auf diese Weise der empirische Stoff durch das mathematische Denken erfährt, ist als Erkenntnisgewinn so wertvoll, dass ihr soviel Raum zu gewähren ist, wie die verfügbare Zeit und die Rücksicht auf das Ganze des physikalischen Unterrichts nur irgend gestatten.

Andrerseits verhilft die Mathematik dazu, das Gesetz einer Erscheinung aus allgemeineren mechanischen Prinzipien abzuleiten. Auch diese zweite Form der mathematischen Behandlung wird im Unterricht eine Stelle finden müssen, aber nur so weit, als die vorausgesetzten Prinzipien von unmittelbarer Anschaulichkeit und auch für die Schüler hinlänglich beglaubigter Allgemeingültigkeit sind.

Auf die im Vorstehenden angedeuteten Gesichtspunkte habe ich bei Eröffnung dieser Zeitschrift hinweisen wollen. Von der Zustimmung der Fachgenossen und ihrer thätigen Mitwirkung wird es abhängen, in welchem Maasse die ausgesprochenen Forderungen durch diese Zeitschrift ihrer Erfüllung entgegengeführt werden.

Dr. Fritz Poske.

Über den Unterricht in der Wärmelehre.

Von

Professor Dr. E. Mach in Prag.

1. Ohne Zweifel hat in den letzten Dezennien die didaktische Methode bedeutende Fortschritte gemacht. Betrachten wir aber als Hauptzweck des naturwissenschaftlichen Elementarunterrichts nicht sowohl die Erwerbung einer Summe positiver Kenntnisse, als vielmehr eine gewisse Erziehung im Beobachten und besonders im naturwissenschaftlichen Denken, die Gewöhnung an ein feineres logisches Verfahren, so finden wir an vielen der gangbaren elementaren Darstellungen der Wärmelehre bei aller ihrer Vortrefflichkeit mancherlei auszusetzen.

Wenn z. B. gleich zu Anfang die „Wärme“ als „Ursache der Wärmeerscheinungen“ eingeführt wird, wenn alsbald vom „Wesen der Wärme“ die Rede ist, so müssen wir uns fragen, welchen Vorteil es gewähren kann, zu den klaren Thatsachen sofort ein unbekanntes müssiges Etwas hinzuzufügen und dasselbe mit einem Namen zu belegen? Was sollen wir denken, wenn wir gelegentlich hören, dass die Gase sich „proportional der (hypostasierten) Temperatur ausdehnen“, nachdem wir zuvor die Temperaturzahlen willkürlich den Volumzuwüchsen der Gase zugeordnet haben? Mit welchem Gewissen stellen wir dem Schüler die „Wärmeeinheit“ vor als „die Wärmemenge, welche nötig ist, ein Kilo Wasser um 1° C zu erwärmen“, wobei der neue Begriff nicht erläutert, sondern als selbstverständlich und schon vorhanden eingeführt wird? Oder wird der Unterricht vielleicht zweckmässiger, wenn, wie es zuweilen geschieht, zur Vermeidung der bezeichneten Verschwommenheiten gar mit $\frac{1}{2}mv^2$ begonnen wird?

Wir dürfen uns dieser Dinge wegen keine zu starken Vorwürfe machen. Es sind natürliche Ueberreste der scholastischen Methode unserer Vorfahren, deren Verstand bei aller seiner Schärfe immer nur vom Dogma ausging und wieder zum Dogma zurückkehrte. Diese Dinge werden alsbald verschwinden, wenn wir sie mit schärferer Aufmerksamkeit betrachten¹⁾.

Wie ich glaube, hat man sich schon beim Elementarunterricht gegenwärtig zu halten, dass das Objekt der Naturwissenschaft die Thatsachen sind, der Begriff hingegen das Mittel, um die Thatsachen in Gedanken darzustellen. Zur Thatsache führen die Beobachtung und das Experiment, deren Wert für den Unterricht nicht hoch genug angeschlagen werden kann. Der physikalische Begriff, mit welchem wir uns hier einen Augenblick beschäftigen wollen, entsteht unter dem Eindruck gewisser Thatsachen oft instinktiv. Der Begriff wird also im Unterricht am zweckmässigsten unter dem Eindruck derselben Thatsachen historisch entwickelt. Nur werden wir, weil wir nach einem bewussten Besitz streben, uns klar machen, warum und zu welchem besonderen Zweck der Begriff entstanden ist, wodurch wir die Freiheit erlangen, den Begriff unter veränderten Umständen wieder umzuformen oder durch einen neuen zu ersetzen. Es sei fern von mir, didaktisch erfahrenen und erprobten Männern hier im Einzelnen darlegen zu wollen, wie sie den Unterricht anzulegen haben. Ich möchte aber an einfachen Beispielen, an den Begriffen Temperatur und Wärmemenge, erläutern, welche Gedanken man sich nach meiner Meinung gegenwärtig halten muss, um in der Schule mit

1) Eine ausführlichere wissenschaftliche Kritik der Begriffe der Wärmelehre hoffe ich demnächst zu veröffentlichen.

dem Richtigen und wahrhaft Nützlischen nicht auch Unrichtiges und Überflüssiges zu bieten, welches ja weniger selbständigen Köpfen zu ihrem Schaden oft lebenslänglich haften bleibt.

2. Die tastende Hand empfindet die uns umgebenden Körper kalt, kühl, lau, warm, heiss. Wir nennen diese Reihe der Empfindungen: Wärmeempfindungen. Körper, die uns besondere Wärmeempfindungen erregen, zeigen auch ein bestimmtes Verhalten gegen andere Körper. Ein heisser Körper sinkt schmelzend in Wachs ein, bringt einen Wassertropfen zischend zur Verdampfung, oder wird leuchtend (glühend). An einem sehr kalten Körper erstarrt ein Wassertropfen zu Eis. Ein warmer Körper erwärmt bei Berührung einen kalten u. s. w.

Den Inbegriff jenes physikalischen Verhaltens eines Körpers, welches wir zunächst als an die besondere Wärmeempfindung geknüpft erkennen, die er uns erregt, nennen wir seinen Wärmezustand.

Dasselbe (laue) Wasser kann der rechten Hand, welche eben in heisses Wasser tauchte, kalt und der linken Hand, die sich zuvor in kaltem Wasser befand, warm erscheinen. Es wäre natürlich ganz verkehrt zu sagen: Der Körper, welcher uns warm erscheint, ist eigentlich kalt, oder umgekehrt. So lange es sich nur um die Wärmeempfindung handelt, hat lediglich der Wärmesinn zu entscheiden. Kommt es uns aber auf das physikalische Verhalten eines Körpers an, auf seine Beziehung zu anderen Körpern, so ist die Wärmeempfindung deshalb ein unzuverlässiges Merkmal dieses Verhaltens, weil dieselbe nicht nur von dem Körper, sondern auch von den schwer controlierbaren Zuständen des Empfindungsorgans abhängt. Es ist desshalb zweckmässig, sich nach einem einfacheren zuverlässigeren Merkmal oder Zeichen des Wärmezustandes umzusehen, bei welchem der Einfluss zufälliger oder fremdartiger Umstände leichter auszuschliessen ist.

Als ein sehr brauchbares Zeichen des Wärmezustandes eines Körpers erkannte Galilei das Volum desselben. Das Volum des Körpers wächst im allgemeinen, wenn er uns wärmer erscheint. Zwar ändert sich mit dem Wärmezustand eines Körpers auch dessen galvanischer Leitungswiderstand, dessen Stellung in der thermo-elektrischen Spannungsreihe, dessen Brechungsexponent u. s. w., doch ist bisher keines dieser Merkmale in so einfacher Weise zu beobachten, bei keinem ist der Einfluss fremdartiger oder zufälliger Umstände so leicht auszuschliessen, wie bei dem Volum.

Die Beobachtung lehrt, dass ein wärmerer Körper bei Berührung den kälteren erwärmt und sich selbst so weit abkühlt, dass beide sich gleich warm anfühlen. Sich berührende Körper nehmen also gleiche Wärmezustände an. Hierdurch wird es möglich, das Volum eines bestimmten Körpers, des Thermoskopes, welchen man nach einander mit verschiedenen Körpern in Berührung bringt, als Merkmal des Wärmezustandes dieser Körper zu benutzen (Galilei).

Durch den Umstand aber, dass wir am Thermoskop noch Volumänderungen wahrnehmen, wo wir durch den Wärmesinn längst keine Unterschiede mehr empfinden, durch die feinere Unterscheidung der Wärmezustände mit Hilfe des Thermoskopes, wird unser bisheriger Standpunkt merklich verschoben. Wir schreiben nun (nach Analogie der directen Beobachtung) zwei Körpern gleiche Wärmezustände zu, wenn dieselben (von Druck und andern Umständen abgesehen) nicht volumändernd aufeinander wirken. Allerdings ist es dann nicht selbst-

verständlich, dass zwei Körper A und B , welche auf C nicht volumverändernd wirken, auch ihr Volum gegenseitig nicht ändern²⁾. Nur die Erfahrung kann dies lehren. Und in der That lehrt dieselbe, dass eine Reihe von Körpern: A, B, C, D, E, \dots , von welchen jeder mit dem folgenden in Berührung keine Volumänderung erfährt, auch bei jeder beliebigen Änderung der Anordnung, so weit man beobachten kann, diese negative Eigenschaft beibehält. Indem wir diese allgemeinen Beziehungen auch für die Verbindung des Thermoskopes mit andern Körpern als gültig betrachten, sehen wir als Körper von gleichem Wärmezustand solche an, welche am Thermoskope gleiche Volumanzeigen geben.

Einem Volum entspricht bei passender Wahl des thermoskopischen Stoffes nur ein Wärmezustand (Ausnahmen: Wasser u. s. w.). Bisher war auch die Annahme stets zureichend, dass die Gesamtheit der Wärmezustände eine einfache Mannigfaltigkeit bildet. Die Wärmezustände stellen demnach eine kontinuierliche Reihe dar, so dass ein Körper in einem in der Reihe vorausgehenden Zustand volumverkleinernd auf einen Körper wirkt, der sich in einem in der Reihe nachfolgenden Zustande befindet.

Wir ordnen also jedem Wärmezustand ein Volum des thermoskopischen Stoffes als Zeichen zu. Zur Vergleichung verschiedener Thermoskope und zur leichteren Orientierung an einem Thermoskop, bezeichnen und benennen wir bestimmte Volumina nach den zugehörigen leicht herstellbaren Wärmezuständen (Eispunkt, Siedepunkt des Wassers, Siedepunkt des Leinöls u. s. w.). Um solche Namen nicht in belästigender und verwirrender Weise zu häufen, teilen wir schliesslich dem thermoskopischen Volum Ordnungszeichen (Namen) zu, die selbst ein sehr einfaches System bilden, d. h. wir ordnen dem Volum nach einem (übrigens willkürlichem) Prinzip Zahlen zu, welche als Zeichen der Wärmezustände Temperaturen heissen. Wegen der Willkürlichkeit der Wahl des thermoskopischen Stoffes und wegen der Willkürlichkeit des Zuordnungsprinzipes der Zahl zum Volum³⁾ beruht also der Zusammenhang der Wärmezustände und Temperaturzahlen auf Übereinkunft. Die Temperaturzahlen a, b, c unseres conventionell graduirten Thermoskopes, des Thermometers, besagen also in quantitativer Beziehung nur, dass die entsprechenden Wärmezustände A, B, C stets in derselben Reihenfolge liegen, wie die Zahlen a, b, c .

Die Beobachtung, dass die (permanenten) Gase bei gleichen Wärmezustandsänderungen auch sehr nahe gleiche Volumänderungen erfahren, ertheilt den Gasen einen wesentlichen Vorzug vor anderen thermoskopischen Stoffen. Erweisen sich nun noch die von den Gasen aufgenommenen Wärmemengen den Volumzuwüchsen proportional, so ist die Gleichheit der Zahlenschritte in der Thermometerskala durch eine wirkliche Wärme-Eigenschaft motiviert, während sie vorher nur in willkürlicher Weise an die Gleichheit der Volumzuwüchse gebunden war. Durch Benutzung der Gedanken J. R. Mayer's und Carnot's gelingt es schliesslich, ein mechanisches Merkmal des Wärmezustandes zu finden und so zu der allgemein anwendbaren (absoluten) Temperaturskala von W. Thomson zu gelangen. Dass diese Skale von der bisherigen Gasthermoterskala nicht merklich

²⁾ Maxwell hat meines Wissens zuerst auf diesen Punkt aufmerksam gemacht. Seine Betrachtungen sind ganz analog meinen anderwärts gegebenen Ausführungen über den Massenbegriff.

³⁾ Bei Galilei entspricht der arithmetischen Progression der Volumina auch eine arithmetische Progression der Temperaturzahlen, während bei Dalton letztere einer geometrischen Volumprogression entspricht.

verschieden ist, muss als ein glücklicher Umstand betrachtet werden, der aber die Richtigkeit des vorher Ausgeführten nicht aufhebt.

Eine Volumvergrößerung des Gases ist ins Unbegrenzte denkbar, eine Volumabnahme aber nur bis zum Verschwinden des Gasvolums. Demnach scheint es, als ob die Reihe der Wärmezustände einerseits (nach oben) unbegrenzt, andererseits (nach unten) begrenzt wäre. Diese Bemerkung leitet bekanntlich zur Annahme eines absoluten Nullpunktes, dessen Einführung ja manche Formeln recht vereinfacht. Abgesehen aber davon, dass ebenso berechnete Betrachtungen anderer Art (Black) zu anderen absoluten Nullpunkten (z. B. -800°C statt -273°C) führen, abgesehen davon, dass vermöge der physikalischen Eigenschaften eines Gases von der Darstellung des dem Volum Null entsprechenden Wärmezustandes nicht die Rede sein kann, müssen wir uns gegenwärtig halten, dass die Begrenztheit oder Unbegrenztheit der Reihe der gewählten Zeichen nicht über die Begrenztheit oder Unbegrenztheit der Wärmezustände entscheiden kann, welche Entscheidung gänzlich der Erfahrung anheimfällt⁴⁾.

Mehr als eine Vereinfachung des Ausdrucks wird nur der in der Einführung des absoluten Nullpunktes sehen dürfen, welcher auch den hypothetischen Teil der mechanischen Wärmelehre für ausgemachte Wahrheit hält.

3. Ein warmer Körper erregt uns stets Wärmecmpfindung, so oft wir demselben den Sinn und die Aufmerksamkeit zuwenden. Dadurch entsteht leicht instinktiv der Eindruck eines in dem Körper enthaltenen Beständigen, einer Substanz, eines direct wahrnehmbaren Wärmestoffes, welcher die ganze naive ältere Forschung beherrscht. Dieser instinktive Drang führt auch zu dem sehr wichtigen Begriff: Wärmemenge.

Die Sonderung der Begriffe „Temperatur“ und „Wärmemenge“ tritt übrigens sehr mühsam auf. Noch Riehmann vermengt beide Begriffe unter dem Namen „calor“, und erst bei Black vollzieht sich die Sonderung vollständig. Der Gang ist etwa folgender:

Ein kälterer Körper erwärmt sich bei Berührung an einem wärmeren Körper, während dieser sich abkühlt. Der eine erwärmt sich also auf Kosten des andern. Mit Hilfe der Stoffvorstellung findet Riehmann für die Temperatur N der Mischung gleichartiger Massen m und m' von den Temperaturen u und u' den Wert:

$$N = \frac{mu + m'u'}{m + m'}$$

Riehmann denkt sich den Wärmestoff nach dem Volum der Massen verteilt und wendet diese Anschauung auch irrthümlich auf den Fall ungleichartiger Massen an. Erst Black berichtigt diesen Irrtum und setzt, ebenfalls von der Stoffanschauung ausgehend, in bestimmter Weise die Temperatur proportional dem Wärmestoffinhalt derselben Masse.

⁴⁾ Bezeichnen wir die Tonempfindung durch die zugehörige Schwingungszahl n , so könnte es scheinen, dass die Reihe der Tonempfindungen nach oben unbegrenzt, nach unten begrenzt sei. In Wirklichkeit hat die Tonempfindung nach beiden Seiten weit engere Grenzen als die Schwingungszahl, deren Denkbarkeit mit der Existenz des durch dieselbe Bezeichneten nichts zu schaffen hat. Bezeichnen wir die Tonempfindung, was noch passender ist, mit $\log n$, so reichen jetzt die Zeichen für eine nach beiden Seiten unbegrenzte Reihe, die aber gleichwohl begrenzt bleibt. Analog verhält es sich mit den Wärmezuständen und deren Zeichen. Vielleicht sind die Wärmezustände einseitig, vielleicht beiderseits begrenzt, vielleicht unbegrenzt.

Wir sind heute sehr geneigt, da uns das arithmetische Mittel von vielen Anwendungen her sehr geläufig ist, die Riemann'sche Regel für fast selbstverständlich zu halten. Dass dies nicht zutrifft, lässt sich erstens historisch nachweisen⁵⁾, zweitens dadurch, dass gerade die begabteren Schüler an der Regel Anstoss nehmen, und drittens lehrt dies die folgende Ueberlegung.

Da wir schon durch die Erfahrung lernen müssen, dass Körper von ungleicher Temperatur ihre Temperatur bei Berührung überhaupt gegenseitig ändern, so werden wir noch weniger ohne Versuch und Beobachtung voraus wissen können, wie (quantitativ) diese Aenderung eintritt. Vielleicht erraten wir das Richtige. Ob wir aber richtig geraten haben, muss der Versuch entscheiden. Das arithmetische Mittel der Temperaturen zweier gleicher gleichartiger Massen als Ausgleichstemperatur ist also keineswegs selbstverständlich.⁶⁾

Wie haben wir nun den wichtigen Begriff „Wärmemenge“ in bewusster Weise wieder zu gewinnen? Zwei gleiche gleichartige Massen erteilen sich, wie die Erfahrung lehrt, (sehr nahe) gleiche entgegengesetzte Temperaturänderungen. Zwei gleichartige ungleiche Massen m , m' erteilen sich Temperaturänderungen (in Graden ausgedrückt) v , v' , die sich umgekehrt wie die Massen verhalten, so dass $mv = m'v'$, oder wenn man auf das Zeichen der Temperaturänderung Rücksicht nimmt, dass $mv + m'v' = 0$. Der Wert des Produktes mv , welcher beiderseits gleich ist, hat also bei Beurteilung des Wärmevorganges eine maassgebende Bedeutung. Wir nennen das Produkt mv : Wärmemenge. Nichts steht im Wege uns, in der Absicht eine anschauliche Vorstellung zu gewinnen, eine mv proportionale Flüssigkeitsmenge zu denken, welche aus einem Körper in den andern überfliesst, ohne doch diese Vorstellung ernst zu nehmen. Die Definition der Einheit der Wärmemenge ergibt sich jetzt in vollkommen klarer Weise von selbst.

Bei Mischung von Wasser mit andern Stoffen ergibt sich (was zunächst das Erstaunen der Physiker Boerhave und Fahrenheit erregte), dass die Gleichung: $mv + m'v' = 0$ nicht gilt. Man kann aber die einmal gewonnene Vorstellung mit einer Modifikation festhalten und $mv + \alpha.m'v' = 0$ an die Stelle der früheren Gleichung setzen. Hierdurch ergibt sich in dem constanten Faktor (α) der Begriff spezifische Wärme, welcher wie der Begriff Wärmemenge sinnlich veranschaulicht werden kann.

Selbst der durch schärfere Beobachtung geführte Nachweis der Ungenauigkeit der Ausgangsgleichung kann dem Begriff Wärmemenge den praktischen Wert nicht mehr benehmen. Es lässt sich stets ermitteln, dass z. B. w Kilo Wasser, durch die Abkühlung eines Körpers um eine Anzahl Grade, von 0° auf 1° C. erwärmt werden. Wir betrachten dann w als das Maass der Wärmemenge jenes Abkühlungsvorganges.

Es wird nun gewiss recht schwierig sein, gleich im Beginn des Schulunterrichts die Begriffe mit voller Schärfe zu entwickeln. Es ist dies aber auch durchaus nicht nötig. Es kommt vielmehr darauf an, das Wort vorsichtig zu vermeiden, welches die Entstehung falscher oder überflüssiger Vorstellungen begünstigt.

⁵⁾ Krafft hat noch wenige Jahre vor Riemann (1744—1746) für denselben Fall die haarsträubende Formel aufgestellt:

$$N = \frac{11 m u + 8 m' u'}{11 m + 8 m'}$$

⁶⁾ Die Regel ist so wenig selbstverständlich, dass sie, genau genommen, nicht einmal richtig ist. Trifft sie auch in einem gegebenen Fall für ein Thermometer genau zu, so muss sie für eine andere thermometrische Substanz ungenau sein. Die Aenderung der spezifischen Wärme mit der Temperatur führt ebenfalls eine Abweichung von der Regel herbei.

Eine Influenzmaschine ohne Polwechsel.

Von

Professor Dr. A. Weinhold in Chemnitz.

(Vom Verfasser nach der 2. Auflage der „Physikalischen Demonstrationen“ bearbeitet).

Der leidige Polwechsel der Influenzmaschinen, welcher zumal beim Laden grösserer Verstärkungsbatterien oft recht unangenehm ist, hat bekanntlich seinen Grund darin, dass die Elektrizität der Belegungen der festen Scheibe allmählich eine Ansammlung entgegengesetzter Elektrizität auf der nicht belegten Fläche der festen Scheibe bewirkt, und dass diese entgegengesetzte Elektrizität die Wirkung der Elektrizität der Belegungen zuerst schwächt, dann ganz aufhebt, und dass endlich, wenn nämlich die Elektrizität der Belegungen beim Aufhören weiterer Zufuhr sich rascher verliert, als jene entgegengesetzte Elektrizität, die überwiegende Wirkung der letzteren eine umgekehrte Wirkung der Maschine veranlasst.

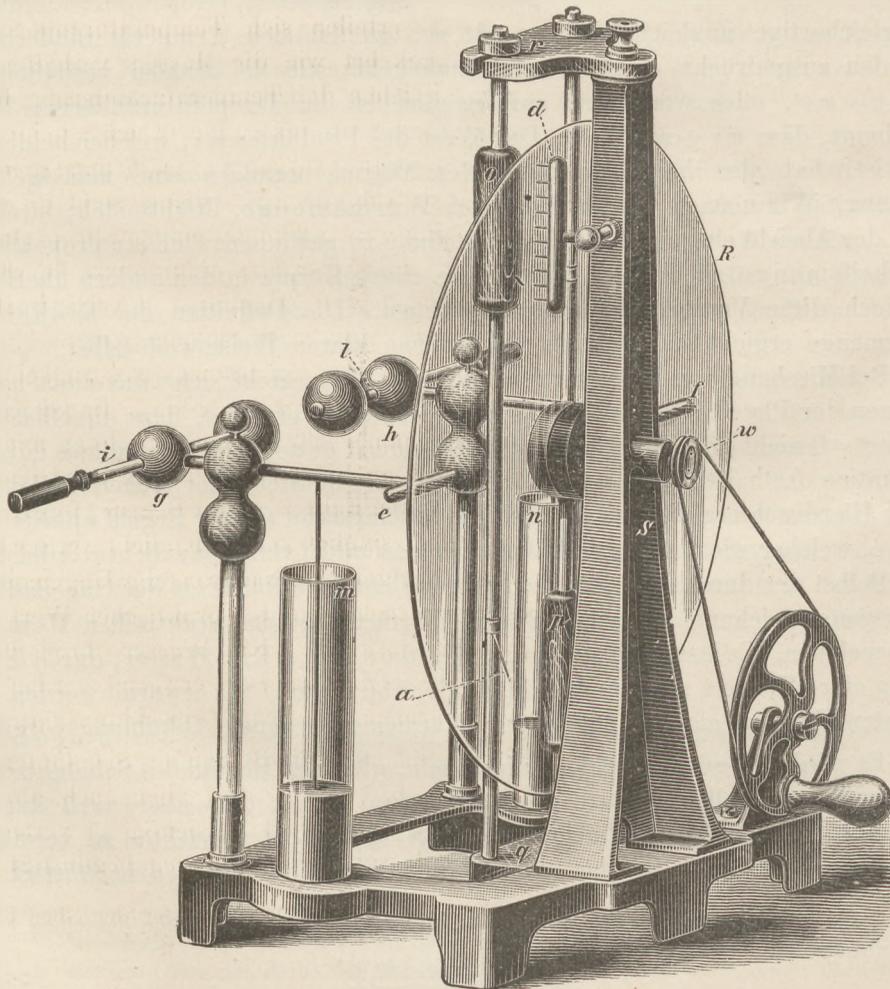


Fig. 1. ($\frac{1}{5}$ natürl. Grösse).

Maschinen verschiedener Konstruktion, insbesondere aber Maschinen aus verschiedenem Material (auch bei ganz gleicher Konstruktion) zeigen den Uebelstand des Polwechsels in sehr verschiedenem Grade; mit völliger Sicherheit be-

seitigen lässt er sich nur dadurch, dass man zwischen den die Influenzierung bewirkenden Leitern (den Belegungen der gewöhnlichen Maschinen) und der rotirenden Scheibe gar keinen starren Isolator, also keine feste Scheibe anbringt und so eine Anhäufung der entgegengesetzten Influenzelectricität unmöglich macht.¹⁾

Verfasser wendet deshalb anstatt der Belegungen der festen Scheibe als erregende Leiter Cylinder mit abgerundeten Enden aus poliertem, harten Holze (Ahorn) an, welche auf Flintglasstäbe aufgesteckt sind. Fig. 1 giebt eine anisometrische Ansicht der Maschine²⁾. Das Gestell besteht aus einem gusseisernen Rahmen mit 5 Füßen und einer durchbrochenen gusseisernen Säule *S*; letztere hat in der Mitte ihrer Höhe einen ungefähr cylindrischen Zapfen, in dessen conischer Durchbohrung die Achse der Maschine liegt. Die Achse trägt an der Vorderseite³⁾ eine starke, flach cylindrische Scheibe aus Hartgummi mit centralem Schraubenansatz; eine zweite gleiche, aber in der Mitte mit Muttergewinde versehene Hartgummischeibe ist auf den Schraubenansatz aufgeschraubt, und zwischen beide Hartgummischeiben ist die Glasscheibe *B* (mit dünnen Zwischenlagen von Papier) festgeklemmt. Rechts unten und links oben (von der Rückseite der Maschine aus betrachtet) trägt die Säule *S* die metallenen Kämme *c* und *d*⁴⁾; dieselben bestehen aus cylindrischen Messingröhren mit halbkugeligen Enden und spitzen Nadeln, welche der Glasscheibe zugewandt sind und möglichst nahe an dieselbe heranreichen. Auf der Vorderseite der Scheibe stehen diesen Kämmen die Holzylinder *o* und *p* gegenüber; diese Cylinder sind soweit durchbohrt, dass sie sich lose auf die Flintglasstäbe aufschieben lassen, von denen sie getragen werden; damit sie an der richtigen Stelle gehörig festsitzen, sind die Glasstäbe da durch umgewickeltes und festgeleimtes Papier etwas verdickt. Die Glasstäbe werden gehalten durch zwei Brettchen *q* und *r*; ersteres sitzt am Fussgestell der Maschine, letzteres auf der Säule *S*. Fig. 2 A zeigt *r* in Ansicht von oben, Fig. 2 B das obere Ende eines Glasstabes in seitlicher Ansicht.

Auf die oberen Enden der Glasstäbe sind runde Holzfassungen gekittet, deren unterer, dünnerer Theil in die Ausschnitte des Brettchens *r* passt, während der obere, dickere Theil auf *r* aufliegt; die unteren Enden der Glasstäbe stecken lose in Durchbohrungen von *q*. Hebt man die Glasstäbe etwas, so lassen sie sich leicht seitlich aus den Schlitzen von *r* herausnehmen, und eben so leicht lassen sie sich wieder einsetzen. Jeder Glasstab trägt eine schlanke Spitze aus ganz dünnem Schablonenkupfer, *a* und *b*⁵⁾; die breiten Enden der Kupferstreifen werden durch Papierstreifen, welche um die Glasstäbe gelegt und festgeleimt sind, gehalten. Die Holzylinder sind mit den Kupferspitzen leitend verbunden durch etwa 2 mm breite, mit Fischleim auf die Glasstäbe geklebte Stanniolstreifen; diese liegen auf der der Glasscheibe zugewendeten Seite

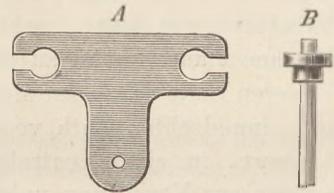


Fig. 2. ($\frac{1}{5}$ natürl. Grösse).

¹⁾ Auch die bekanntlich sehr guten Voss'schen Influenzmaschinen sind — entgegen der Angabe von Nebel (Exner's Repert. d. Phys. 1887, Bd. 23, S. 324) — von dem Uebelstande des Polwechsels, zumal bei feuchter Luft, nicht vollkommen frei.

²⁾ Höhe : Breite : Tiefe = 10 : 9 : 5.

³⁾ Als Vorderseite ist die dem Auditorium zugewendete, also die in der Figur nach links liegende Seite, als Rückseite die dem Experimentator zugewendete Seite mit der Kurbel, also die in der Figur rechts liegende Seite bezeichnet.

⁴⁾ In Fig. 1 ist nur *d* sichtbar; *c* ist in Fig. 3 zu sehen.

⁵⁾ Nur *a* ist in Fig. 1 deutlich sichtbar; *b* siehe Fig. 3.

der Glasstäbe und erstrecken sich je von einem Kupferstreifen bis fast zum abgewendeten Ende der Durchbohrung des zugehörigen Holzcyinders. Die Holzcyinder sollen von der Glasscheibe um ca. 10 bis 12 mm abstehen⁶⁾; die Kupferspitzen werden so gebogen, dass sie bis ganz dicht an die Glasscheibe heranreichen; es schadet auch nichts, wenn sie ganz leise an der Scheibe anliegen. Auf der Vorderseite der Scheibe liegen die den Kämmen *c* und *d* ganz ähnlichen Kämmen *e* und *f*; sie sitzen an horizontalen, hohlen Messingstäben mit hohlen Kugeln *g* und *h*, in denen sich die mit Hartgummigriffen versehenen Conductoren *i* und *l* verschieben lassen; die Kugeln *g* und *h* sind um eine horizontale Achse mit mässiger Reibung drehbar, damit man den Conductoren *i* und *l* eine geneigte Lage geben kann. Die hohlen Stäbe, welche *e* mit *g*, bzw. *f* mit *h* verbinden, sind in kugelig gerundeten Holzfassungen verschiebbar und können durch hölzerne Schrauben mit kugeligen Köpfen so festgestellt werden, dass die Spitzen der Kämmen *e* und *f* möglichst nahe an die Glasscheibe heranreichen. Die Holzfassungen, welche die Messingstäbe tragen, sitzen auf Flintglasstäben, die mit ihren unteren Enden in Messingfassungen eingekittet und mit diesen auf das Fussgestell festgeschraubt sind. Zwei kleine Verstärkungsflaschen *m* und *n* stehen in Vertiefungen des eisernen Fussgestells; die äusseren Belegungen derselben sind unter sich durch dieses Gestell leitend verbunden; die inneren Belegungen stehen mit je einem Conductor in Verbindung durch ein Metallstäbchen, dessen oberes Ende in einem Loch des Messingstabes steckt, und das sich mit mässiger Reibung etwas in vertikaler Richtung verschieben lässt. Drückt man ein solches Stäbchen abwärts, so wird sein oberes Ende frei, so dass sich die Verstärkungsflasche etwas nach der Seite neigen und dann leicht aus der Vertiefung des Fussgestells herausheben lässt.

Die leichte Zerlegbarkeit der Maschine bildet einen grossen Vorzug der vorliegenden Konstruktion. Will man die Scheibe der Maschine behufs ihrer Reinigung losnehmen, so entfernt man zuerst die Glasstäbe mit den Holzcyindern, dann die Verstärkungsflaschen, schiebt hierauf die Conductoren soweit zurück, dass die Kämmen *e* und *f* nahe an die Holzfassungen kommen und schraubt endlich die am hinteren Ende der Achse sitzenden zwei Messingmuttern ab — die grössere, am Rande mit eingedrehter Nuth versehene Mutter bildet den Schnurwirtel der Achse; die kleinere, in einer centralen Vertiefung der grösseren liegende dient als Gegenmutter zur Verhütung unbeabsichtigten Losdrehens beim Anhalten der Kurbel der in Bewegung befindlichen Maschine. Nach dem Entfernen des Schnurwirtels lässt sich die Achse nach vorn aus ihrem Lager herauschieben und dann sammt der Scheibe nach oben aus dem Gestell herausheben. Man könnte auch die Achse sammt Schnurwirtel an ihrer Stelle lassen und die Glasscheibe nach dem Abschrauben der vorderen Hartgummischeibe von der Achse losnehmen; das empfiehlt sich aber weniger, weil man die an der Glasscheibe festsitzende Achse (nach dem Abwischen des anhaftenden Oeles) sehr bequem als Handgriff beim Reinigen der Scheibe benutzen kann.

Um die Maschine auch bei ungünstiger Luftbeschaffenheit, zumal in einem stark gefüllten Auditorium brauchbar zu erhalten, erwärmt man sie etwas durch die strahlende Wärme eines Gas-Argandbrenners, der auf einem kleinen Fusse montiert ist und sich innerhalb des Rahmengestells der Maschine aufstellen lässt; die Flamme

⁶⁾ Bei grösserem Abstände influenzieren sie die Metallkämme auf der Rückseite der Glasscheibe zu wenig; bei geringerem Abstände geht zu viel Elektrizität von ihnen auf die Scheibe über. Auch wenn man die Cylinder aus besser leitendem Material als Holz, etwa aus Metall macht, geben sie zuviel Elektrizität an die Scheibe ab.

des Brenners soll etwas tiefer liegen, als die Achse der Maschine. Behufs raschen Anwärmens giebt man dem Brenner die Stellung innerhalb des Gestells, aber so weit von der Scheibe weg, als der freie Raum des Gestells erlaubt; nach erfolgtem Anwärmen stellt man ihn ausserhalb des Gestells, aber noch ziemlich nahe an den Conductoren auf⁷⁾.

Nicht selten kommt es vor, dass eine Influenzmaschine auch nach dem Anwärmen nicht ordentlich gehen will; in solehem Falle hilft nach den Erfahrungen des Verfassers ganz sicher das Abwaschen der Scheibe; gewöhnlich genügt reines Wasser, manchmal aber muss man kaltes Seifenwasser nehmen⁸⁾.

Zum Waschen bedient man sich zweckmässig eines weichen Schwammes; nach dem Waschen, zumal wenn man Seife benutzt hat, spült man reichlich mit reinem Wasser ab, lässt die Scheibe etwas ablaufen, trocknet sie durch sanftes Wischen mit einem reinen, weichen Tuche oder durch Betupfen mit Fliesspapier oberflächlich und dann vollständig durch Erwärmen, entweder nach dem Wiedereinsetzen in die Maschine mittels des Argandbrenners oder vorher durch Aufstellen am warmen Ofen.⁹⁾

Was durch das Abwaschen eigentlich entfernt wird, vermag Verfasser nicht anzugeben; möglicherweise handelt es sich um minimale, von der Verbrennung von Leuchtgas herrührende Spuren von Schwefelsäure — gewöhnlicher Staub kann sich bekanntermaassen in grossen Massen an die Scheibe einer Influenzmaschine ansetzen, ohne der Wirkung der Maschine erheblich zu schaden.

Um die Maschine zu erregen, entfernt man die Conductoren einige Centimeter von einander, versetzt die Scheibe in Drehung und nähert ihr ein durch Reiben kräftig elektrisiertes Hartgummiblatt von der Rückseite her an einer der Stellen, welche den Kupferspitzen *a* und *b* gegenüberliegen; da man die Kurbel mit der Rechten dreht, ist es am bequemsten, das Horngummiblatt links unten (gegenüber *a*) an die Scheibe zu halten; dann wird *i* zum negativen, *l* zum positiven Conductor. Zum Reiben des Hartgummiblattes benutzt man ein Stückchen Pelzwerk oder besser noch Hemdenflanell, weil sich von letzterem weniger leicht

⁷⁾ Am Brenner selbst angebracht oder noch besser in die Schlauchleitung, welche ihn speist, eingeschaltet ist eine Reguliervorrichtung, welche gestattet den Gaszufluss rasch soweit zu verringern, dass nur noch ein kaum sichtbarer, blauer Ring dicht über den Brennermündungen übrig bleibt, und welche doch ein völliges Ausdrehen der Flamme verhindert; das Verkleinern der Flamme bis zur fast völligen Unmerklichkeit ist häufig nötig, wenn man die Funken oder Strahlungsbüschel zeigen will.

Neuere Argandbrenner sind häufig mit einem drehbaren Griff versehen, der durch Drehung einer in der Brennerachse liegenden Schraube eine Regulierung der Flammengrösse ohne Gefahr des Auslöschens gestattet; für den vorliegenden Zweck empfiehlt sich aber mehr die Verwendung eines Regulierdoppelhahnes, weil man diesen an einer bequem zugänglichen Stelle der Schlauchleitung anbringen kann, während der Gasbrenner selbst für den Experimentator etwas unbequem, im Dunkeln auch nicht immer ohne Gefahr des Verbrennens oder einer unbeabsichtigten Entladung der Maschine zu erreichen ist.

Ein Regulierdoppelhahn besteht bekanntlich aus zwei Hähnen mit nach verschiedenen Seiten liegenden Griffen; die Hähne sind in eine Parallelverzweigung der Gasleitung eingeschaltet; der eine wird so gestellt, dass die Flamme nur eben noch fortbrennt, wenn der zweite Hahn geschlossen ist; durch Oeffnen und Schliessen des zweiten Hahnes lässt sich dann die Flamme rasch vergrössern und verkleinern.

⁸⁾ Warmes würde leicht den Lacküberzug der Scheibe verderben.

⁹⁾ Oder durch Auflegen auf eine besondere Wärmevorrichtung für elektrische Apparate; Demonstr. 2. Aufl. S. 15.

Fasern ablösen; das Hartgummiblatt kann man, ohne ihm zu schaden, ziemlich stark, nämlich bis zum Weichwerden über der Flamme des Argandbrenners erwärmen.

Die Maschine giebt in rascher Folge Funken bis zu 16 cm Länge, d. i. bis zum grössten möglichen Abstand der Conductoren; treten bei diesem grössten Abstände Ausstrahlungen an der kleinen Kugel des positiven Conductors auf, so kann man die Funkenentladung herbeiführen durch Vorhalten eines Hartgummiblattes vor diese Kugel.

Ein Polwechsel kommt bei der Maschine absolut nicht vor, er lässt sich aber sofort hervorrufen, wenn man einen Holzcyliner oder noch besser beide mit einer isolierenden Glashülle versieht. Bei einer Annäherung der Conductoren auf weniger als 2 cm kommt die Maschine leicht ausser Gang, wenn man sie nicht sehr rasch dreht.

Will man im elementaren Unterricht die Maschine nicht nur als ergiebige Elektrizitätsquelle benutzen, sondern ihre Wirkungsweise erklären, so kann dies

unter Zuhilfenahme einer Wandtafelzeichnung, welche wie Fig. 3 nur die wesentlichsten Teile der Maschine, aber mit Angabe der Strahlungsbüschel, der Ladungen und der Stromrichtung giebt¹⁰⁾, wohl etwa in folgender Weise geschehen:

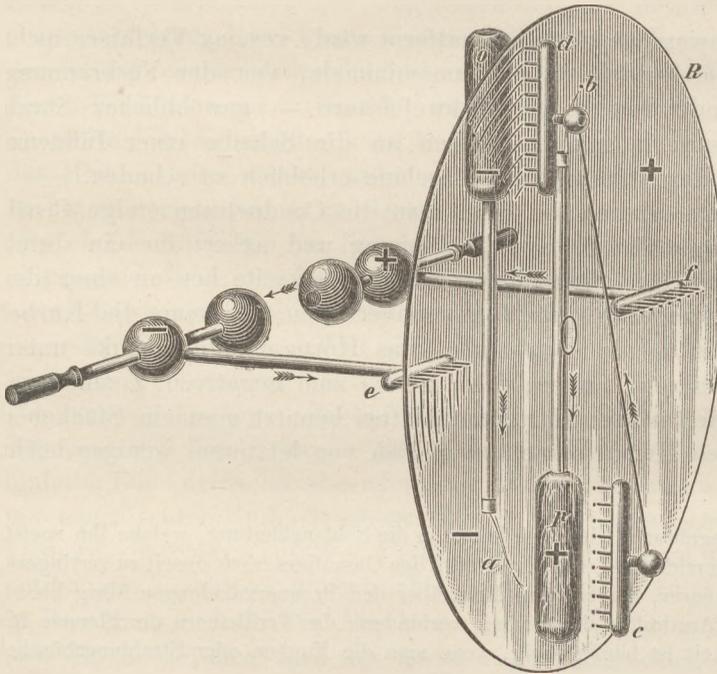


Fig. 3.

1) Die Annäherung des negativen Hartgummiblattes an die rotierende Scheibe in der Nähe von *a* bewirkt durch die Scheibe hindurch eine Verteilung in dem Kupferstreifen, dem damit verbundenen Stanniolstreifen und dem Holzcyliner *o*; negative Elektrizität wird nach *o* getrieben, positive bei *a* auf die rotierende Scheibe ausgestrahlt und von dieser mit fortgeführt.

2) Die in *o* angesammelte negative Elektrizität influenziert den Kamm *d*; die negative Influenzelektrizität zweiter Art fliesst ab, da der Kamm nicht isoliert ist; die positive Influenzelektrizität erster Art strahlt auf die Rückseite der rotierenden Scheibe und wird von dieser mitgenommen. Die von *d* ausgestrahlte Menge positiver Elektrizität ist viel grösser, als die von *a* ausgestrahlte, weil die

¹⁰⁾ Die positiven Ausstrahlungen sind durch Striche (bei *a*, *d* und *e*), die negativen durch Punkte (bei *b*, *c* und *f*) angedeutet; die Pfeile geben die Strömungsrichtung der positiven Elektrizität; die durch die Säule *S* (Fig. 1) gebildete Verbindung der Käme *c* und *d* ist in Fig. 3 nur durch einen schrägen Strich angedeutet.

negative Elektrizität von d ungehindert abfließen kann, während die von a sich in o sammelt; sobald die Ladung die volle Stärke erreicht hat, kann von a nur soviel positive Elektrizität ausgestrahlt werden, als o durch Ausstrahlung negative verliert.

3) Die mit positiver Elektrizität bei b vorbeikommende Scheibe bewirkt eine ähnliche Influenz, wie das negative Hartgummiblatt bei a , nur natürlich mit entgegengesetzten Vorzeichen; so wird negative Elektrizität ausgestrahlt, welche einen kleinen Teil der positiven Elektrizität von R bindet bzw. neutralisiert, und positive Elektrizität wird nach p getrieben.

4) Die nach dem Vorbeigang von b noch auf R hier vorhandene positive Elektrizität (vorzugsweise auf der Rückseite von R sitzend), influenziert beim Vorbeigang an dem Sauger f diesen und den damit verbundenen Conductor; negative Elektrizität wird bei f ausgestrahlt und positive in den Conductor getrieben, dieser also positiv geladen.

5) Die von f auf die Vorderseite von R gestrahlte negative Elektrizität bindet die noch auf der Rückseite von R vorhandene positive¹¹⁾ u. d. wird von ihr gebunden.

6) Die positive Ladung von p influenziert den Kamm e in ähnlicher, nur gerade umgekehrter Weise, wie die von o den Kamm d ; negative Elektrizität wird von e ausgestrahlt, während positive fortgetrieben wird; letztere vereinigt sich von nun an mit der von d abfließenden negativen Elektrizität.

7) Von e wird (infolge der Influenzwirkung von p) soviel negative Elektrizität ausgestrahlt, dass nicht nur die positive Elektrizität auf der Rückseite von R neutralisiert und dadurch die negative auf der Vorderseite frei gemacht wird, sondern dass auch auf der Rückseite von R sich noch negative Elektrizität ansammelt. Von nun an geht der Vorgang auch nach der Entfernung des Hartgummiblattes weiter, weil jetzt die rotierende Scheibe auf beiden Seiten stark negativ geladen an a vorbeikommt; a wird fortdauernd influenziert und somit o immer bis zur Sättigung negativ geladen gehalten.

8) Die aus a ausströmende, geringe Menge positiver Elektrizität neutralisiert einen kleinen Teil der auf der Vorderseite von R befindlichen negativen; R kommt noch beiderseits stark negativ geladen an den Sauger e und influenziert diesen und den damit verbundenen Conductor i ; letzterer wird negativ geladen, während die aus e ausstrahlende positive Elektrizität die auf der Vorderseite von R befindliche negative neutralisiert und die auf der Rückseite von R bindet.

9) Von nun an erfolgen bei d , b und f die entsprechenden Vorgänge, wie unter (7) und (8) für e , a und e angegeben, natürlich sämtlich mit entgegengesetztem Vorzeichen.

Lässt man die Maschine im Dunkeln arbeiten, so sind die Ausstrahlungen in den für die beiden Elektrizitäten charakteristischen Formen sehr gut zu sehen; besonders wenn man die Verstärkungsflaschen entfernt, damit nur schwache, nicht zu hell leuchtende Funken zwischen den Conductoren überspringen. Dass die rotierende Scheibe in der Gegend zwischen a und e negativ, in der Gegend zwischen b und f positiv ist, weist man nach durch die positiven, beziehentlich

¹¹⁾ Mehr oder weniger vollständig, je nachdem die positive Elektrizität aus l mehr oder weniger vollkommen entfernt wird und also aus f mehr oder weniger negative Elektrizität ausstrahlen kann.

negativen Ausstrahlungen der Influenzelektricität eines genäherten, nach der Erde abgeleiteten Körpers, entweder der Fingerspitze oder besser eines etwa 2,5 mm starken Drahtes, den man in Form einer Haarnadel biegt, an den Enden mit den Fingern fasst und mit der Biegung gegen die Scheibe hält; die negativen Ausstrahlungen sind bei Anwendung eines solchen Drahtes besser von den positiven zu unterscheiden, als bei Anwendung der Fingerspitze. Um die positiven Ausstrahlungen zu zeigen, nähert man den Drahtbügel der Scheibe nur bis auf etwa 7 cm; bei grösserer Annäherung erhält man anstatt der Büschel nur ein blaues Glimmlicht. Natürlich erhält man die Ausstrahlungen an dem Drahtbügel sowohl, wenn man diesen der Rückseite, als wenn man ihn der Vorderseite der Scheibe nähert.

Sind die Conductoren einander ziemlich nahe, so wird bei e und f viel Elektricität ausgestrahlt; die Neutralisation der Elektricität auf der Vorderseite und die Bindung auf der Rückseite von B sind ziemlich vollkommen und man erhält bei Annäherung des Drahtbügels an die rotierende Scheibe oberhalb e und unterhalb f keine oder nur ganz schwache Ausstrahlungen. Entfernt man die Conductoren möglichst weit von einander, so dass die in ihnen erregten Influenzelektricitäten zweiter Art sich nicht zu leicht vereinigen können und dementsprechend die Influenzelektricitäten erster Art bei e und f in etwas beschränkter Menge ausgestrahlt werden, so ist die Neutralisation und Bindung auf der rotierenden Scheibe nur unvollkommen; man erhält dann bei Annäherung des Drahtbügels über e positive, unter f negative Ausstrahlungen am Bügel, und die Ausstrahlungen bei d und c werden stärker, als bei geringem Abstände der Conductoren. Setzt man bei weit von einander entfernten Conductoren die Verstärkungsflaschen m und n an ihre Stelle, so sieht man unmittelbar nach jeder Entladung, also wenn die Influenzelektricitäten zweiter Art leicht in die Flaschen abfliessen, an c und d nur mässige Ausstrahlungen, die sich in dem Maasse vergrössern, wie die zunehmende Ladung der Flaschen den Abfluss der Influenzelektricitäten zweiter Art und also auch die Ausstrahlung der Influenzelektricitäten erster Art bei e und f erschwert und demgemäss die Neutralisation und Bindung der Elektricitäten auf der rotierenden Scheibe unvollkommen macht.¹²⁾

Der Foucault'sche Pendelversuch.¹⁾

Von

M. Koppe in Berlin.

Wie Foucault's Bestimmung der Geschwindigkeit des Lichts, so gehört meist auch sein Nachweis der Rotation der Erde zu den Versuchen, welche im Unterricht nur historisch behandelt werden. Es scheint die Ansicht weit verbreitet, dass zur sicheren Anstellung des Pendelversuchs entweder so ausserordentliche Dimensionen notwendig sind, wie sie bei dem berühmten auf Wunsch des Prinzen Louis Napoleon im Pantheon angestellten Versuche angewandt wurden, wo an

¹²⁾ Die mechanische Werkstatt von G. Lorenz in Chemnitz liefert die Maschine in der in Fig. 1 im Maassstab 1:5 dargestellten Grösse (Scheibendurchmesser 45 cm) zum Preise von 115 Mark.

¹⁾ Vorgetragen im Verein zur Förderung des physikalischen Unterrichts zu Berlin am 28. März 1887.

einem 67m langen Drahte eine Kugel von 28 kg pendelte, oder dass man bei mässiger Länge, d. h. 3–4m, einer besonders künstlichen und daher kostspieligen Cardanischen Aufhängung mittelst zweier in einem Punkte sich rechtwinklig kreuzender Schneiden nicht entraten könne.

Bei dem von Martus in seiner ‚Astronomischen Geographie‘ beschriebenen Pendel der Königstädtischen Realschule in Berlin sind beide Vorzüge vereinigt, es bleibt 7 Stunden lang in gradlinigem Gange, während welcher Zeit sich die Schwingungsebene um 90° dreht. Die Kosten dieser Einrichtung sind indessen sehr beträchtlich. Die Weinhold'sche Aufhängung (*Demonstr. 1. Aufl., S. 98*), deren Preis geringer, aber noch immer nicht unerheblich ist, setzt mässige Höhe voraus, bewahrt jedoch das Pendel durchaus nicht vor elliptischem Gange. Das von Schuller (*Wied. Ann. XIX, 1883*) beschriebene Pendel von 1 bis 2m Länge hat eine Cardanische Aufhängung, welche durch ein Laufgewicht an der mitschwingenden Schneide so zu regulieren ist, dass die Schwingungsdauer für die beiden Haupt-Schwingungsrichtungen, mithin auch für alle Nebenrichtungen, genau gleich wird. Dies ist erreicht, wenn das Pendel bei einer mittleren Schwingungsrichtung kein Bestreben zeigt, in elliptische sich erweiternde Bahnen überzugehen, wie solche bei dem Lissajous'schen Versuch mit zwei nahezu gleich gestimmten Stimmgabeln auftreten. Die erwähnte Correktion ist bei kurzen Pendeln unerlässlich wegen der folgenden mit dem Auftreten elliptischer Schwingungen verbundenen sekundären Erscheinung. Ein Pendel kann nur unendlich kleine Schwingungen dauernd in einer unveränderten Ellipse ausführen, bei grösserer Schwingungsweite bewirkt die dann merkliche Abweichung der wirksamen Kraft von einer genau der Entfernung proportionalen Centralkraft eine Störung, derzufolge die Axe der Ellipse sich in derselben Richtung dreht, in welcher das Pendel ihren Umfang durchläuft. Diese Drehung würde die aus der Erdrotation resultierende verdecken.

Die Cardanische Aufhängung scheint zuerst von Garthe 1852 bei den durch Genauigkeit ausgezeichneten Versuchen im Cölnher Dom angewandt zu sein. Gauss ersetzte 1853 die Zapfen des Cardanischen Gelenkes durch Schneiden. Der Versuch, durch welchen Foucault sich zuerst 1851 von der Richtigkeit seiner Spekulation überzeigte, ist dagegen ohne künstliche Aufhängung mit einem 2m langen Pendel und einer 5 kg schweren Kugel angestellt worden. Auch bei den ersten Wiederholungen in anderen Breiten wurden mässige Längen angewandt, z. B. in Rio de Janeiro eine solche von 4m. Die Unvollkommenheit so kurzer Pendel tritt allerdings darin hervor, dass manche Beobachter eine geringe Abhängigkeit der Drehungsgeschwindigkeit vom Azimut zu finden glaubten, die sich als irrig erwies. Immerhin waren aber die Abweichungen vom normalen Gange so geringfügig, dass die Brauchbarkeit solcher Versuchsanordnungen für Demonstrationszwecke nicht in Frage gestellt wird.

Frick (*Physik. Technik*) hält eine Länge von 6m für erforderlich und benutzt zur Aufhängung einen an der Decke befestigten Haken, dessen unterer wagerechter Teil entweder eine feine Oeffnung zur Hindurchführung des um den Schaft gewickelten Drahtes enthält, oder aber einen ringförmigen Bügel trägt, an den sich der Draht anschliesst. In letzterem Falle hat der aufliegende Teil des Bügels eine harte Stahlspitze, zu deren Aufnahme der Haken mit einer pfannenartigen Aushöhlung versehen ist. Da der Ring nach verschiedenen Schwingungsrichtungen ein verschiedenes Trägheitsmoment zu dem des Pendels beiträgt, so ist hier die oben erwähnte Lissajous'sche Erscheinung nicht eliminiert. Ausserdem wird ein

in einen Balken geschraubter Haken an seinem freien Ende gegen äussere Kräfte ziemlich nachgiebig sein und zwar nicht nach allen Seiten in gleichem Maasse, da der eingeschraubte Teil in der Richtung der Fasern des Balkens grössere Beweglichkeit hat als quer dazu. Die Schwingungsdauer des Pendels wird daher aus der Länge des freien Fadens und der Einwirkung der Schwerkraft nicht genau gefunden, es müssen noch die elastischen Kräfte in Betracht gezogen werden, die den nach der Seite gebogenen Haken in seine natürliche Lage zurücktreiben. Es wird dadurch eine von der Schwingungsrichtung abhängige Schwingungsdauer und somit wieder die Störung durch die Erscheinungen des Doppelpendels eingeführt.

Eine grössere und nach allen Richtungen gleichmässige Festigkeit erzielt man durch die folgende Vorrichtung, welche der Form des ersten Foucault'schen Versuches sehr nahe kommt. Eine quadratische Bronzeplatte von etwa 4 cm Seite und 3 mm Dicke wird in der Mitte mit einer feinen Durchbohrung versehen, die sich oben konisch erweitert. Durch diese geht der von der Pendelkugel kommende, 0,5 mm dicke Eisendraht hindurch, der oberhalb in eine Messingkugel von 1 cm Durchmesser eingelötet ist. An den vier Ecken ist die Platte durchbohrt, um sie von unten gegen einen an der Decke des Zimmers befindlichen Balken festzuschrauben, in dem sich eine Aushöhlung als Spielraum für die Messingkugel befindet. Ein so aufgehängtes Pendel hatte bis zur Mitte der 5,5 kg schweren Bleikugel eine Länge von 3,674 m. In die Kugel lässt sich unten eine Messingspitze, oben eine Messinghülse einschrauben. Letztere wird mit der oberen feinen Öffnung voran auf den Draht hinaufgeschoben und das untere Ende desselben um ein kurzes Stück Kupferdraht gewickelt, der nach Zusammenbiegung seiner beiden Hälften in dem unteren weiteren Teile der wieder herabgelassenen Hülse Platz findet.

Die Pendelkugel wird, nachdem die langsamen drehenden Schwingungen unmerklich geworden sind, mittelst eines ihren Umfang schleifenförmig umfassenden Bindfadens gegen eine 1,3 m entfernte Wand um 2 dm senkrecht herangezogen. Auf der andern Seite des Pendels steht, 3 m von ihm entfernt, ein Tisch, an dessen der Wand parallelem Rande eine Petroleumlampe mit rundem Fuss und axialer Flamme um genau messbare Grössen verschoben werden kann. Diese wirft von dem Pendelfaden auf eine an der Wand angebrachte horizontale Skala einen breiten Schatten, der als Bild der Flamme aufzufassen ist, und dessen scharfe Ränder sehr deutlich erkennen lassen, ob das Pendel vor Beginn des Versuchs völlig ruhig hängt. Die Lampe stehe anfangs in der durch den Pendelfaden zu legenden Vertikalebene, die auch zu der Wand senkrecht ist. Macht man das Pendel frei, indem man den Bindfaden durchbrennt, so scheint während der ersten Schwingung die Mittellinie des Schattens festzustehen, während seine Ränder sich gleichmässig erweitern, um sich bei der zweiten Schwingung wieder zusammenzuziehen. Sehr bald verschwindet die Symmetrie und der Schatten schwingt als Ganzes hin und her. Man kann ihn jedoch wieder zum Stillstand bringen, wenn man die Lampe um eine gewisse Strecke verschiebt, die etwa so viel cm beträgt, als Minuten verflossen sind. Diese Strecke stellt die Tangente des Drehungswinkels für einen Radius von 3 m dar. Aus zwei Versuchen, die eine Zeitdauer von 19^m und 1^h 4^m hatten, ergab sich die stündliche Drehung resp. gleich 12° 16' und 12° 51', statt des theoretischen Wertes $15^\circ \cdot \sin \varphi = 11^\circ 54'$ für die Breite von Berlin.

Man kann die Drehung noch einfacher erkennen, aber nicht so genau messen, durch Beobachtung des Schattens, den die feststehende Lampe von der

Spitze der schwingenden Pendelkugel auf den Fussboden wirft. Zum Auffangen desselben benutzt man eine Kreisscheibe von 5 dm Durchmesser, auf welcher Radien in 12° Abstand sowie concentrische Kreise in 1 cm Abstand gezeichnet sind, und legt dieselbe so, dass bei der Ruhelage des Pendels der Schatten der Spitze auf das Centrum fällt. Die Kreise liessen erkennen, dass in einer Stunde die halbe Schwingungsweite von 20 cm auf 16 cm sank, die entstandene Ellipticität war hier kaum merklich.

Es sei hier eingeschaltet, dass das beschriebene Pendel (dessen Herstellungskosten etwa 12 Mk. betragen), sich auch zu anderen Versuchen brauchbar erweist. Zunächst zur Ermittlung von g . Um die Schwingungsdauer zu bestimmen, wurde ein kleines Fernrohr auf die Gleichgewichtslage des Pendelfadens eingestellt, das Pendel quer zur Blicklinie in kleine Schwingungen versetzt, und dann von einem Beobachter etwa 5 Minuten lang jeder zehnte Durchgang durch die Mitte des Gesichtsfeldes mittelst eines hörbaren Zeichens markiert, dessen Zeitpunkt (a) von einem zweiten Beobachter nach Sekunden notiert wurde. Ist x die Zeit des ersten Durchganges, y die Dauer von 10 Schwingungen, so hat man die Gleichungen

$$x + y = a_1, \quad x + 2y = a_2, \quad \dots \quad x + ny = a_n$$

denen am genauesten durch diejenigen Werte x, y genügt wird, welche

$$(x + y - a_1)^2 + (x + 2y - a_2)^2 + \dots + (x + ny - a_n)^2$$

zu einem Minimum machen. Diese folgen aus den Gleichungen:

$$nx + \frac{n(n+1)}{2}y = a_1 + a_2 + \dots + a_n,$$

$$\frac{n(n+1)}{2}x + \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}y = a_1 + 2a_2 + \dots + na_n.$$

Es ergibt sich

$$y = \frac{(n-1)(a_n - a_1) + (n-3)(a_{n-1} - a_2) + (n-5)(a_{n-2} - a_3) + \dots}{(n-1)^2 + (n-3)^2 + (n-5)^2 + \dots}$$

So fand man, dass die Dauer von 90 Schwingungen = 173,00 Sekunden war, und hieraus mittelst der oben angeführten Länge l des Pendels $g = \pi^2 l / t^2 = 9,813$ m. Da die Pendelkugel den Radius $r = 5$ cm hat, so müsste die Länge noch um $\frac{2}{5} \cdot r^2 / l$, d. h. etwa $\frac{1}{3}$ mm, vergrössert werden, doch beeinflusst diese Correktion erst die dritte Decimalstelle um eine Einheit und kann daher unterbleiben.

Ferner lässt sich dieses Pendel bei der Ableitung der Pendelformel verwerten, um den Deduktionen durch Anschauung grössere Klarheit zu verleihen. Die Kraft, welche auf eine um die Strecke d aus der Gleichgewichtslage gezogene Pendelkugel wirkt, ist gleich dem Gewicht, welches die Masse derselben auf einem fingierten Planeten von der Schwere-Beschleunigung $g \cdot d/l$ haben würde. Diese bei kleinen Pendeln sehr geringe Kraft kann hier schon dadurch nachgewiesen werden, dass man die Kugel erst durch einen einfachen, dann durch einen doppelten Faden soweit zur Seite zieht, bis dieser reisst. Die Ausweichungen, bei denen dies geschieht, werden durch den Schatten auf der Kreisscheibe gemessen und verhalten sich wie 1 : 2. Um die Grösse der Kraft für jeden Abstand genau zu bestimmen, übt man den Zug durch einen stärkeren Faden aus, in welchen eine Federwage oder ein Dynamometer eingeschaltet ist.

Endlich kann man ein Stück des Pendelfadens (von der Kugel bis zu einer mit zwei Fingern gefassten Stelle) so abgrenzen, dass es mit dem Violinbogen gestrichen einen vorgeschriebenen Ton giebt, und kann dann einfacher als mit dem



Monochord die Richtigkeit der Formel für die Schwingungszahl einer Saite erproben. —

Wir kehren nach dieser Abschweifung zu der Behandlung des Foucault'schen Pendelversuchs zurück. Da das von Foucault durch eine scharfsinnige Hypothese errathene Gesetz über das Verhalten des Pendels in verschiedenen Breiten theoretisch nur durch eine Reihe schwieriger Schlüsse abgeleitet werden kann, so scheint es angemessen, dasselbe im Unterricht experimentell zu verifizieren. Das bekannte auf die Schwungmaschine zu setzende Pendelgestell gestattet nur, die Erscheinung für den Pol nachzuahmen. Dagegen ist ein von Eisenlohr angegebener Apparat für die allgemeine Darstellung des Gesetzes geeignet. Da derselbe wenig verbreitet zu sein scheint, so folge hier eine Beschreibung (Fig. 1).

In einem mit Gradteilung versehenen festen Messingring von mindestens 4 dm Durchmesser, 1 cm radialer Breite, 3 mm Dicke, z. B. dem Meridianring eines Globus, werde als Durchmesser ein elastischer Faden ausgespannt, und bei der

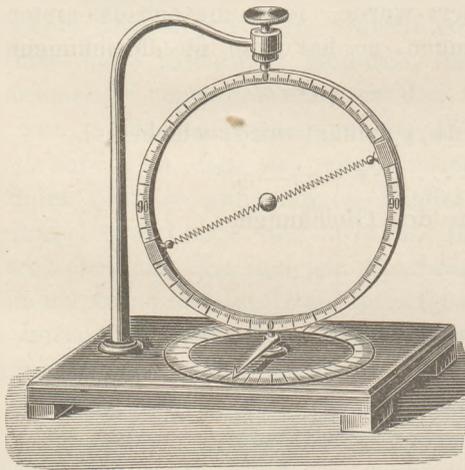


Fig. 1.

Befestigung Sorge getragen, seine natürliche Struktur an den Enden möglichst wenig zu ändern. Der Faden muss, nach beliebiger Richtung aus seiner Gleichgewichtslage gezogen, dauernd in einer Ebene schwingen. Es eignen sich hierzu vierkantige Gummifäden, deren Enden gegen die Fläche des Ringes durch anzuschraubende Messingplatten fest angepresst werden, ferner dünne starkwandige Gummischläuche, die man stark gespannt durch radial gebohrte cylindrische Löcher führt und aussen befestigt, endlich am besten — wegen ihrer lange andauernden Schwingungen — dünne Messingspiralen, welche so weit ausgezogen sind, dass ihre

Windungen beim Schwingen nicht mehr aneinander schlagen. Man befestigt sie mit Hilfe kurzer cylindrischer Messingzapfen, die man in die äussersten Windungen unter möglichst localer Erwärmung einlötet. Als Träger dienen zwei Schieber, welche sich auf dem Messingringe verstellen lassen. Auf die Mitte der Spirale kann eine Messingkugel geschoben werden, um die Aehnlichkeit mit einem Pendel auch äusserlich hervortreten zu lassen.

Der Messingring wird noch mit einer Vorrichtung versehen, welche gestattet, ihn leicht um einen beliebigen Durchmesser als vertikale Axe zu drehen und den Betrag der Drehung auf einer horizontalen Kreisteilung durch einen sich mitdrehenden Zeigerarm zu messen.

Fällt der von der Spirale eingenommene Durchmesser mit der Drehungs-Axe des Ringes zusammen, so wird, nachdem die Spirale in Schwingungen versetzt ist, ihre durch die Fortdauer des Gesichtseindrucks verkörperte Schwingungsebene bei beliebigen Drehungen des Ringes absolut fest in ihrer ursprünglichen Richtung gegen die Wände des Zimmers verharren.

Wird die Spirale in den zur Drehungsaxe senkrechten Durchmesser gestellt, so bleibt die Schwingungsebene fest in Bezug auf den Messingrahmen, was besonders scharf zu beobachten ist, wenn sie mit seiner Ebene zusammenfällt oder darauf senkrecht steht. In letzterem Falle erweckt die mit dem Ringe rotierende

Spirale im Auge den Eindruck der getrennten Speichen eines horizontal stehenden Rades.

Giebt man der Spirale eine Neigung von 30° gegen den Horizont, während die Drehungsaxe wie immer senkrecht steht, so bewirkt eine Drehung des Ringes um 180° , dass die anfangs in seiner Ebene schwingende Spirale ihre Schwingungsebene senkrecht zu der Ebene des Ringes stellt. Denn es ist hier das Verhältnis der relativen Drehungsgeschwindigkeit der Schwingungsebene zu der absoluten des Rahmens = $\sin 30^\circ = 1/2$. Es ist leicht zu sehen, dass der Apparat auch für andere Breiten die genaue Messung des dort weniger einfachen Verhältnisses gestattet.

Es ist übrigens nicht nötig, dass die Drehung des Rahmens gleichmässig erfolgt. Immer wenn er um gleiche Winkel in positivem und negativem Sinne gedreht, also in seine alte Lage zurückgekommen ist, hat auch die Schwingungsebene ihre alte Lage, sowohl relativ als absolut, wieder angenommen.

Noch auf eine zweite Art, nämlich mittelst steifer elastischer Stäbe, lässt sich der Foucault'sche Versuch im Kleinen nachbilden. Foucault selbst giebt an, dass die zufällige Beobachtung eines schwingenden runden Stahlstabes, der an einer rotierenden Welle in Richtung ihrer Axe befestigt war, ihm die erste Anregung zu seinem Versuche gegeben habe.

Man klemme eine Stricknadel mit dem einen Ende zwischen eine Tischplatte und ein gegen diese gedrücktes glattes Holzstück und setze ihr freies Ende in Schwingungen, die in ergiebigem Maasse nur in vertikaler Richtung hervorzubringen sind. Bewegt man nun das Holzstück unter Druck längs des Tisches hin, so dass die Stricknadel sich sehr oft um ihre Axe dreht, so bleibt die Schwingungsebene unverändert vertikal.

Um diesen Versuch zu vervollkommen, befestige man die Stricknadel in der Axe eines cylindrischen Holzstückes, indem man sie, ohne ein Loch vorzubohren, zwischen die Fasern hineinzudrängen sucht. Man erreicht dadurch am leichtesten, dass sie nach jeder Richtung ebener Schwingungen fähig ist. Rollt man nun den Holzcyliner unter Druck über einen Tisch hin, so bleibt die Schwingungsrichtung der Nadel unverändert in derselben absoluten Richtung.

Man befestige endlich den genannten Holzcyliner in einem Schraubstock, dessen oberer Teil sich durch Drehung um eine vertikale Axe gegen den unteren verstellen lässt. Bildet die Stricknadel mit dem Horizont einen Winkel von $52\frac{1}{2}^\circ$ gleich der Breite von Berlin, so bewirkt eine Drehung des Schraubstocks um $\frac{5}{4}$ Rechte, dass die Schwingungsebene eine Viertel-Drehung um die Axe des sie haltenden Cylinders ausführt.

Wir wenden uns nun zur Theorie des Foucault'schen Pendels. Befindet sich dasselbe am Pol, so könnte sein Aufhängepunkt durch ein Uhrwerk so gedreht werden, dass er an der täglichen Rotation der Erde nicht teilnimmt. Ein solches Pendel würde, durch einen Stoss aus der Gleichgewichtslage in Bewegung gesetzt, in einer gegen den Weltenraum festen, stets durch dieselbe Sterne hindurchgehenden Ebene schwingen. Die relative Bahn²⁾ ist eine schleifenförmige Curve von beistehender Gestalt, welche für ein Pendel von 2^{sec.} Schwingungsdauer mehr als 5000 Schleifen auf einen Quadranten enthält. Denkt man sich jede von diesen auf ihre Mittellinie reduziert, so beschreibt das Pendel eine Reihe von Ebenen, die sämtlich in der

²⁾ Herschel, outlines of astronomy, art. 245.

Gleichgewichtslage entspringen, so dass sich bei jedem Durchgange durch dieselbe die Schwingungsrichtung plötzlich ändert. Spricht man von der Drehung der Pendelebene, so liegt diese Voraussetzung zu Grunde. Dadurch dass nun aber der Aufhängepunkt in Wirklichkeit an der Rotation der Erde teilnimmt, überträgt sich

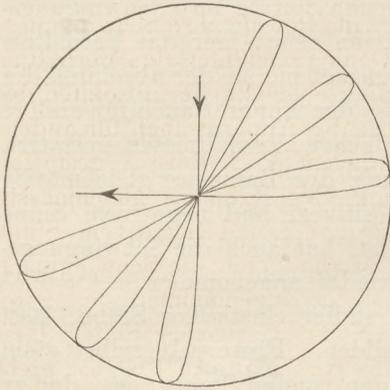


Fig. 2.

schon in der Ruhelage die Winkelgeschwindigkeit der Erde auf die Pendelkugel. Ein Pendel mit rotierender Kugel, sog. gyroskopisches Pendel, dreht aber schon an sich die Pendelebene im Sinne seiner Winkelgeschwindigkeit (ϑ), und zwar in 1 sec. um $\frac{1}{5} \cdot r^2 \vartheta / l^2$, wenn r der Radius der Kugel, l die Pendellänge ist³⁾. Seine Bahn hat daher⁴⁾ die Gestalt der Figur 2. Hierdurch wird die scheinbare Drehung der Pendelebene am Pol um den Bruchteil $\frac{1}{5} \cdot r^2 / l$ vermindert, der allerdings bei der gewöhnlichen Form des Pendels wenig erheblich ist. Um die sehr auffälligen Bahnen eines gyroskopischen Pendels zu zeigen,

kann man einen mit Meridianring versehenen Globus benutzen. Der Ring wird an dem Pendelfaden befestigt und erst frei gelassen, nachdem man den in ihm schwebenden Globus in schnelle Rotation versetzt hat.

Für den Aequator ist umgekehrt die relative Bahn des Pendels einfacher als die absolute. Dass dort eine von Westen nach Osten gehende Schwingungsrichtung sich erhalten muss, ist selbstverständlich, in der That besteht der einzige Einfluss der Erdrotation auf eine solche nur darin, die Schwingung nach Westen zu beschleunigen, die nach Osten zu verlangsamen. Für die Schwingungsrichtung von Norden nach Süden ergibt sich die Unveränderlichkeit, wenn man annimmt, dass die Rotation der Erde um eine durch den Mittelpunkt der ruhenden Pendelkugel zur Erdaxe gezogene Parallele erfolgt, da sich dann die kleinen Schwingungen der Kugel in einer absolut festen Geraden vollzögen. Für andere Azimute ist das Resultat durch Analogie wahrscheinlich, ein strenger Beweis scheint nicht möglich ohne Benutzung der von Coriolis eingeführten fingierten Kraft, welche die Wirkung der Erdrotation auf die Bewegung eines Körpers ebenso darstellt wie die Centrifugalkraft ihre Wirkung auf das Gleichgewicht. Für eine beliebige geographische Breite kann die Pendelebene nicht wie am Pol absolut fest bleiben, da sie immer durch die Vertikale des Ortes geht, und diese während jeder Umdrehung der Erde einen Kegel beschreibt. Foucault machte nun die Annahme, dass die Schwingungsebene von einem Augenblick zum andern ihre Lage um einen möglichst kleinen Winkel so änderte, dass es ihr möglich würde die neue Vertikale in sich aufzunehmen. Es sei M der Mittelpunkt der Erde, A ein Punkt ihrer Oberfläche in der Breite φ oder genauer die Gleichgewichtslage einer dort aufgehängten Pendelkugel, welche von A bis A' schwinde, der Punkt A gelange durch die Erdrotation in 1 Minute nach B , und das Pendel schwinde dort von B bis B' . Dann muss nach der obigen Annahme die neue Pendelebene $M B B'$ senkrecht auf derjenigen Ebene stehen, in welcher der Neigungswinkel von $M B$ gegen die ursprüngliche Pendelebene $M A A'$ gemessen wird. Die Richtungen $A A'$ und $B B'$ stehen auf der

³⁾ Hansen, Theorie der Pendelbewegung, Danzig 1853, pag. 36. — H. Samter, das Gauss'sche Pendel, Greifswald 1886, pag. 49.

⁴⁾ Thomson & Tait, Theoret. Physik, § 74 u. 94.

genannten Neigungsebene der beiden Pendelebenen senkrecht, sind also parallel. Schneiden sich die in A und B an die Erdmeridiane gezogenen Tangenten auf der verlängerten Erdaxe in X , so bildet die Pendelebene mit der Richtung der Mittagslinie anfangs den Winkel $XA A'$, nach 1 Minute den Winkel $XB B'$, sie scheint sich also um $XA A' - XB B' = AXB = 15' \cdot \sin \varphi$ zu drehen.

Denkt man sich statt der rotierenden Erdoberfläche einen Kegelmantel, der sie längs des Parallelkreises des Beobachtungsortes berührt, so verschiebt sich die Umgebung des Ortes während einer kurzen Zeit nicht parallel, sondern so als ob sie um die Spitze des Kegels in $1^{\text{sec.}}$ um $15'' \cdot \sin \varphi$ in ihrer Ebene gedreht würde. Gleichzeitig findet aber noch ein Herumkippen um die Seite des Kegels statt. Man erhält auch auf diese Weise⁵⁾ das Foucault'sche Gesetz, wenn man die zweite Bewegung als wirkungslos ansieht.

Man kann ferner die Drehung der Pendelebene an einem beliebigen Orte zu der scheinbaren Drehung des Himmelsgewölbes in Beziehung setzen. Ein Stern am Nordpunkt des Horizonts und in geringer Höhe beschreibt scheinbar in $1^{\text{sec.}}$ den Bogen $15'' \cdot \sin \varphi$, ein Stern im Zenit den Bogen $15'' \cdot \cos \varphi$. Ertheilt man dem ganzen Himmelsgewölbe die Drehungen $15'' \cdot \sin \varphi$ um die Vertikale und $15'' \cdot \cos \varphi$ um die Mittagslinie des Ortes, oder um eine durch den Mittelpunkt der Erde gezogene Parallele, so kommen nicht nur die beiden genannten Sterne dadurch in eben solche Lagen wie durch die scheinbare Drehung des Himmelsgewölbes um die Weltaxe, sondern dies gilt auch für jeden beliebigen andern Stern, da seine Lage durch die unveränderlichen Abstände von den beiden genannten zugleich mit bestimmt ist. Man kann daher die Erscheinung der täglichen Rotation um den Pol auch als das beständige Zusammenwirken zweier um das Zenit und den Nordpunkt erfolgender Rotationen auffassen, diese lassen sich endlich auch bei feststehendem Himmelsgewölbe als Drehung der Erde um zwei von ihrem Mittelpunkt nach den genannten Punkten hin gehende Axen deuten. Für die erste Drehung um die Vertikale mit der Geschwindigkeit $15'' \cdot \sin \varphi$ verhält sich das Pendel wie ein am Pol aufgehängtes, für die zweite wie ein solches am Aequator. Dies führt zu der Folgerung⁶⁾, dass wenn die Pendelebene durch einen gerade auf- oder bald untergehenden Fixstern hindurchgeht, sie diesen zu enthalten fortfährt, so lange seine Höhe gering ist. Auch wenn man ein Pendel in Richtung der gerade aufgehenden Sonne in Bewegung setzt, wird der Schatten des Pendelfadens nahezu eine gleichmässig fortschreitende, keine schwingende Bewegung zeigen.

Diese rein kinematische Auffassung des Foucault'schen Versuches führt zur Konstruktion eines Apparates, welcher die Drehung der Pendelebene für eine beliebige Breite mittelst einer nach demselben Gesetz sich drehenden starren Ebene versinnlicht. (Fig. 3). Zwei grosse halbkugelförmige Schalen aus Glas seien an ihrem äusseren Rande mit einer ringförmigen Fassung versehen, durch die sie als nördliche und südliche Halbkugel zu einem Himmelsglobus fest vereinigt werden können. Um den letzteren in gewöhnlicher Weise in einem Meridianring drehbar zu befestigen, sei an dem Nordpol direkt ein Zapfen als Axe befestigt, dagegen habe die andere Halbkugel am Südpol eine kleine Öffnung, auf welcher eine Buchse aufsitzt. Erst in letzterer stecke die mit dem Meridianring fest zu verbindende Axe, so dass der Himmelsglobus sich um sie drehen, aber nicht auf

⁵⁾ Herschel, outlines, art. 245.

⁶⁾ Maxwell, matter and motion, art. 106.

ihr gleiten kann. Diese Axe erstreckt sich bis in die Mitte des Himmelsglobus und trägt dort eine kleine nicht drehbare Kugel, welche die Erde darstellt. Es ist jetzt möglich, den Himmelsglobus, dessen Axe nach dem Polarstern zeige, in richtiger Weise um die Erdkugel zu drehen, deren höchster Punkt dem Beobachtungsort entspricht. Um nun die Drehung der Pendel-Ebene zu zeigen, wird

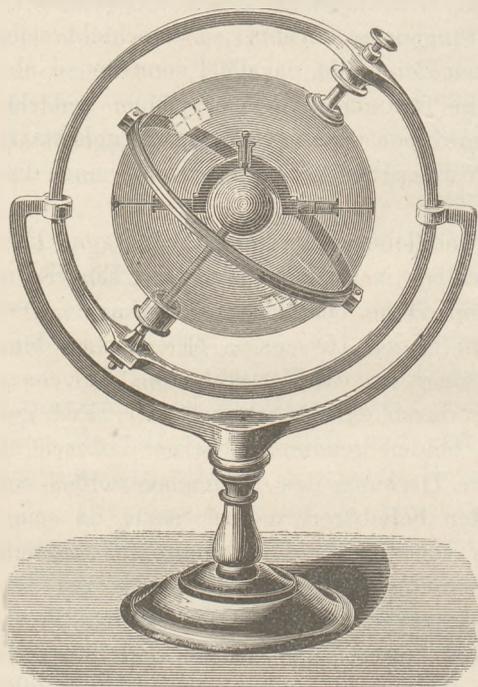


Fig. 3.

die Vertikale des Beobachtungsortes durch eine in dem Erdglobus befestigte lange Nadel dargestellt, deren hervorragender Teil von einer Hülse umschlossen ist, die sich um die Nadel leicht drehen, in vertikalem Sinne aber nicht verschieben lässt. Diese Hülse bildet die Mitte eines halbkreisförmigen, der Erdkugel concentrischen Bügels, der die Pendel-Ebene darstellen soll. Von den beiden Endpunkten des Bügels gehen zwei geradlinige Ausläufer in radialer Richtung nach der gläsernen Kugel, und zwar ist jeder von ihnen derartig unterbrochen, dass sein äusserer Teil durch eine Spiralfeder von dem inneren weggedrängt, also gegen die äussere Kugel gedrückt wird. Dabei muss der äussere Teil, um nicht die Richtung des Durchmessers zu verlieren, in dem inneren eine Führung haben. Durch den Druck der beiden Arme des Bügels gegen die grosse Kugel soll bewirkt werden, dass derselbe in Folge der

Reibung von dem sich drehenden Himmelsglobus mitgenommen wird, in soweit er die gehörige Bewegungsfreiheit besitzt. Er wird daher der Drehungscomponente um die vertikale Axe frei folgen, der anderen nicht. Um die Reibung, insoweit sie nutzlos ist, möglichst gering zu machen, kann man statt einfacher Druckknöpfe an den Enden der Bügelarme kleine Rollen anbringen, deren Axen horizontal bleiben. Ähnliche Apparate sind schon mehrfach construirt worden, von Wheatstone, Silvestre (*Comptes Rendus*, t. 33, 1851), Sire (*Liouville, Journal*, 3. série, t. 7, 1881). Der oben beschriebene würde sich dadurch von ihnen unterscheiden, dass er nicht nur das Gesetz des Sinus zu versinnlichen, sondern auch die Ableitung desselben zu erläutern gestattet.

Zum Schluss sei noch erwähnt, dass wenn man die Lage der Erdaxe und die Umdrehungszeit aus Pendelversuchen allein bestimmen wollte, drei an verschiedenen Orten angestellte Versuche ausreichen würden. Trägt man vom Mittelpunkt der Erde aus auf jedem der zugehörigen drei Erdradien eine Strecke ab, die gleich der Zeit ist, in welcher die Pendelebene an dem Orte eine volle Umdrehung macht, so giebt die durch die Endpunkte der drei Strecken gelegte Ebene die Richtung des Erdäquators an, das auf sie vom Mittelpunkt gefällte Lot die Zeit, in welcher die Erde sich um ihre Axe dreht.

Ein Demonstrationsthermometer.

Von

Dr. Friedrich C. G. Müller in Brandenburg a. H.

Das allbekannte Quecksilberthermometer ist trotz seiner Einfachheit und Wohlfeilheit für Unterrichtszwecke fast unbrauchbar, weil seine Angaben aus der Entfernung nicht sichtbar sind. Dies rührt von der weissen Farbe und dem Spiegelglanze des Quecksilberfadens her. Es hat nun aber keinen Wert, im Unterricht Versuche anzustellen, welche die Schüler nicht verfolgen können, und wobei nur der Lehrer die Ablesungen vornimmt. Denn es ist nicht Aufgabe des Schulversuchs, die Richtigkeit allbekannter Thatsachen endgültig ausser Zweifel zu stellen, sein Zweck ist vielmehr der, die Schüler in den Stand zu setzen, die Naturerscheinungen und deren Gesetzmässigkeit aus eigener Wahrnehmung zu erkennen. Ein derartiges Experiment erfüllt erstens die pädagogische Aufgabe, den Sinn für eine klare Beobachtung und Auffassung realer Dinge und Vorgänge zu wecken und zu üben, zweitens gewinnt es dadurch einen grossen didaktischen Wert, weil die aus eigener Anschauung gewonnenen Kenntnisse aus nahe liegenden Gründen sicherer haften, als wenn sie durch das gesprochene oder geschriebene Wort übermittelt sind.

Demnach ist das erste und selbstverständliche Erfordernis eines guten Schulapparats, dass sein Bau und seine Angaben von normalen Augen in 6 m Entfernung deutlich erkannt werden können. Was man ausserdem noch von ihm verlangen muss, habe ich anderwärts eingehender entwickelt. Es ist nun auffallend, dass bislang so wenig Vorschläge laut geworden sind, ein so grundlegendes und bei so vielen Versuchen im chemischen und physikalischen Unterrichte unentbehrliches Instrument, wie das Thermometer, in eine zu Demonstrationen geeignete Form zu bringen. Vielleicht haben sich viele Lehrer mit einfachen improvisierten Vorrichtungen beholfen, ohne damit an die Öffentlichkeit zu treten.

In Bezug auf die Konstruktion eines Unterrichtsthermometers steht von vorn herein der Gesichtspunkt fest, dass man nur im Falle zwingender Notwendigkeit von dem einfachen Prinzip des gewöhnlichen Quecksilberthermometers abgehen darf. Ferner muss es, wie dieses, die Form eines dünnen Stabes haben, um bequem in Flaschen eingeführt werden zu können, schliesslich muss es für ätzende Flüssigkeiten unangreifbar sein. Es handelt sich mit andern Worten wesentlich nur um die Auffindung einer anderen Flüssigkeit an Stelle des Quecksilbers. Als solche verwende ich seit Jahren schwarz gefärbte concentrirte Schwefelsäure. Schwefelsäure gestattet wegen ihres hohen Siede- und tiefen Erstarrungspunkts den Thermometerskalen denselben Umfang zu geben, wie beim Quecksilber. Wie dieses dehnt sie sich regelmässig aus und hat überdies den Vorzug eines $3\frac{1}{2}$ mal grösseren Ausdehnungscoefficienten. Die Schwarzfärbung kann man mit Indigo bewirken; auch wenn man die Säure mit Holzkohlestückchen erhitzt, erhält sie hinreichend dunkle Färbung. Das einfachste Färbemittel indessen ist der Zucker. Man erhitzt etwa 20 g Säure mit einer Messerspitze gepulverten Zuckers fast zum Sieden.



Fig. 1.

Durch Aufsaugen in ein Röhrchen von etwa 1 mm lumen überzeugt man sich, ob die Färbung intensiv genug ist. Falls sie zu dunkel ist, d. h. wenn das Röhrchen nach dem Entleeren durch die adhärerende Säure noch deutlich grau erscheint, muss man reine Säure hinzumischen.

Die Länge des ganzen Instruments ist 500 mm; seine Form, sowie die von mir als zweckmässig befundene Abmessungen sind aus den Figuren 1 bis 3 leicht erkennbar. Fig. 1 giebt eine Gesamtansicht in $\frac{1}{4}$ der natürlichen Grösse. Fig. 2 stellt das untere Ende des Thermometers in natürlicher Grösse dar; die eingeschriebenen Zahlen geben die lichte Weite in Millimetern. Hinzuzufügen ist noch, dass die Weite des Thermometerrohres 0,75 mm beträgt. Der Glasbläser hat auf die Verschmelzung des Skalenrohres mit dem Gefäss besondere Sorgfalt zu verwenden, weil sonst bei Temperaturwechsel hier leicht ein Sprung entsteht.¹⁾

Zum Zweck der Füllung, welche ich bislang selbst ausgeführt habe, lässt man das Thermometerrohr so lang machen, dass es etwa 30 mm aus dem Skalenrohr hervorragt. Mittels eines durchbohrten Korks verbindet man dieses Ende mit einem Glasrohrstück von etwa 10 mm Durchmesser und 40 mm Länge. In letzteres kommt zuerst Wasser, von dem man in bekannter Weise durch Anwärmen und Abkühlen etwas in das Thermometergefäss bringt. Nach Beseitigung des nicht eingedrungenen Wassers stellt man das Thermometer auf ein geheiztes Sandbad. Sobald alles Wasser verkocht und somit die Luft ausgetrieben ist, giesst man besagten Rohrstutzen voll gefärbte Schwefelsäure und kühlt das Gefäss mit kaltem Wasser ab. Eine kleine Luftblase wird immer noch darin verbleiben. Man treibt dieselbe durch gelindes Anwärmen bis in das Thermometerrohr und sucht sie dann mittels eines eingeführten dünnen Eisendrahts, mit dem man schnell auf und nieder pumpt, nach oben zu bringen. Nachdem dies gelungen, entfernt man den Stutzen samt der Säure. Nunmehr legt man das Instrument horizontal und verdrängt aus der Röhre mit Hilfe des Drahts soviel Säure, dass der Eispunkt nachher etwa 150 mm über dem Gefäss zu liegen kommt. Schliesslich wird das herausragende Rohrende abgeschnitten.

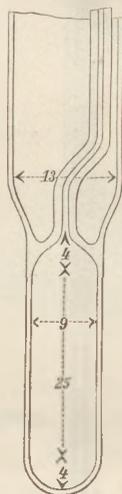


Fig. 2.

Die Skala ist auf einem Cartonstreifen von 16 mm Breite aufgetragen. Dieser ist seiner Mittellinie nach unter einem Winkel von etwa 120° geknickt und dann hinter das Thermometerrohr geschoben, sowie es Fig. 3 in nat. Gr. zeigt. Die Einknickung bezweckt, dass die Skala auch von der Seite her gut gesehen werden kann. Es ist klar, dass eine bis auf Einzelgrade gehende Theilung in der Entfernung nicht erkannt werden würde. Deshalb sind in Intervallen von 10 zu 10 Graden — etwa 15 mm von einander entfernt — kräftige schwarze Skalenstriche aufgetragen. Die Einzelgrade müssen nach dem Augenmass abgeschätzt werden, was den Schülern leicht gelingt. Selbstverständlich können auch keine Ziffern an der Skala angebracht werden. Dieselben habe ich dadurch entbehrlich gemacht, dass ich die Felder für die Dekaden unmittelbar über und unter 0° , 100° , 200° roth, die Felder bei 50° und 150° grün tuschte.



Fig. 3.

Der Abstand der beiden festen Punkte wird durch einen Vorversuch in

¹⁾ Ein nach oben stehenden Angaben gefertigtes leeres Thermometer kostet 1,50 Mk. Von der Thüringischen Glasinstrumentenfabrik in Ilmenau erhielt ich zuletzt zwei Exemplare in beste Ausführung.

der Art bestimmt, dass man einen schmalen Cartonstreifen hinter das Rohr schiebt, welcher an seinem unteren Ende einen Querstrich hat. Diesen Index bringt man mit dem Stand des Thermometers in Eis, resp. Wasserdampf, zur Coincidenz und zieht in beiden Stellungen über den Rand des Skalenrohrs Bleistiftstriche auf den oben herausragenden Streifen. Der Abstand dieser beiden Striche wird bei der Anfertigung der Skala zugrunde gelegt. Nachdem die Skala richtig eingeführt, wird das Skalenrohr durch eine aufge kittete Messingkapsel geschlossen.

In wie weit dieses Instrument seinen Zweck erfüllen wird, kann der Leser beurteilen, wenn er die Fig. 1., welche den Stand in siedendem Alkohol darstellt, aus 1 m Entfernung betrachtet. So sieht das wirkliche Thermometer in 4 m Entfernung aus.²⁾ — Vergleichende Versuche zeigten, dass Schwefelsäure- und Quecksilber-Thermometer von -20° bis $+200^{\circ}$ übereinstimmen. Ein Nachteil vor dem letzteren liegt in der schlechten Wärmeleitung der Schwefelsäure, woraus eine grössere Trägheit unseres Instrumentes entspringt. Indessen ist dies nur störend, wenn es gilt die Temperatur von Gasen schnell zu bestimmen. In Flüssigkeiten und Dämpfen, und diese kommen bei Schulversuchen eigentlich nur in Betracht, ist es hingegen schon nach 1 Minute stationär.

Zum Schluss sei noch bemerkt, dass wenn sich durch ungünstige Beleuchtung auf dem Skalenrohr störende Reflexe zeigen sollten, man dieselben durch Schliessung bestimmter Rouleaux oder durch passend aufgestellte Pappschirme beseitigen muss.

Ein neuer Apparat zur Darstellung einfacher Schwingungen¹⁾.

Von

Dr. Joh. Bergmann in Greifswald.

Unter einfachen Schwingungen sollen im Folgenden solche periodische Bewegungen eines Punktes auf einer Geraden verstanden werden, dass seine Entfernung von einer bestimmten Gleichgewichtslage und auch seine Geschwindigkeit in jedem Augenblicke als eine Sinusfunktion der Zeit dargestellt werden kann. Schwingungen dieser Art spielen namentlich in der Akustik und Optik eine wichtige Rolle.

Man hat nun eine Reihe von Apparaten zur Veranschaulichung der Erscheinungen, welche durch einfache Schwingungen entstehen. Sie werden im allgemeinen als Wellenmaschinen bezeichnet. Ein Apparat indessen, welcher speziell zur Darstellung und Erläuterung der einfachen Schwingungen selbst dient, ist, soweit dem Verfasser bekannt, bis jetzt nicht vorhanden.

Die Methode, solche Schwingungen mit Hilfe des Pendels zu veranschaulichen, leidet an erheblichen Mängeln. Da jene Schwingungen nämlich sich auf einer Geraden vollziehen sollen, so sind mit ihnen Pendelschwingungen identisch entweder unter der Voraussetzung unendlich kleiner Amplituden oder bei unendlich grosser Aufhänge-Vorrichtung des schwingenden Pendels. In der Praxis werden

²⁾ Die Neigung der Skalenhälften gegen einander ist in Fig. 1 so dargestellt, wie sie an einem erheblich höher gelegenen Standpunkte erscheinen würde.

¹⁾ Vergl. „Mittheil. a. d. naturw. Verein f. Neuvorpommern u. Rügen“, 18. Jahrg. (Greifswald 1887).

diese Bedingungen jedoch nicht erfüllt, und daher wird der Zweck nur angenähert erreicht. Dass infolge dessen die Vorstellung von dem wahren Sachverhalt weit entfernt bleibt, liegt auf der Hand.

In den folgenden Zeilen soll ein Apparat beschrieben werden, der bei Anwendung eines Mechanismus von grosser Einfachheit einfache Schwingungen mit mathematischer Genauigkeit darstellt. Die Konstruktion desselben beruht auf einer bekannten geometrischen Betrachtung. Auf der Peripherie eines Kreises (Fig. 1) bewege sich ein Punkt P mit constanter Geschwindigkeit. Gleichzeitig mit ihm bewege sich ein zweiter Punkt Q auf dem Durchmesser AB des Kreises in der Weise, dass Q beständig die Projektion von P auf den Durchmesser darstellt. Der Punkt Q führt dann einfache Schwingungen aus, deren Amplituden gleich dem Durchmesser AB sind.

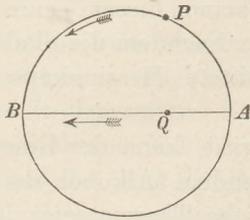


Fig. 1.

Die Bewegungen des uns interessierenden Punktes Q und die zugehörigen von P sind es, welche der in Fig. 2 abgebildete Apparat darstellt. Auf zwei Bügeln C und D ruht ein Gehäuse aus Holz, in dem sich der Mechanismus befindet. In das vordere Deckblatt des Gehäuses sind Bahnen eingeschnitten, entsprechend der geometrischen Fig. 1 und in diesen laufen Träger für zwei kleine, runde Metallplatten G und H , welche die Punkte Q und P markiren. Die Zahlen 0, 90 etc. dienen zur Eintheilung der Kreisbahn für H in Quadranten. Die sechs auf der Vorderseite noch sichtbaren Bügel haben den Zweck, die halbkreisförmigen Segmente des Deckblattes, welche infolge des Einschneidens der Bahnen vollständig frei geworden sind, in der gehörigen Stellung zu halten. Das Deckblatt ist an dem Apparate mit Charnieren E und F befestigt. Daher kann das Gehäuse geöffnet und der im Innern befindliche Mechanismus gezeigt werden, wenn man die Platten G und H , welche auf ihre Träger aufgeschraubt sind, zuvor entfernt hat. Man sieht dann den Apparat in der in Fig. 3 angegebenen Gestalt.

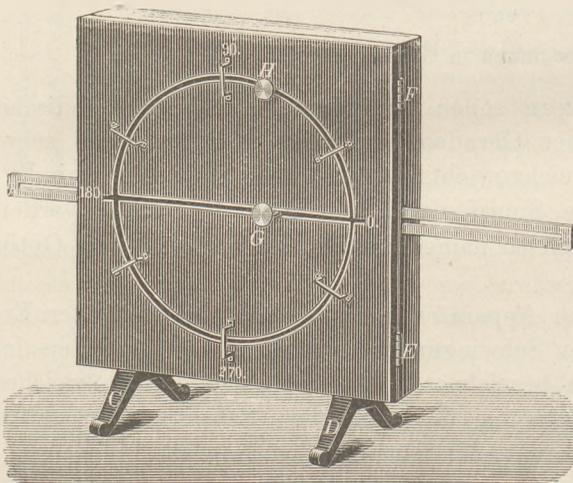


Fig. 2.

Der Mechanismus besteht im Wesentlichen aus zwei Teilen, einem Rade und einer Steuerung von besonderer Form. Das Rad ist an einer metallenen Axe befestigt, und diese läuft in einer Hülse, welche die Rückwand des Gehäuses im Schnittpunkte der Diagonalen durchbohrt. An dem freien Ende der Axe, also auf der Rückseite des Apparates, befindet sich eine Kurbel, vermittelst welcher das Rad in Drehung versetzt werden kann. Fig. 4 stellt die Vertikalprojektion dieser Vorrichtung dar. Die Form der Steuerung ist aus Fig. 3 ersichtlich. Sie besteht aus zwei zu einander senkrechten Schienen; die eine von diesen, NO , ist ihrer ganzen Länge nach durchbrochen, die andere, JK , besteht aus zwei Hälften, die durch NO völlig von einander getrennt sind, und deren jede für sich ebenfalls der Länge nach durchbrochen ist.

In den Seitenwänden des Gehäuses befinden sich bei *R* und *S* Einschnitte von passender Grösse zur Aufnahme und Führung der Steuerung. Zapfen mit breiten Köpfen, welche durch die Durchbrechung von *JK* hindurchragen und in den Seitenwänden befestigt sind, halten die Steuerung in den erwähnten Einschnitten, jedoch so, dass sie sich mit Leichtigkeit verschieben lässt. Durch die Durchbrechung der Schiene *NO* ragt ein auf der Peripherie des Rades befestigter, auch in Fig. 4 sichtbarer Zapfen hindurch, welcher die Steuerung nach rechts oder links schiebt, wenn das Rad sich bewegt. *T* selbst gleitet dabei in der Durchbrechung von *NO* auf und ab.

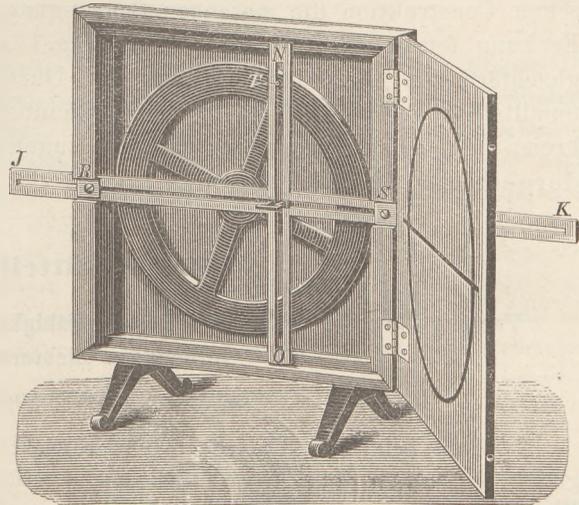


Fig. 3.

Es handelt sich jetzt noch um die Befestigung der Metallplatten *G* und *H*. Den Träger für *H* bildet eine Verlängerung des eben erwähnten Zapfens *T*, welche so gross gewählt ist, dass sie durch die in das Deckblatt des Apparates eingeschnittene Kreisbahn hindurchragt. Als Träger für *G* dient ein auf der Schiene *NO* gerade über der Kreuzungsstelle beider Schienen angebrachter Bügel. Vermöge seiner Gestalt lässt er den Zapfen *T* mit der Platte *H* ungehindert durch sich hindurch gehen; der Durchgang findet jedesmal statt, wenn beide Platten *G* und *H* an dem Endpunkte des von *H* beschriebenen Kreises zusammenkommen. Fig. 5 stellt die Horizontalprojektion der Stellung in einem derartigen Momente dar. Auf dem Rade *U* sitzt der Zapfen *T* mit der Platte *H*, auf der Schiene *JK* der Bügel mit der Platte *G*. Da *G* dann vollständig über *H* steht und die Platten gleich gross sind, so erscheinen sie als eine einzige, wie es auch erforderlich ist, wenn man sich in Fig. 1 die Punkte *P* und *Q* bei *A* oder *B* befindlich denkt.

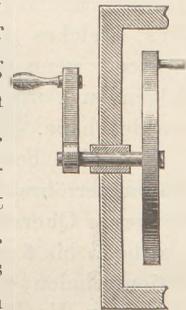


Fig. 4.

Man kann jetzt leicht das Spiel des Apparates übersehen. Wird die in Fig. 4 sichtbare Kurbel gedreht, so setzt sich das Rad in Bewegung, und die Platte *H* auf dem Zapfen *T* beschreibt einen Kreis. Gleichzeitig wird durch *T* die Steuerung und mit ihr die Platte *G* in eine oscillierende Bewegung versetzt, welche sich in dem horizontalen Durchmesser des von *T* beschriebenen Kreises vollziehen muss. Wie schon hervorgehoben, gleitet dabei *T* in der vertikalen Schiene der Steuerung auf und ab. Die Kurbel kann selbstverständlich in dem einem oder dem anderen Sinne gedreht werden.

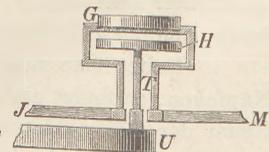


Fig. 5.

Die Dimensionen des Apparates sind so gewählt, dass die Amplitude des Punktes *G* 24 cm beträgt. Die Wände des Gehäuses sind aus Holz gearbeitet, alles Übrige besteht aus Metall und zwar aus Eisen und Messing. Die Steuerung ragt auf beiden Seiten des Apparates zum Theil hervor. Unter den Köpfen der

Zapfen bei R und S befinden sich noch metallene Schleiffedern, welche die gute Führung der Steuerung sichern.

Wie man aus der Beschreibung des Apparates ersieht, stellt er vermöge seiner Konstruktion die einfachen Schwingungen mit mathematischer Strenge dar. Er kann ferner dazu dienen, die in Fig. 1 angedeutete wichtige Projektion der gleichförmigen Kreisbewegung auf den Durchmesser vor Augen zu führen, und unmittelbar veranschaulicht er den bekannten Satz, dass ein Punkt einen Halbkreis, und seine Projektion auf den zugehörigen Durchmesser diesen stets in derselben Zeit durchlaufen.

Kleine Mitteilungen.

Versuch über die elektrische Leitungsfähigkeit verdünnter Luft und die damit verbundene Lichterscheinung.

Von Professor Dr. Ad. Schumann in Berlin.

Wohl bei jedem Unterricht in der Elektrizitätslehre wird das eigentümliche Erglühen verdünnter Gase, namentlich auch verdünnter Luft, unter dem Einfluss der Elektrizität an den Geissler'schen Röhren vorgeführt. Aber bei dieser Form des Versuches fehlt, abgesehen davon, dass der Schüler die Art der Füllung der Röhre auf guten Glauben hinnehmen muss, die Einsicht in den Grad der Luftverdünnung; die Frage, die sich dem denkenden Schüler aufdrängt, wie weit die Verdünnung vermindert werden kann, um noch die Erscheinung zu zeigen, und wie mit der Veränderung der Verdünnung die Lichterscheinung sich modifiziert, wird nicht entschieden. Mit Hülfe eines elektrischen Ei's, welches der Luftpumpe aufgeschraubt wird, lassen sich diese Fragen leicht beantworten, wenn aber diese Mittel nicht zur Verfügung stehen, wird man gern zu der folgenden Form des Versuches greifen, die ich in meinem Unterricht mit Erfolg angewendet habe.

Man benutze eine U-förmige Glasröhre, deren Schenkel die Weite und Länge einer Barometerröhre haben und an einer Stelle, der grösseren Festigkeit halber, durch ein hölzernes Querstück verbunden sind. Man verschaffe sich ferner zwei gläserne Näpfehen, welche 5 bis 6 cm Durchmesser haben; statt dieser können auch beliebige kleine Krystallisationsschalen, über die wohl jeder Lehrer der Physik verfügt, Verwendung finden. Nachdem man die Röhre mit Quecksilber gefüllt und in die Näpfehen ausreichend Quecksilber gegossen, verschliesse man die beiden Schenkel der Röhre durch Mittel- und Zeigefinger, kehre die Röhre um und verfare wie bei dem Torricellischen Versuch, indem man die Oeffnung jedes Schenkels in eines der Näpfehen bringt. Es bildet sich in dem Bug der Röhre das sogenannte Vacuum Torricellianum; thatsächlich ist aber dieser Raum mit verdünnter Luft erfüllt, deren Verdünnungsgrad sich durch Vergleich mit einem Barometer bestimmen lässt.

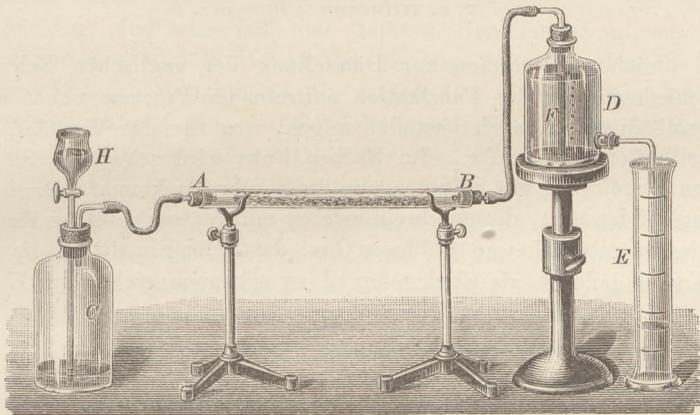
Leitet man nun zwei Drähte, etwa von einer Holtz'schen Maschine aus, in die Näpfehen, so findet ein elektrischer Ausgleich durch das Quecksilber und den luftverdünnten Raum der Röhre hindurch statt, und dieser erstrahlt mit röhlichem Lichte. Vergrössert man die Dichtigkeit der Luft, indem man durch einen Schenkel der Röhre Luftbläschen aufsteigen lässt, so kann der Einfluss dieser Aenderung auf die Erscheinung verfolgt werden. Bei einem gewissen Grade der Dichtigkeit versagt Leitung und Lichterscheinung, beide werden erst durch Vermehrung der elektrischen Spannung in intermittierender Form wieder hervorgerufen. Bei weiterer Zunahme der Dichtigkeit endlich hört die Leitung durch die Röhre ganz auf, und die Elektrizität sucht ihren Ausgleich durch glänzende Funken, welche von Näpfehen zu Näpfehen überschlagen.

Vorlesungsversuch zur Bestimmung des Sauerstoff- und Stickstoffgehaltes der atmosphärischen Luft.

Von **Dr. Friedr. C. G. Müller** in Brandenburg a. H.

(Mitgeteilt aus dem Chem. Centralblatt 1887 No. 18.)

Die zu untersuchende Luft befindet sich in einer etwa 3 l fassenden Flasche *C*. Sie wird durch Wasser, welches man durch den Hahntrichter *H* einfließen lässt, verdrängt und durch eine etwa 40 cm lange, 1,6 cm weite Röhre *AB* von schwer schmelzbarem Glase geleitet, in welcher gekörntes, reduziertes Kupfer durch geeignete Brenner zum schwachen Glühen erhitzt ist. Nachdem sie *AB* passiert, tritt sie in die unten tabulierte Flasche *D* von entsprechendem Inhalte, welche beim Beginn des Versuches mit Wasser gefüllt ist. Die Einströmung geschieht nur durch eine bis auf den Boden von *D* reichende Glasröhre *F*; das verdrängte Wasser fließt durch eine nach unten gebogene Glasröhre, deren vertikaler Schenkel 10 cm lang ist, in den kalibrierten Cylinder *E*, oder, falls es auf grössere Genauigkeit des Ablesens ankommt, in eine Maassflasche von entsprechender



Kapazität. Die Gefässe *C* und *D* müssen, um eine Erwärmung zu vermeiden, hinreichend weit von *AB* entfernt stehen; am besten schützt man sie durch vorgestellte Papptafeln. Soll der Versuch beginnen, so wird bei geschlossenem Trichterhahn die Röhre so lange erhitzt, bis deren Temperatur stationär geworden, und kein Tropfen Wasser mehr aus *D* fließt. Nun lässt man aus einem Messkolben 500 ccm Wasser durch *H* in *C* einfließen, wobei man Sorge trägt, den Hahn in dem Moment völlig zu schliessen, wo das Niveau bis in die Röhre des Trichters gesunken. Wenige Sekunden später hat sich der Druck im Apparate ausgeglichen. In *E* befinden sich dann etwa 395 ccm Wasser. Der Versuch wird ohne weiteres noch viermal wiederholt. Man darf so rasch operieren, dass die fünf Versuche nur 4 bis 5 Minuten Zeit beanspruchen.

Nach Beendigung der Versuchsreihe zeigt man, dass in *D* eine Kerze erlischt. Das Kupfer ist in der vorderen Hälfte der Röhre schwarz geworden, in der hinteren aber unverändert. Nach dem Erkalten findet man die Röhre etwa 0,6 g schwerer.

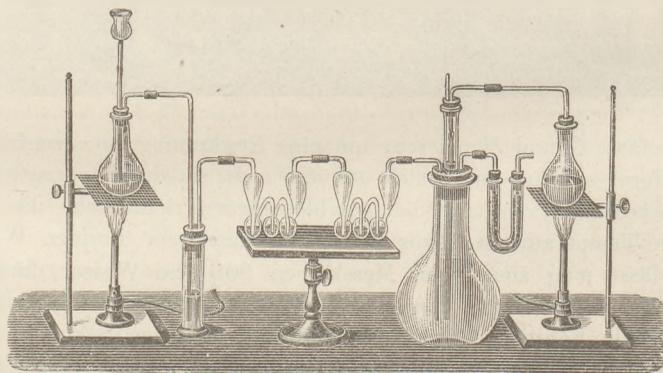
Der beschriebene Apparat unterscheidet sich von älteren derart, speziell dem in ARENDT's Experimentalchemie S. 22 abgebildeten VAN HASSELT'schen Apparate, zuvörderst dadurch, dass an Stelle einer pneumatischen Wanne die Flasche *D* angeordnet ist, wodurch das Experimentieren an sich, besonders aber die Anstellung einer Versuchsreihe, ungleich bequemer wird. Das wesentlichste aber ist die bis auf den Boden von *D* reichende Röhre *F*, wodurch nach dem Prinzip der MARIOTTE'schen Flasche der Druck im Apparate während der Versuche konstant erhalten wird, nämlich gleich dem Luftdruck, vermindert um den Druck einer Wassersäule, welche dem Niveauunterschiede des unteren Endes von *F* und der Ausflussöffnung entspricht.

Hierdurch wird der Apparat wissenschaftlich genau, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man das ausfliessende Wasser nicht misst, sondern wägt. Es bedarf kaum der Erinnerung, dass die dem Experiment unterworfenen Luft mit Wasser gesättigt ist, und somit das Volum des ausgeflossenen Wassers gleich ist dem des Stickstoffes und des Wasserlampfes. Das Verhältnis des trockenen Stickstoffes zum trockenen Sauerstoff lässt sich daraus leicht ableiten. Die Zimmertemperatur sei beispielsweise 20° . Hierbei sind in 1000 Vol. Luft nach Ausweis der Tensionstabellen 22 Vol. Wassergas enthalten. Der Versuch gab 397 ccm ausgeflossenes Wasser, also 794 auf 1000. An reinem Stickstoff wären also $794 - 22 = 772$ Vol. vorhanden. Für den reinen Sauerstoff bleibt als Rest 205. Demnach enthält die Luft auf 772 Stickgas 205 Sauerstoff, mithin trockene Luft 79,1 % Stickstoff und 20,9 % Sauerstoff.

Apparat zur Darstellung der englischen Schwefelsäure.

Von Dr. F. Wilbrand in Hildesheim.

Bei den üblichen Apparaten zur Darstellung der englischen Schwefelsäure verlaufen die verschiedenen bei der Fabrikation auftretenden Prozesse neben einander. Der obige Apparat soll dieselben nach einander zeigen, was für das Verständnis des ganzen Vorgangs vorthellhafter sein dürfte. Im Kolben links wird schweflige Säure entwickelt, die in der ersten Kugelhöhre mit Salpetersäure in Berührung kommt. Braune Dämpfe von Untersalpetersäure bilden sich, die durch ein zweites mit Wasser gefülltes Kugelrohr geleitet werden. Aus diesem entweicht ein farbloses Gas, das beim Eintritt in die grosse Flasche braun wird und sich dadurch als Stickstoffoxyd zu erkennen giebt. Im Kugelrohr bleibt



Salpetersäure und, wie die später auftretende Bläuung beweist, etwas salpetrige Säure. Bei Zutritt von Wasserdampf zu der durch den Sauerstoff der Luft neu gebildeten Untersalpetersäure entsteht wieder Salpetersäure und Stickstoffoxyd. Der Dampfstrom reisst, wie die Anordnung des Apparats zeigt, zugleich neue Luft mit in den grossen Kolben. Wird während des Versuchs das kleine Luftzufuhrrohr oben verschlossen, so bleibt der Kolbeninhalt farblos, und die aus dem U-Rohr austretenden braunen Dämpfe zeigen den Verlust von Salpetersäure an. Der Versuch wird unterbrochen, sobald die Entwicklung der braunen Untersalpetersäuredämpfe aus dem ersten Kugelrohr nachlässt. Das Rohr zeigt sich dann mit Schwefelsäure gefüllt.

Berichte.

1. Apparate und Versuche.

Eine hydrostatische Wage von grosser Feinheit wird von J. JOLY in den *Sc. Proc. Dubl. Soc.* 1887, vol. V, part. 5 beschrieben. Das Prinzip ist das des Nicholson'schen Aräometers. In einem kugelförmigen Metallgefäss, das nur an der unteren Seite eine enge tubulierte Öffnung hat, befindet sich ein gleichfalls kugelförmiger Schwimmer, von dessen unterem Ende ein dünner Draht durch die genannte Öffnung abwärts nach aussen führt. Die Öffnung ist so eng, dass bei völliger Füllung des Innenraumes mit Wasser kein Abfluss stattfindet. Die Wägung geschieht nach der Substitutionsmethode, indem an den Draht eine Wagschale gehängt und durch zugelegte Gewichte ins Gleichgewicht gebracht wird. Bei einer Wage, deren Schwimmer in einer Glaskugel von 6,3 cm Durchm. und 12 gr Gewicht bestand, hatte die Öffnung 3 mm Durchm., der Draht 0,09 mm, die nöthige Belastung war (bei 6° C.) 104,660 gr, die Empfindlichkeit ging bis zu 1 mg, also $\frac{1}{100000}$ der Belastung. — Die Reibung des Drahtes im Tubulus der Öffnung wird dadurch auf ein Minimum reduziert, dass der Tubulus an einer Stelle mit einer ringförmigen Führung versehen ist, deren Innenrand eine messerscharfe Schneide darstellt. Um zu starke Schwankungen zu vermeiden, sind ausserhalb des Gefässes Hemmungen angebracht, welche nur zwischen engen Grenzen eine Bewegung des Drahtes gestatten; dies ist um so nöthiger, als das Gleichgewicht des Schwimmers ein labiles ist. Der Vorzug des Apparates vor dem Nicholson'schen gründet sich vornehmlich darauf, dass wegen der umgekehrten Aufhängung der Tragstab des letzteren durch einen sehr feinen Draht ersetzt werden kann, und dass hierdurch der Einfluss der Adhäsion wegfällt.

Das Haften des Quecksilbers in Barometerröhren. Es war schon Huygëns und Mariotte bekannt, dass das Quecksilber, wenn es von Luft möglichst befreit ist, in weit grösserer als der normalen Barometerhöhe hangen bleiben kann. J. Moser hat nachgewiesen, (*Pogg. Ann.* 160), dass das Abreissen solcher Quecksilbersäulen stets durch ein Luftbläschen bewirkt wird, dass daher auch das vermeintlich vollkommenste Vakuum nicht völlig luftfrei ist (wie schon Robert Mayer in einem kleinen Aufsatz ausgesprochen). H. v. HELMHOLTZ hat kürzlich einen damit zusammenhängenden Versuch gezeigt und beschrieben (*Verh. d. phys. Ges. zu Berlin*, 1887, No. 3). Ein Heberbarometer, von etwas grösserer Länge als gewöhnlich, ist am kürzeren Schenkel mit einem Hahn versehen und endet oberhalb von diesem in eine enge Spitze. Füllt man die Röhre mit Quecksilber und lässt einige cm Wasser darin aufsteigen, so kann man es durch wiederholtes Hin- und Herfliessenlassen des Wassers und der daraus entwickelten Luftblase dahin bringen, dass die Luft zum grössten Theil aus dem Gefäss entfernt wird. Zuletzt erwärmt man die Röhre bis 40° oder 50°, indem man sie durch die Spitze einer Flamme zieht, und entfernt das noch vorhandene Luftbläschen. Dies gelingt nie ganz vollständig; wenn das Bläschen aber nur noch $\frac{1}{4}$ mm Durchmesser hat, kann man es vom Wasser absorbieren lassen, indem man die Röhre mit geöffnetem Hahn umlegt, so dass ihr oberes Ende nur wenige cm höher steht als das Niveau im kurzen Schenkel, und wartet bis das Bläschen verschwunden ist. Richtet man die Röhre dann auf, so haftet das Wasser oben am Rohre und das Quecksilber am Wasser, so dass sie nicht abreissen, so lange man Erschütterungen des Rohres vermeidet. Man kann sogar den kurzen Schenkel durch einen steifen Schlauch mit der Luftpumpe verbinden und die Luft so weit als möglich auspumpen, ohne die Flüssigkeiten zum Abreissen zu bringen. Die Cohäsion der beiden Flüssigkeiten (in Verbindung mit der Adhäsion des Wassers am Glase und des Quecksilbers am Wasser) überwindet hierbei also einen „negativen Druck“ von mehr als einer Atmosphäre, ohne dass doch das Wasser absolut luftfrei wäre.

Der Versuch steht im Zusammenhang mit Messungen über die Grösse der elektromotorischen Kraft, die zur Zersetzung des Wassers erforderlich ist. Die Wassersäule zerreisst, sobald die angewendete elektromotorische Kraft im Stande ist, die Zersetzung

des Wassers einzuleiten. Nach einer neueren Veröffentlichung auf Grund anders angeordneter Versuche (*Sitz.-Ber. d. Berl. Ak., 1887, S. 755*) liegt die untere Grenze dieser Kraft bei 10 mm Wasserdruck zwischen 1,63 und 1,64 Volt und steigt bei 742 mm Quecksilberdruck auf 1,77 Volt.

Die Reflexion des Schalles in Röhren. Bei der Reflexion der Schallbewegung am Ende einer Röhre findet bekanntlich eine Verschiedenheit statt, jenachdem das Ende geschlossen oder offen ist. An einem geschlossenen Ende tritt die Reflexion ohne Änderung des Dichtigkeitszustandes unter blosser Umkehrung des Zeichens der Geschwindigkeit ein; an einem offenen Ende dagegen geht Verdichtung in Verdünnung über und umgekehrt, während die Geschwindigkeit der Bewegung ihre Richtung beibehält. Von A. TOEPLER wurde vor einiger Zeit, in *Wiedemann's Annalen, 28 (1886)*, ein für Vorlesungsversuche geeignetes Verfahren angegeben, um die Reflexion einzelner Verdichtungs- oder Verdünnungsstöße am geschlossenen oder offenen Rohrende zu zeigen. Er benutzte dazu eine Leitung aus dünnwandigen, etwa 15 mm weiten Messingröhren, die in einem Zimmer viermal an den Wänden herumgeführt war, so dass die Gesamtlänge 88 m betrug. Die Luftstöße wurden durch einen Gummiballon an dem einem Ende der Leitung hervorgebracht, in der Art, dass bei plötzlichem Zusammendrücken eine Verdichtung, bei plötzlichem Aufschnellen nach vorheriger Zusammendrückung eine Verdünnung entstand. In der Nähe jedes Endes war ein Flammenzeiger an die Leitung angesetzt, gebildet aus einem engen Röhrchen, welches gegen eine kleine Gasflamme gerichtet war; ein solcher Zeiger reagiert nur auf Verdichtungs-, nicht aber auf Verdünnungsstöße. War das freie Ende der Leitung geschlossen, so zuckten die beiden Flammen, nachdem ein Verdichtungsstoss erzeugt war, abwechselnd etwa neunmal in gleichen Intervallen von ca. $\frac{1}{3}$ Sekunde, die mit einem abgestimmten Taktzähler leicht verfolgt werden konnten. War das freie Ende dagegen offen, so wurde die anfängliche Verdichtung als Verdünnung reflektiert, erzeugte also bei der Rückkehr an der Anfangsflamme keine Zuckung, wohl aber nach nochmaliger Reflexion bei der zweiten und vierten Rückkehr, während die Endflamme in dem ganzen Verlauf ruhig blieb. Ähnlich sind die Erscheinungen, wenn zu Anfang ein Verdünnungsstoss hervorgebracht wird. Beiläufig zeigte sich auch bei diesem Versuche, dass die Schallgeschwindigkeit in engen Röhren eine erhebliche Verminderung erfährt; sie betrug für die beschriebenen Röhren nur 299 m. — TOEPLER bemerkt, dass sich auch eine kürzere Leitung aus Gummischläuchen von 8 bis 10 mm Weite verwenden lässt, wobei die Fortpflanzungsgeschwindigkeit noch weit geringer, aber auch die Zahl der beobachtbaren Reflexionen sehr vermindert wird.

Zu demselben Zwecke bediente sich F. HALSCH (*Sitz. Ber. d. Wien. Akad., Bd. 114, II, 1886*) eines im wesentlichen schon von O. Tunlirz zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in Röhren verwendeten Apparates: einer Blechröhre von 2,4 cm Weite und 42,36 m Länge, deren Enden dicht neben einander gelegen waren und mit Membranschreibern (Marcy'schen Tambours) zum Aufzeichnen der Schwingungen auf einem rotirenden Cylinder versehen werden konnten. Zur Schallerregung benutzte er kleine Mengen Knallsilber, die in einem Rohransatz befindlich waren und mit Hilfe zweier Zuleitungsdrähte durch eine Leydener Flasche zur Explosion gebracht werden konnten. Die Tambours an den Enden der Röhren zeichneten Curven auf, welche bei straffen Membranen, leichtem Schreibhebel und Öldämpfung (nach Fick) ein sehr getreues Bild der Reflexionsvorgänge an den Enden der Röhre ergaben. Der Hebel eines solchen Tambours kann überdies auch dazu dienen, diese Vorgänge weithin sichtbar zu machen. Ebenso geeignet dafür erwies sich die Mach'schen Flammenzeiger, bei denen die Druckvariationen durch das Brennerrohr hindurch in die Flammen selbst eingeführt werden, und welche sowohl auf Verdichtungen als auf Verdünnungen reagieren. Als Schallquelle diente in diesem Falle ein mit einer Membran überspannter Trichter.

Endlich sind neuerdings von J. VIOLLE (*Journ. de Phys. 1887, p. 339*) ähnliche

Versuche zu Vorlesungszwecken beschrieben worden. Er empfiehlt eine Zinkröhre von etwa 20 m Länge und 4 bis 5 cm Durchmesser, die auch der bequemeren Handhabung wegen zusammengebogen ist. An dem einen Ende befindet sich eine kleine Salompistole, um einen plötzlichen Condensationsstoss hervorzurufen. Dies Ende kann im übrigen entweder offen gelassen oder durch einen Stopfen verschlossen werden, der nur das Röhrchen der Salompistole aufzunehmen hat. Das andere Ende ist dauernd geschlossen, und zwar wie in den vorher berichteten Versuchen durch eine empfindliche Membran, die mittelst eines Kautschukschlauches von beliebiger Länge an das Rohr angesetzt ist. Diese Membran schreibt ihre Bewegungen durch ein Stifchen zugleich mit einer chronographischen Stimmgabel auf eine rotierende Trommel, oder auf eine geschwärtzte Glasplatte, welche die Zeichnung auch durch Projektionsvorrichtung objektiv sichtbar zu machen gestattet. Die Bewegung des Stiftes lässt erkennen, dass die aufeinanderfolgenden Erschütterungen abwechselnd Verdichtungen und Verdünnungen entsprechen, wenn das andre Ende der Röhre offen ist, dagegen nur Verdichtungen, wenn jenes Ende geschlossen bleibt. Die Zeit für das doppelte Durchlaufen der Röhre betrug bei diesen Versuchen 0,1439''.

Zerlegung des weissen Lichtes in Complementärfarben. Um zusammengehörige Complementärfarben neben einander herzustellen, benutzt man nach dem Vorgange von Dubosq, dem auch Weinhold (*Physik. Demonstr.*) gefolgt ist, ein Prisma mit sehr kleinem brechenden Winkel, das man in den Weg der Strahlen setzt, nachdem diese durch ein Prisma gebrochen und durch eine Linse convergent gemacht sind; dadurch wird ein Theil des Strahlenbündels ausgesondert und für sich zur Vereinigung gebracht. Ein einfacheres Verfahren wird von W. v. BEZOLD vorgeschlagen (*Verh. d. phys. Ges. z. Berlin, 1887, No. 5 und Wied. Ann. XXXII, 165*). Man stellt ein Diaphragma her, indem man eine rechteckige Spiegelglasplatte mit Stanniol beklebt, dann die eine (untere) Hälfte der Belegung bis auf einen schmalen Streifen in der Mitte entfernt, während man von der anderen (oberen) Hälfte nur einen correspondierenden schmalen Streifen aus der Mitte herauslöst. Setzt man dieses Diaphragma dicht hinter die Cylinderlinse, welche die Wiedervereinigung der dispergirten Strahlen bewirkt, so gehen durch die obere Hälfte des Diaphragmas nur solche Strahlen hindurch, welche von der unteren Hälfte aufgehalten werden. Das auf einem Schirm aufgefangene Spaltbild zeigt daher in seiner oberen und unteren Hälfte complementäre Farben. Diese Methode giebt überdies auch einen deutlichen Eindruck davon, dass die untere Farbe einen viel höheren Grad der Sättigung besitzt als die obere, und daher nicht so rein wie diese, sondern blass erscheint.

Die Umkehrung der Natriumlinie. O. TUMLIRZ beschreibt in *Exner's Rep. d. Ph. (1887, S. 404)* einen Apparat, bei welchem das emittierte Licht, wie üblich, von der natriumgelb gefärbten Flamme eines Bunsen'schen Flachbrenners herrührt, während die Absorption durch einen Spiritusflachbrenner bewirkt wird; dieser bietet den Vortheil, dass das Licht den kälteren Kern allein durchsetzt, ohne die heisseren Theile der Flamme zu passieren. Der Spiritusbrenner enthält zu diesem Zwecke (ähnlich wie die Petroleumlampe des Skioptikons) einen doppelten Docht von ungefähr 5 cm Breite, dessen beide Enden einen spitzen Winkel mit einander bilden; sie wird mit Weingeist gespeist, der mit etwa 30% Wasser verdünnt ist. Die Flamme wird überdies dadurch gekühlt, dass sie an jeder Längsseite von drei parallel über einander angebrachten Kohlenstäbchen eingefasst wird und noch ein siebentes zwischen beiden Dochten liegendes Stäbchen umspült; diese Stäbchen sind sämtlich mit einem Kochsalzüberzug versehen, der durch seine Verdampfung zur Abkühlung der Flamme beiträgt und deren Färbung hervorruft. Der Bunsenbrenner wird nun so gestellt, dass das von ihm ausgehende Licht die Spiritusflamme in ihrer Längsrichtung, also parallel den Kohlenstäbchen durchsetzt; man sieht dann den Kern der Spiritusflamme in der Gestalt eines umgekehrten Y. Hat das emittierte Licht keine zu grosse Intensität, so erscheint die Spiritusflamme fast ganz schwarz.

In der *Zeitschr. f. d. (österr.) Realschulwesen* (XII, 8, 1887) macht F. EMICH darauf aufmerksam, dass sich die Umkehrung der Natriumlinie für subjektive Beobachtung recht gut mit Hilfe der elektrischen Glühlampe ausführen lässt. Man projiziert mittelst einer Sammellinse von etwa 1 dem Brennweite das Bild des glühenden Kohlenfadens genau auf den Spalt, indem man zweckmässig beide, Kohlenfaden und Spalt, in der doppelten Brennweite der Linse anbringt. Vor den Spalt stellt man ein Porzellanschälchen, in welchem sich ein mit wässrigem Weingeist getränkter und stark mit Kochsalz bestreuter Wattebausch befindet, der angezündet wird. Bei möglichst eng gemachtem Spalt sieht man die Absorptionslinie des Natriumdampfes so scharf wie die D-Linie im Sonnenspectrum.

Ein einfaches Experiment über die Ausdehnung eines festen Körpers durch die Wärme. Nach H. G. MADAN (*Nature* XXXV, p. 89) wird ein flacher Stab aus Kupfer, Eisen oder Glas von etwa 30 cm Länge über zwei Holzklötze gelegt, die um etwa 25 cm von einander entfernt sind. Das eine Ende des Stabes wird durch ein Gewichtstück beschwert, unter das andere Ende dagegen wird eine feine Nähnadel geschoben, durch deren Oehr ein Strohalm von 16 bis 20 cm Länge als Zeiger gesteckt ist. Hinter dem Zeiger wird ein Schirm von weissen Papier aufgestellt.

Beim Erhitzen des Stabes durch eine Spiritusflamme setzt sich der Zeiger in Bewegung. Sogar die geringe Ausdehnung von Glas wird auf diese Weise sichtbar. Noch genauer arbeitet der Apparat, wenn man die Nadel auf glattem Metall rollen lässt. Legt man zwei Stäbe von verschiedenem Metall dicht neben einander, deren jeder seine besondere Nadel hat, und deren Zeiger sich vor derselben Skala bewegen, und erhitzt man beide Stäbe mittelst einer breiten Spiritusflamme (die in einem trogförmigen Gefäss erzeugt wird), so kann man auch die Differenz der Ausdehnungen zeigen. Die Zeiger versieht man zweckmässig mit einem Gegengewicht, indem man in dasjenige Ende des Strohhalmes, welches durch das Nadelöhr hindurchragt, ein oder zwei Schrotkörner steckt und mit Siegelack festkittet. Zu demselben Versuche wird von anderer Seite (*ebd.* p. 126) die Bemerkung gemacht, dass er unter gewissen Modifikationen zu sehr genauen Resultaten führen kann. Es wird namentlich empfohlen, statt des Gewichtstückes durch Vermittlung einer Feder einen Druck auf das festzuhaltende Ende des Stabes wirken zu lassen.

Anwendung des Kipp'schen Apparates zur Darstellung von Chlor, Schwefeldioxyd und Sauerstoff. Um den Kipp'schen Apparat zur kontinuierlichen Entwicklung von Chlor zu verwenden, empfiehlt C. WINKLER (*Ber. d. chem. Gesellschaft*, XX, 184), den Apparat mit Chlorkalk zu beschicken und diesen dann durch Salzsäure zu zersetzen. Da indess bei Anwendung von pulverförmigem Chlorkalk die Gasentwicklung anfangs zu stürmisch ist und später rasch nachlässt — ein Uebelstand, der sich durch langsames Hinzufliessen der Säure zum Chlorkalk nur in geringem Maasse beseitigen lässt —, so empfiehlt es sich, den Chlorkalk unter Anwendung eines geeigneten indifferenten Bindemittels in grössere würfelförmige Stücke zu formen. Als Bindemittel empfiehlt sich vor allem der gebrannte Gips. Man mengt trockenen Chlorkalk mit einem Viertel seines Gewichtes an Gips und fügt soviel (aber nicht mehr) Wasser hinzu, dass beim Durcharbeiten eine feuchte, bröckelige Masse entsteht, die sich zwischen den Fingern nur mit Mühe ballen lässt. Dieselbe wird dann, nachdem sie mit einer eisernen Mörserkeule kurze Zeit durchgestampft ist, in einen viereckigen eisernen Rahmen von 10 bis 12 mm Höhe mittelst eines flachen eisernen Schlägels eingeschlagen. Dann kehrt man den Rahmen auf ein Stück Wachstuch oder eine Gummiplatte um und unterwirft das Ganze dem Druck einer starken Presse. Endlich zerschneidet man die Chlorkalkscheibe zu Würfeln, welche bei einer 20° nicht überschreitenden Temperatur möglichst schnell getrocknet werden. Sie sind in gut schliessenden Gefässen aufzubewahren. Zum Gebrauch werden die Würfel in einen Kipp'schen Apparat mit eingeschlifftem Glashahn gefüllt, ausserdem wendet

man rohe, aber von Schwefelsäure freie Salzsäure von 1,124 spez. Gew. an, die vorher mit dem gleichen Volumen Wasser verdünnt worden ist. Der als Bindemittel benutzte Gips fällt in dem Maasse, wie die Würfel verbraucht werden, zu Boden und lagert sich dort als wenig voluminöse Masse ab.

G. NEUMANN schlägt ein ähnliches Verfahren (*Ber. d. chem. Gesellschaft*, XX, 1584) zur kontinuierlichen Entwicklung von Schwefeldioxyd und von Sauerstoff vor. Im ersteren Falle sind Würfel anzuwenden, die aus einem Gemisch von 3 T. Calciumsulfid und 1 T. Gips hergestellt sind. Als Flüssigkeit dient rohe konzentrierte Schwefelsäure. Im Interesse der sparsamen Verwendung der Würfel ist es wünschenswert, von Anfang an nicht mehr Würfel durch Schwefelsäure zu benetzen, als zur Erzeugung des gewünschten Gastromes unbedingt erforderlich ist. Zur Darstellung von Sauerstoff dienen Würfel aus 2 T. Baryumsuperoxyd, 1 T. Braunstein und 1 T. Gips, welche man durch Salzsäure von 1,12 spez. Gew. zersetzt, die vorher mit dem gleichen Volumen Wasser verdünnt war. Das entwickelte Gas ist durch Natronlauge zu waschen. — Die vorstehend beschriebenen Würfel werden von der chemischen Fabrik von H. Trommsdorff in Erfurt angefertigt.

Bgr.

2. Forschungen und Ergebnisse.

Überführung von Flüssigkeiten in den festen Aggregatzustand durch blossen Druck.

Es ist eine theoretische Forderung, dass es möglich sein muss, Substanzen, welche im festen Zustande dichter sind als im flüssigen, allein durch hohen Druck aus dem zweiten in den ersten überzuführen. Indessen war bisher kein Beispiel dieser Art bekannt. E. H. AMAGAT glaubt jetzt in dem Tetrachlorkohlenstoff (CCl_4) einen solchen Körper aufgefunden zu haben. Die Prüfung des Aggregatzustandes geschah dadurch, dass im Innern des aus Bronze bestehenden Compressionscylinders ein kleiner eiserner Bolzen angebracht war, der auf elektromagnetischem Wege in die Höhe gehoben werden konnte und beim Niederfallen durch Zusammenstoss mit der Flüssigkeit ein deutlich hörbares Geräusch erzeugte. Dieses Geräusch verschwand, als der Druck etwa 1500 Atmosphären erreicht hatte. Durch Anfügen von konisch geformten Glasstücken an die beiden Enden des Cylinders wurde es ferner möglich, unter Anwendung von elektrischem Licht ein photographisches Bild der gebildeten Krystalle herzustellen. Die chemische Identität dieser Krystalle mit der angewandten flüssigen Substanz scheint indessen noch nicht endgültig festgestellt zu sein. Die Bestimmung des Druckes, bei welchem die Erstarrung eintritt, war deswegen schwierig, weil der Ausgleich der Compressionswärme abgewartet werden musste. Es ergab sich bei $-19^{\circ}5$ ein Druck von 210 A.; bei 0° : 620 A., bei 10° : 900 A., bei $19,5^{\circ}$: 1160 A. — Auch das Benzin hat sich bei einem vorläufigen Versuch nach dieser Methode bei 22° durch einen Druck von ungefähr 700 Atm. zum Krystallisieren bringen lassen (*C. R.*, 105, p. 165/7; 1887).

Dampfdichte des Zinks. Es ist J. MENSCHING und V. MEYER gelungen, die Dampfdichte des Zinks zu bestimmen, was um so wichtiger ist, als bisher diese Constante nur bei zwei Metallen, Hg und Cd, ermittelt werden konnte. Die Verdampfung des Metalls musste in einer völlig sauerstofffreien Stickstoffatmosphäre innerhalb eines birnförmigen Porzellengefässes, in einem Schmelzofen von einer constanten Temperatur (ca. 1400°) vorgenommen werden. Es ergaben sich bei zwei Versuchen die Zahlen 2,41 und 2,36, woraus hervorgeht, dass die Moleküle des Zinks, ebenso wie die des Cadmiums und des Quecksilbers in dampfförmigem Zustande aus je 1 Atom bestehen. Die entsprechende theoretische Dampfdichte des Zinks ist 2,25 (*Nachr. v. d. K. Ges. d. W. zu Göttingen*, 1887, No. 1). — Ein für Dampfdichtbestimmungen geeignetes Pyrometer wird von demselben Verf. in den *Nachr. etc.* 1887 No. 7 beschrieben.

Die Lichtemission glühender fester Körper ist von H. F. WEBER (*Sitz.-Ber. der Berl. Akad.* 1887, XXVIII, XXIX) einer erneuten Untersuchung unterzogen worden.

John Draper hatte (1847) gefunden, dass alle festen Körper bei derselben Temperatur, ungefähr 525° , mit dunkler Rotglut zu glühen beginnen, und dass bei steigender Temperatur allmählich immer brechbarere Strahlen auftreten, bis bei etwa 1170° das Spektrum ebenso ausgedehnt wie das des Sonnenlichtes geworden ist. Dies Resultat erfährt durch Weber's Untersuchung eine erhebliche Modifikation. Weber suchte den Moment der eben auftretenden Rotglut an den Kohlenfasern elektrischer Glühlampen zu ermitteln; dabei ergab sich, dass schon unterhalb der Rotglut ein äusserst schwaches, „gespenstergraues“ Licht sichtbar wird, das dem Auge unster, glimmend, auf- und abhuschend erscheint. Bei langsamer Steigerung der Stromstärke blieb dies Licht noch längere Zeit düstergrau und wandelte sich dann allmählich in aschgrau, endlich in gelblichgrau. Erst bei noch weiterer Verstärkung des Stromes zeigte sich der erste Schimmer feuerroten Lichtes, das an Stärke im weiteren Verlauf zunahm und durch Orange, Gelb, Gelblichweiss in Weiss überging. Die spektrale Prüfung ergab, dass jenes erste düsternebelgraue Licht genau die Stelle des Spektrums einnimmt, an welcher eine plötzlich vergrösserte Stromstärke die gelbe und grün-gelbe Strahlung erscheinen lässt. „Das Spektrum des glühenden Kohlenfadens wächst bei steigender Temperatur nicht einseitig, in der Richtung vom Rot nach dem Violett, sondern entwickelt sich, von einem schmalen Streifen ausgehend, genau von seiner Mitte aus gleichmässig nach beiden Seiten“. Weber macht darauf aufmerksam, dass die Anfangszone des sichtbaren Glühens dieselbe sei, die im völlig entwickelten Spektrum dem Auge als die hellste erscheine und auch die maximale thermische Energie entwickle. Er hält es für wahrscheinlich, dass jene Zone deswegen dem Auge am frühesten sichtbar werde, weil sie auch schon bei der Temperatur der beginnenden Grauglut die maximale Energie besitzt.

Der naheliegende Einwand, dass die beobachtete Grauglut nur eine Eigentümlichkeit des elektrischen Glühens sein könne, wird von Weber durch analoge Versuche über Lichtentwicklung bei einfacher Erwärmung zurückgewiesen, die genau den gleichen Verlauf des Glühendwerdens erkennen liessen. — Die Behauptung Draper's endlich, dass alle Körper bei derselben Temperatur und zwar bei 525° zu glühen anfangen, ist nach den Versuchen, die Weber mit verschiedenen Metallen angestellt hat, nicht mehr aufrecht zu erhalten. Vielmehr liegt die Temperatur der beginnenden Grauglut für Platin bei etwa 390° , für Gold bei 417° , für Eisen bei 377° .

Der elektrische Leitungswiderstand des menschlichen Körpers. Nach Versuchen von W. H. Ston, wobei die Extremitäten in Salzlösungen getaucht und grosse Bleielektroden angewendet wurden, hat sich der Leitungswiderstand des menschlichen Körpers viel geringer herausgestellt, als man bisher angenommen hat. Der Widerstand betrug bei einer erwachsenen Person von dem einen Fuss bis zum andern 939 Ohm, von einem Fuss bis zu einer Hand 905,45 Ohm. Bei diesen Versuchen hat sich auch ergeben, dass der Körper des Menschen eine sehr beträchtliche elektrostatische Kapazität besitzt, Polarisation zeigt und wie ein sekundäres Element wirkt. (*Electricité*, XI, No. 6, 1887)

Die gegenwärtigen Anschauungen über die Elektrolyse von Lösungen bilden den Gegenstand eines Vortrages, den FR. KOHLRAUSCH in der *Elektrotechn. Zeitschr.* 1887, VI. veröffentlicht hat. Nach Auseinandersetzung von Grotthuss' Hypothese und von Faraday's elektrolytischem Gesetz (welches sich um so genauer bestätigt hat, je strenger es geprüft worden ist), werden Hittorf's Untersuchungen über das Wandern der Ionen besprochen und das Verhältnis der Weglängen der Ionen für eine Anzahl von Verbindungen graphisch dargestellt. Die Rolle des Lösungsmittels ist nicht als eigentliche Leitung aufzufassen, da reine Flüssigkeiten für sich sehr schlechte Leiter sind; der Verf. hat z. B. nachgewiesen, dass eine 1 mm lange Säule sorgfältig gereinigten Wassers denselben Widerstand darbietet, wie eine Kupferleitung von dem gleichen Querschnitt und von der Länge der Mondbahn. Die Elektrolyse entsteht vielmehr durch Mischung, oder anders ausgedrückt: nur Lösungen liefern gut leitende Elektrolyte. So leitet die bestleitende wässrige Lösung von Schwefelsäure etwa 100 mal, eine solche von Essigsäure gar 30 000 mal besser als

die reinen Säuren. Obwohl nun aber die Elektrolyte dem Ohm'schen Gesetz ebenso gehorchen wie die Metalle, unterscheiden sie sich von diesen doch namentlich dadurch, dass ihr Leitungsvermögen mit steigender Temperatur nicht ab —, sondern zunimmt, und dass der Einfluss der Wärme ein vielfach grösserer ist als bei den Metallen. Bei 40° ist das Leitungsvermögen gegen 0° durchschnittlich schon verdoppelt. Diese Verhältnisse werden an der Schwefelsäure ausführlich erläutert. — Ein Zusammenhang des Leitungswiderstandes der Lösungen mit ihrer mechanischen Zähigkeit tritt darin hervor, dass sich die Salze hinsichtlich beider in eine gleiche Reihe einordnen lassen. Ein eigenthümliches Gesetz spricht sich ferner in Folgendem aus: Bezeichnet man als „Molekulargehalt“ (m) einer Lösung den Quotienten aus dem Gehalt eines Liters an Grammen und dem Molekulargewicht des Elektrolyten, ferner als „spezifisches Leitungsvermögen“ das Verhältnis des Leitungsvermögens zu diesem Molekulargehalt, und endlich als „lineare Dichtigkeit der elektrolytischen Moleküle“ die Anzahl von diesen, welche durch eine Linie von der Länge 1 getroffen werden (darstellbar durch $\sqrt[3]{m}$), so stellt sich heraus, dass die Änderungen des spezifischen Leitungsvermögens bei wechselnder Concentration ungefähr der linearen Dichtigkeit proportional sind. Vergleicht man ferner das spezifische Leitungsvermögen verschiedener Elektrolyte miteinander, so findet man, dass dieses mit den Wanderungsgeschwindigkeiten der Ionen in einer gewissen Beziehung steht. So gilt die Reihenfolge der Elemente H , K , Na , Li , sowohl wenn die Abnahme der Leitungsfähigkeit gleichartigen Salze, als auch, wenn die Abnahme der relativen Geschwindigkeit der Ionen bei Abscheidung aus gleichartigen Elektrolyten (z. B. Chlorüren) in Betracht gezogen wird. Diese Thatsache lässt sich schliesslich in den Satz zusammenfassen, dass das Leitungsvermögen sich aus den Beweglichkeiten der einzelnen Ionen additiv zusammensetzt. Für verdünnte Lösungen von Elektrolyten mit einwertigen Säuren kann dies Gesetz auch so ausgesprochen werden, dass jeder Bestandteil seine eigentümliche Beweglichkeit besitzt, unabhängig davon, welches die Verbindung ist, in der er vorhanden ist. Auch auf die absolute Geschwindigkeit der Ionen haben sich Schlüsse ziehen lassen, denen zufolge z. B. bei einer Triebkraft von 1 Volt auf 1 mm Länge die mittlere Geschwindigkeitskomponente in der Stromrichtung für H 0,3, für K oder Cl 0,06, für Li 0,028 mm/sec. beträgt. Interessant ist, dass gut leitende Elektrolyte meist auch ein starkes Diffusionsvermögen haben, und umgekehrt; es trifft also die leichtere elektrolytische Beweglichkeit der Teilmoleküle mit einer grösseren Beweglichkeit auch der ganzen Moleküle zusammen. Eine ähnliche Beziehung hat sich endlich auch zwischen dem Leitungsvermögen und der chemischen Reaktionsgeschwindigkeit gezeigt. Eine Vorstellung von dem Grunde dieses gleichartigen Verhaltens lässt sich im Anschlusse an eine Clausius'sche Hypothese gewinnen, wenn man nämlich annimmt, dass in einem Elektrolyten von den gelösten Molekülen eine Anzahl bereits dissociiert sei, und dass die freien Teilmoleküle sowohl die ersten Angriffspunkte für die elektrischen Kräfte darbieten als auch der chemischen Aktion zum Ausgang dienen.

Den hier skizzierten Darlegungen sind wertvolle Andeutungen über die Probleme hinzugefügt, die zunächst Lösung verlangen, und für welche die physikalische Chemie sich als das geeignetste Forschungsfeld erweisen wird.

3. Unterricht und Methode.

Der Wert des praktischen physikalischen Arbeitens für die Erziehung. In einer Rede, die bei der vorletzten Jahresfeier der „freien“ Hopkins-Universität in Baltimore gehalten worden ist, hat der hervorragende Physiker Henry A. Rowland die Bedeutung des physikalischen Laboratoriums für die Erziehung behandelt. Wenngleich unsere Schulverhältnisse weit davon entfernt sind, eine Verwirklichung des darin ausgesprochenen Gedankens zuzulassen, so sind doch die geltend gemachten Gesichtspunkte an sich auch für uns von Interesse. „Der unwissenschaftliche Geist unterscheidet sich von dem wissenschaftlichen darin, dass er Behauptungen aufstellt oder sich gefallen lässt, für die er keine klaren Begriffe mitbringt, und deren Wahrheit ihm nicht verbürgt ist.“ — „Wenn die

Erziehung diesen Fehler beseitigen soll, so muss sie eine Norm (standard) der absoluten Wahrheit darbieten, welche dem Geiste unmittelbar nahe gebracht werden kann“. Das Beispiel Galileis wird als vorbildlich hingestellt: „Man lasse den jugendlichen Geist der Natur gegenüber treten; lasse sein Denkvermögen an den einfachsten physikalischen Erscheinungen sich üben und dann selber seine Ansichten der praktischen Prüfung unterwerfen. Das Resultat wird unfehlbar Bescheidenheit sein, denn es wird sich zeigen, dass die Natur Gesetzen folgt, die nur durch mühevollen Arbeit, nicht durch den ungezügelten Flug der Phantasie gefunden werden können“. — „Von dem grossen Faraday wird erzählt, dass er niemals ein Experiment völlig habe verstehen können, als bis er es selber nicht nur gesehen, sondern auch ausgeführt habe. Sollen wir erwarten, dass unsere Kinder leisten, was Faraday nicht vermochte?“ — „Der Zweck der Erziehung ist nicht nur das Wissen, sondern auch das Können; es sollen Menschen herangebildet werden, welche die Probleme der Natur und des menschlichen Lebens anzugreifen und zu lösen im Stande sind; nicht Männer der Theorie, sondern Männer der That. Aus der Beschäftigung mit dem Experiment, aus der Bearbeitung von Problem auf Problem erwächst jener wissenschaftliche Geist, der die heutige Wissenschaft geschaffen hat und der dazu berufen ist, die Probleme der Zukunft zu lösen“. (*J. Hopk. Univ. Circ. vol. V, No. 50*). Diese wenigen Bruchstücke lassen erkennen, mit welcher Energie und mit welcher Weite des Blickes Rowland seine Idee erfasst hat. Für uns legen sie mindestens die Erwägung nahe, auf welche Weise die bei Knaben vielfach vorhandene Neigung zum Experimentieren in die richtigen Bahnen gelenkt und für die Gesamtausbildung nutzbar gemacht werden kann. Bisher fehlt es unseres Wissens selbst an einer geeigneten Anleitung, da die vorhandenen litterarischen Hilfsmittel entweder über dem Standpunkt des Schülers stehen oder aber, wo dies nicht der Fall ist, ihre Aufgabe nicht ernst genug auffassen. Wir werden gern von allem, was in dieser Richtung förderlich sein kann, Notiz nehmen.

Die Behandlung des chemischen Lehrstoffes beim Unterricht. Über dieses Thema bringt das *Centralorgan f. d. Int. d. Realschulwesens*, begr. von Max Strack, 1887 No. 6 einen Aufsatz von F. WILBRAND (Hildesheim), der sich in seiner Grundidee wie in seiner Ausführung mit unserem Plan einer logischen Durchbildung des naturwissenschaftlichen Unterrichts nahe berührt. Der Verfasser zweifelt, dass es möglich sein wird, dem Unterrichte in der Chemie die Arbeiten zu Grunde zu legen, durch welche die wichtigsten Elemente und Verbindungen thatsächlich entdeckt wurden. Er hat sich vielmehr die Aufgabe gestellt, den Lehrstoff selbst in die Form von induktiven Untersuchungen zu bringen. Seine Entwicklung der Eigenschaften der englischen Schwefelsäure muss als ein muster-gültiges Beispiel dieser Art bezeichnet werden. Aus dem Verhalten des Vitriolöls zu verschiedenen Metallen (*Cu, Zn, Fe, Hg*) und Metalloxyden wird die chemische Constitution der genannten Säure erschlossen, und zwar geschieht dies durch eine Verknüpfung von Denkopationen und Experimenten, welche in dem Schüler neben dem gespanntesten Interesse die unmittelbare Freude des Entdeckens hervorrufen müssen. Das Verfahren ist ein induktives im strengen Sinne des Wortes; der Verfasser führt die Untersuchung noch weiter bis zu dem Satze: „Die Metallvitriole entstehen durch Eintreten von Zink, Eisen, Kupfer, Quecksilber an die Stelle von Wasserstoff in der Schwefelsäure“ und schliesst mit der Fragestellung, ob eine Erweiterung dieses Satzes für die Bildung der Salze im allgemeinen zulässig sei. Die eingestreuten Bemerkungen logischen Charakters tragen noch dazu bei, den Eindruck zu erhöhen, dass in dem hier bearbeiteten Abschnitt des chemischen Lehrstoffes ein wertvoller Beitrag zur Methodik des naturwissenschaftlichen Unterrichts dargeboten wird.

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Kritische Geschichte der allgemeinen Principien der Mechanik. Nebst einer Anleitung zum Studium mathematischer Wissenschaften. Von Dr. E. Dühring. Dritte, wiederum erweiterte und theilweise umgearbeitete Auflage. Leipzig 1887. Fues. XXVIII und 610 S.

„In jeder Wissenschaft kann die Geschichte ihres Werdens mehr oder minder eine indirekte Anweisung für das Studium sein. Die gesichtete Darlegung der Bestandstücke, aus denen nach und nach das schliesslich vorhandene Ganze geworden ist, macht die natürliche Stufenfolge sichtbar, in welcher von den einfacheren und unmittelbareren Anschauungen zu den letzten Abstraktionen und kunstreicheren Methoden fortgeschritten wurde. In ganz besonderem Maasse gilt nun diese Nützlichkeit der Wissenschaftsgeschichte für das Studium der gesammten Mechanik, so dass man behaupten darf, die historische Darstellung selbst bilde in ihren Hauptausgangspunkten eine natürliche erste Einleitung in das Gebiet. In der That war Letzteres auch kein Nebengesichtspunkt bei der Abfassung der vorliegenden Schrift gewesen.“ (S. 581). Auch in dieser neuesten Auflage bekundet sich wiederum Dühring's ausdauernde Kraft, jene ursprünglichen Bestandstücke unserer Wissenschaft zu vermehren. Nachdrücklicher noch als früher sind im Verlaufe der Geschichtsdarstellung die Probleme und Fragen hervorgehoben, welche vermöge der individuellen Begabung jedes einzelnen Forschers zunächst unerledigt bleiben mussten. Solchen Ausblicken reihen sich an schicklichen Stellen Hinweise auf die von beiden Dühring (Vater und Sohn) gewonnenen neuen Resultate an, soweit dieselben einen prinzipiellen Charakter haben (vgl. „Neue Grundgesetze zur rationellen Physik und Chemie. Erste und zweite Folge“, sowie „Neue Grundmittel und Erfindungen zur Analysis, Algebra, Funktionsrechnung und zugehörigen Geometrie“). So wird S. 424 die Notwendigkeit betont, „auf die Angriffsgegenstände der Kräfte, zunächst also auf die mechanische Linie einzugehen“; so findet sich S. 492 eine Kritik des Oscillationsbegriffs. Ein völlig neu hinzugefügter Artikel (210) beschäftigt sich mit der „natürlichen Abstufung der Methoden“, er fordert ein „besseres Verhältnis für die Anteile von Rechnung und Konstruktion“, und das „Voranstehen sachlicher Untersuchung.“ Es heisst da: „Der rein begriffliche Leitfaden bewegt sich nämlich noch um eine Stufe höher in der Abstraktion als der analytische, und die Natur der Aufgabe wird jedesmal den nötigen Stoff an abstrakten sachlichen Ausgangsbegriffen liefern.“ (S. 567). In dem Vorwort (S. XVII) wird endlich noch „eine abstraktere und höhere Fassung für die gesamte Mathematik und deren Anwendungen“ in Aussicht gestellt. *Sn.*

Grundriss der Naturlehre für die unteren Klassen der Mittelschulen von Dr. E. Mach, o. ö. Prof. an der deutschen Karl Ferdinands-Universität in Prag und Dr. Joh. Odstreil, Prof. an k. k. deutschen Staatsgymnasium in Teschen. Ausgabe für Gymnasien. Mit 348 Abbildungen. Prag, 1887. F. Tempsky. IV und 231 S.

Die Grundsätze, nach welchen dieser kleine Leitfaden bearbeitet ist, werden von den Verfassern selbst folgendermaassen ausgesprochen: 1) Wir gehen überall von den Erscheinungen aus, so dass sich die Begriffe in der natürlichsten Weise, sozusagen von selbst ergeben. 2) Wir benutzen nach Möglichkeit die meist sehr naiven, einfachen und klassischen Beobachtungen und Gedanken, aus welchen die grossen Forscher die Physik aufgebaut haben. Die Darstellung wird hierdurch nicht nur am verständlichsten, sondern das historische Moment fügt sich derselben auch ganz natürlich und nicht bloss äusserlich ein. 3) Wir streben nach einer möglichst zusammenhängenden Darstellung. Der Schüler soll bei jedem Satz, den er lernt, an seine vorher erworbenen Kenntnisse erinnert werden, dieselben anwenden und ihren Wert fühlen lernen. 4) Die Erscheinungen werden nicht nur in besonderen Einzelformen vorgeführt, sondern wo es thunlich und nützlich ist, versuchen wir dem Schüler einen Ueberblick über die möglichen Fälle zu geben.

Von diesen Grundsätzen sind vorzüglich die ersten beiden dazu geeignet, eine über das bisher vielfach Uebliche hinausgehende Behandlung des physikalischen Unterrichts zu

Wege zu bringen; der erste ist namentlich in der Wärmelehre, der zweite in der Mechanik zum Ausdruck gekommen. Die Wärmelehre geht gleich nach den einleitenden Auseinandersetzungen über thermische Ausdehnung dazu über, die Begriffe Temperatur, Wärmemenge und spezifische Wärme zu entwickeln; dann erst folgen die Aenderungen des Aggregatzustandes, schliesslich die Quellen der Wärme. In der Mechanik ist der historische Gesichtspunkt in durchgreifender Weise zur Geltung gebracht; so ist die schiefe Ebene an Stevin's Betrachtung der über eine solche gelegten Kette angeknüpft, die Hebelgesetze werden aus der Drehung eines Körpers um einen festen Punkt (Varignon) abgeleitet. Zur Erläuterung der Fallgesetze wird auf Galilei's klassische Ueberlegung zurückgegangen: Galilei (1638) hat vermutet, dass die Geschwindigkeit fallender Körper proportional der Fallzeit zunimmt" (S. 77). — „Nun handelt es sich darum, durch den Versuch zu ermitteln, ob Galilei's Vermutung zutrifft“ (S. 78). Hierauf folgt der Versuch an der Fallrinne mit einer zweckmässigen Abänderung. (Deutlicher hervorzuheben wäre wohl gewesen, dass die Bestätigung der „Vermutung“ von Galilei selbst herrührt; auch sei erinnert, dass die eigentümliche Ableitung des Satzes: grosse und kleine Körper fallen gleich schnell, schon von Benedetti gegeben worden ist). In der Hydrostatik ist u. a. Stevin's Fiktion eines starren Körpers zur Ableitung der Druckverhältnisse benutzt. — Unter den übrigen Abschnitten ist besonders der „von den chemischen Vorgängen“ als recht reichhaltig und durch manche Abweichungen von dem traditionellen Gange ausgezeichnet hervorzuheben. Doch dürfte es sich empfehlen, die (S. 29) aufgezählten 5 Grundgesetze der chemischen Erscheinungen nicht sofort als aus dem einen Versuch über die Verbindung von *S* und *Fe* sich ergebend hinzustellen. In der Elektrizitätslehre findet sich ein sehr origineller Versuch zur Demonstration des Coulomb'schen Gesetzes. Auch zwei Abschnitte über „Erscheinungen am Himmel“ und „Erscheinungen in der Atmosphäre“ sind dem Buche beigegeben, das als ein beachtenswerter Markstein auf dem Wege zu logisch-historischer Vertiefung des physikalischen Unterrichtes angesehen werden muss. P.

Über die Zukunft der Mathematik auf unsern Gymnasien. Von K. H. Schellbach.
Berlin, G. Reimer, 1887. 34 S.

Der Verfasser hat sich bereits vor mehr als zwanzig Jahren in einem Programm „über den Inhalt und die Bedeutung des mathematischen und physikalischen Unterrichtes auf unsern Gymnasien“ (Berlin, 1866) ausgesprochen, mit einer Begeisterung, die auch heut noch jedem Leser des Aufsatzes sich mitteilt. Von derselben Begeisterung, „die selbst im spätesten Alter nicht erkalte“, und „deren der wissenschaftliche Forscher ebenso fähig ist als der Künstler und Dichter“, ist auch die neueste kleine Schrift Schellbach's erfüllt. Ihr Hauptinhalt ist das Verhältnis der Mathematik zu den klassischen Sprachen. Bei diesem Anlass fällt manches treffliche Wort über Physik und physikalischen Unterricht. Wir heben die folgende Stelle hervor: „das wäre kein Lehrer der Mathematik für unsere Gymnasien, der seinen Schülern nicht sagen könnte: „Seht, mit dieser Formel $[v^2/r]$ könnt ihr Wunder thun! Ihr könnt berechnen, aus wieviel Erdkugeln die Sonne besteht; wie hoch ihre Atmosphäre hinaufreicht, und ob diese selbst das Zodiakallicht ist; ferner wieviel ihr spezifisches Gewicht beträgt. Aus der blossen Umlaufszeit des Mondes könnt ihr seine Entfernung von der Erde finden“ u. s. w. Anderes, wie die Auseinandersetzung über die Anwendung unendlich kleiner Strahlenkegel und über die Rolle der Kegelschnitte in der Optik erwähnen wir nur, da wir hoffen, von dem Meister des Faches selber bald ausführlichere Mittheilungen aus diesem Gebiet bringen zu können. Freudig stimmen wir seiner Forderung zu, „die Naturwissenschaften haben mit Hilfe der Mathematik die Welt umgestaltet, und unsere Schüler sollen begreifen lernen, wie das möglich war.“ P.