

## Töpler's Vorlesungsapparat zur Statik und Dynamik starrer Körper.

Von

Dr. R. Hennig in Dresden.

### Vorbemerkung von Prof. A. Töpler.

In Folge einer kurzen Notiz über den Apparat im Tageblatte der 60. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte wurde ich von dem Herausgeber dieser Zeitschrift um Einsendung einer ausführlichen Mitteilung ersucht. An einer eigenhändigen Beschreibung, welche ich unter anderen Umständen sehr gern geliefert hätte, war ich durch Krankheit verhindert; Herr Dr. Hennig hatte daher die Güte, die Mitteilung an meiner Stelle nach meinen Angaben zu verfassen. Der Apparat hat mir schon seit zehn Jahren in den Vorlesungen gute Dienste geleistet. Seine Konstruktion entstand aus dem Wunsche, in der experimentellen Behandlung einzelner Abschnitte der Elementarmechanik weiter gehen zu können, als es mit Parallelogrammmaschine, Hebelmodell, schiefer Ebene, Fallmaschine und Pendel zu geschehen pflegt, und hierzu ein einziges, möglichst bequemes Hilfsmittel zu besitzen. Der im Grunde genommen ganz einfache Apparat eignet sich zunächst für die Veranschaulichung der Fundamentalsätze, welche auf ein sogenanntes in der Ebene frei bewegliches starres System, in dessen Ebene Kräfte wirken, Bezug haben. Jedoch lassen sich auch leicht die wichtigsten Gleichgewichtsfälle bei räumlicher Kräfteverteilung erläutern. In der Beschreibung sind die lehrreichsten Experimente in sachlicher Anordnung kurz dargestellt. Der Fachleser wird leicht erkennen, wie dieselben eventuell zu modifizieren oder zu vervollständigen wären, und wie bei strenger Behandlung der Bewegungsercheinungen die Massen der Laufrollen, der spannenden Gewichte u. s. w. in Rechnung zu ziehen sind. Die praktische Handhabung des Apparates erfordert ein wenig Übung.

### I. Beschreibung des Apparates.

Der Apparat<sup>1)</sup> besteht im wesentlichen aus einer schweren, gusseisernen Kreisscheibe (*a*, Fig. 2), deren Unterfläche möglichst eben abgeschliffen ist, und die vermittelt dreier genau gleich grosser Hartbroncekugeln, von denen in der Figur nur zwei (*b*) sichtbar sind, auf einer gleichfalls eben abgeschliffenen horizontalen Unterlagsplatte (*dēd*) ruht, so dass sie mit sehr wenig Reibungswiderstand auf dieser Unterlagsplatte frei beweglich ist, wie etwa ein schwimmender Körper auf einer Flüssigkeitsoberfläche. Die Unterlagsplatte muss mittelst einer feinen Libelle genau horizontal gestellt werden, damit die Scheibe der direkten Einwirkung der Schwerkraft entzogen ist. An der Oberfläche der beweglichen Scheibe sind, wie aus Fig. 1 zu ersehen ist, konische Löcher angebracht, in denen durch Gewichte gespannte Fäden befestigt werden können, welche die auf die Scheibe

<sup>1)</sup> Fig. 1 giebt eine perspektivische Ansicht des ganzen, für einen bestimmten Versuch eingestellten Apparates, Fig. 2 einen Vertikalschnitt durch die Hauptbestandteile desselben. Die der folgenden Beschreibung eingefügten Buchstaben beziehen sich auf Fig. 2.

wirkenden Kräfte darstellen. Die Befestigung geschieht sehr rasch und sicher mittelst kleiner konischer Stöpsel, von denen einer bei *i* unter Fig. 2 etwas grösser abgebildet ist. Um den verzüngten Hals des Stöpsels wird der Faden (*k*) mit einer Schlinge gelegt und mittelst Leitrolle (*h*) und Gewicht gespannt.

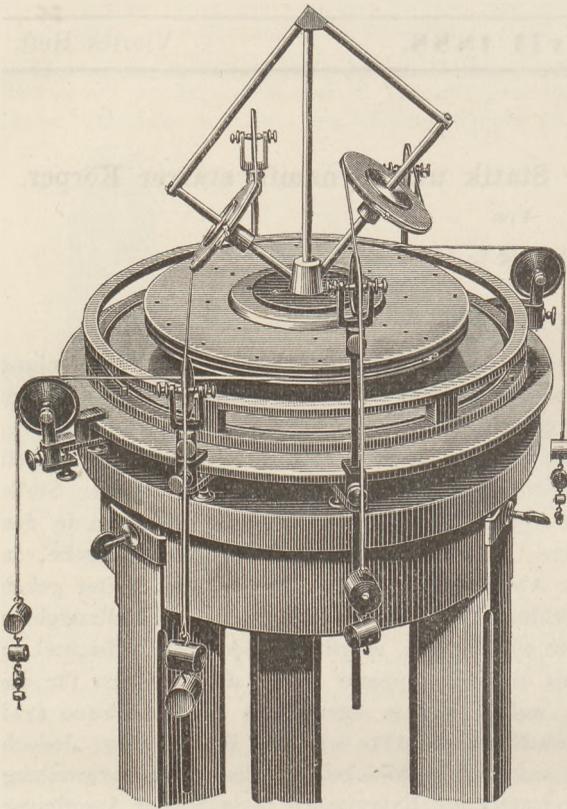


Fig. 1 ( $\frac{1}{10}$  nat. Gr.)

durch nunmehr starre Verbindung der Scheibe mit der Unterlagsplatte besteht. Diese starre Verbindung lässt sich auch ohne Benutzung des Centrierungsstiftes

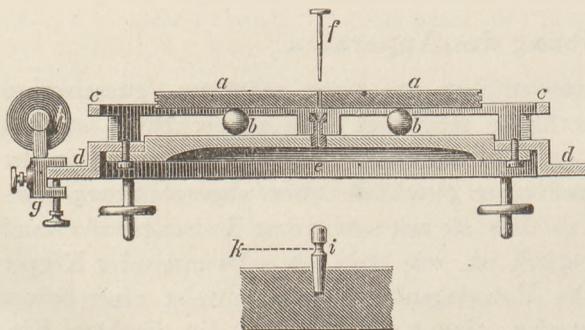


Fig. 2 ( $\frac{1}{10}$  nat. Gr.)

(bei *e*, Fig. 2) ist ein konisch ausgebohrter Messingcylinder eingeschraubt, der als Lager für den Centrierungsstift (*f*) dient, und dessen oberer Teil trichterförmig

Für das Centrum der Gusseisenscheibe ist ein besonderer, etwas grösserer Stöpsel vorhanden.

In den Rand der beweglichen Scheibe sind zwei rechteckige Rillen eingedreht, in welche mittelst hervorragender Stiftchen gleichfalls belastete Fäden eingelegt werden können, die dann auf die Scheibe constante Drehmomente ausüben. Die Mitte der Scheibe ist durchbohrt; durch diese Öffnung kann ein Centrierungsstift (*f*) in eine correspondierende Öffnung der Unterlagsplatte eingesteckt werden, so dass die Scheibe nur noch Drehbewegungen um ihren Mittelpunkt ausführen kann. Vermittelst einer an der Unterlagsplatte angeschraubten Klammer (Fig. 5), deren hervorragendes Ende mit einem Stift in ein Loch der Scheibe eingreift, kann ein zweiter Punkt fixiert werden, wodurch nunmehr starre Verbindung der Scheibe mit der Unterlagsplatte besteht. Diese starre Verbindung lässt sich auch ohne Benutzung des Centrierungsstiftes mit Hilfe einer zweiten derartigen Klammer, wie Fig. 5, herstellen. Eine starre Befestigung der Scheibe wird meistens zur Vorbereitung der einzelnen Versuche notwendig oder doch zweckmässig sein.

Die Unterlagsplatte ist gleichfalls aus Gusseisen hergestellt und besteht aus zwei durch Schrauben verbundenen concentrischen Teilen, deren innerer sorgfältig eben abgeschliffen ist<sup>2)</sup>. In der Mitte

<sup>2)</sup> Bei dem im Besitze des hiesigen Polytechnikums befindlichen, in Fig. 1 abgebildeten Apparate ist die Unterlagsplatte aus einem Stücke gegossen, doch ist durch die hierdurch bedingte Schwierigkeit des Schliffes der Apparat wesentlich verteuert worden.

ausgeweitet ist, um ein leichteres Centrieren zu gestatten. Die Unterlagsplatte ist mit einer geländerartigen Umrandung (*c*) versehen, welche die Bewegung der Kreisscheibe begrenzt, aber den Zwischenraum zwischen Scheibe und Platte bequem zugänglich lässt. Die obere Fläche dieser Umrandung trägt eine von 5 zu 5 Graden fortschreitende Kreisteilung, das untere Ende läuft in eine horizontale Flansche (*d*) aus, auf welcher die Leitrollen (*h*) für die belasteten Fäden durch Schraubzwingen (*g*) befestigt werden. Die ganze Unterlagsplatte lässt sich endlich mittelst dreier in den Randteil eingefügter Fusschrauben auf einem soliden Tisch oder Stativ genau horizontal stellen.

Ausser den geschilderten Hauptteilen gehören zum Apparate folgende Nebenbestandteile:

A) Eine Anzahl von leicht gearbeiteten Leitrollen (*h*, Fig. 2) aus Rotguss zur Führung der belasteten Fäden. Dieselben werden mit Schraubzwingen (*g*) am Rande der Unterlagsplatte befestigt und sind frei um eine horizontale Axe, ausserdem aber auch nach Lüftung einer Schraube um eine vertikale Axe in der Zwinde drehbar, so dass sie sich für beliebige Richtung der Fäden einstellen lassen. Im Bedarfsfalle lassen sie sich mittelst in die Schraubzwingen eingefügter vertikaler Verlängerungsstangen (siehe Fig. 3) in beliebiger Höhe, sowie mit Hilfe horizontaler eiserner Schienen (Fig. 4), die dann ihrerseits am Rande der Unterlagsplatte (bei *d*, Fig. 2) festgeschraubt werden, in grösserem Horizontalabstände am Apparate befestigen.



Fig. 3.

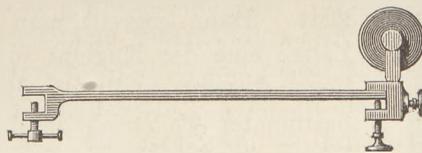


Fig. 4.

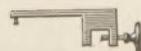


Fig. 5.

B) Zwei Klammern aus Messing (Fig. 5), die am Geländer des Apparates (*c*, Fig. 2) festgeschraubt werden, und deren hervorragendes Ende mit dem daselbst befindlichen Stifte in ein Loch der Kreisscheibe eingreift, um die früher erwähnte starre Verbindung der Scheibe mit ihrer Unterlage bewirken zu können.

C) Zwei eiserne Lenkerstangen (Fig. 6), die den Zweck haben, der Kreisscheibe Zwangsführungen zu erteilen, so dass dieselbe nur noch ganz bestimmte Bewegungen ausführen kann. Diese Lenkerstangen sind am einen Ende um vertikale Axen drehbar, die mit Schraubzwingen am Rande der Unterlagsplatte befestigt sind; das andere Ende greift mit einem drehbaren Stifte in ein Loch der Kreisscheibe ein.

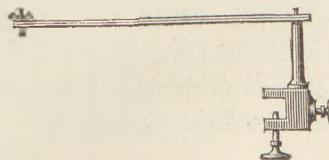


Fig. 6.

D) Einige Kreisscheiben aus hartem Holz mit ausgekehltm Rande, die, auf die bewegliche Scheibe in horizontaler Lage aufgesteckt, die Anbringung von Kräftepaaren (Drehzwillingen) mit constanten Drehmomenten gestatten, wie z. B. in Fig. 13 und 14. Die Mitte dieser Holzscheiben ist durchbohrt, um den Centrierungsstift (*f*, Fig. 2) durchzulassen.

E) Ein vertikaler eiserner Aufsatz, welcher den Zweck hat, die räumliche Zusammensetzung von Kräftepaaren zu demonstrieren. Dieser Aufsatz ist in Fig. 1 in Verbindung mit dem Apparate abgebildet. Er besteht im Wesentlichen aus einem Parallelogramm aus Eisenstäben, auf dessen beiden Seiten sich gleich grosse Kreisscheiben aus Hartgummi zwar nicht drehen, wohl aber mit Stift und Nuth

verschieben lassen, um die Ebenen der wirkenden Kräftepaare parallel verrücken zu können. Eine eben so grosse dritte Hartgummischeibe ist unten am Aufsatze senkrecht zur Diagonale des Parallelogrammes befestigt. Der Aufsatz passt mit zwei Stiften in zwei konische Löcher der Gusseisenscheibe, wodurch die feste Verbindung mit dieser hergestellt ist.

F) Eine entsprechende Anzahl von Gewichtsstücken, von denen jedes, wie aus Fig. 1 zu ersehen, mit zwei Haken versehen ist, so dass dieselben an einander gehakt und in beliebigen Gruppen gemeinschaftlich an die Fäden gehängt werden können.

G) Eine aus zwei Teilen bestehende Holz zange (Fig. 7), deren Verwendung sogleich geschildert werden soll.

Um bei der exakten Demonstration dynamischer Gesetze auch die Masse, beziehentlich das Trägheitsmoment der Hartbroncekugeln mit in Rechnung ziehen zu können, ordnet man die letzteren zweckmässig so an, dass sie im centrierten

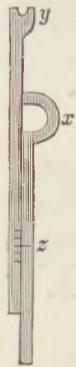


Fig. 7.

Systeme ein gleichseitiges Dreieck bilden, dessen Mittelpunkt im Centrum des Systems liegt. Diese Anordnung wird mit Hülfe der eben erwähnten Holz zange sehr bequem in folgender Weise vollzogen. Man legt die Scheibe zunächst auf die ungeordneten Kugeln auf, centriert sie und verbindet sie starr mit der Unterlagsplatte, so dass sie sich nur noch ein wenig lüften lässt. Dann ergreift man mit der seitlich in den Apparat eingeführten Zange eine der Kugeln, so dass dieselbe in die Höhlung bei  $x$  (Fig. 7) zu liegen kommt, stellt die Marke  $z$  des rechten Zangenschenkels auf einen bestimmten Teilstrich des linken ein, und verschiebt nun die Kugel unter Lüften der Scheibe so, dass die vordere Gabel  $y$  des linken Zangenschenkels den in der Mitte der Platte befindlichen Messingcylinder ( $e$ , Fig. 2) umfasst, während derselbe Schenkel sich an einen Stab des Randgeländers anlegt. Dann hat die Kugel einen ganz bestimmten, durch die Einstellung der Marke  $z$  gegebenen Abstand vom Centrum. Ebenso verfährt man mit den übrigen Kugeln. Da die Stäbe des Randgeländers in Abständen von je 60 Graden auf einander folgen, ist es leicht, auf die beschriebene Weise ein gleichseitiges Dreieck zu erhalten.

Es sei noch erwähnt, dass die in der Gusseisenscheibe zum Einstöpseln der Zugkräfte angebrachten Löcher nach einem gewissen, angemessenen Systeme angeordnet sind. Damit die Kraftrichtungen in der Ferne gut sichtbar sind, bestehen die Fäden aus weichgedrehter, starker, weisser Seidenschmur. Dass die bewegliche Gusseisenscheibe eine grosse Masse (etwa 14 kg) hat, ist für das sichere Gelingen derjenigen Versuche, welche für das Studium von Bewegungserscheinungen dienen sollen, notwendig.

## II. Experimente.

### A. Gleichgewichtserscheinungen bei freier Beweglichkeit in der Ebene.

#### 1. Satz vom ebenen Kräftepolygon.

Diesen wichtigsten Fundamentalsatz der Statik demonstriert man mit dem Apparate am einfachsten in folgender Weise: Man zeichnet sich das Kräftepolygon auf ein Blatt Papier auf und befestigt dieses mit etwas Klebwachs auf der mittelst der Klammern (Fig. 5) mit ihrer Unterlage starr verbundenen Gusseisenscheibe. Dann steckt man (Fig. 8) in denjenigen Punkt der Scheibe, welcher den gemein-

samen Angriffspunkt der Kräfte darstellen soll, etwa den Mittelpunkt, durch das zu diesem Zwecke durchlochte Papierblatt hindurch einen Stöpsel ein und legt um denselben die Schlingen der die Kräfte darstellenden belasteten Fäden. Durch Verschieben der Leitrollen richtet man diese Fäden parallel zu den Seiten des Polygons, und macht die Belastungen proportional den Längen der entsprechenden Polygonseiten. Löst man dann die starre Verbindung zwischen der Scheibe und der Unterlagsplatte, so bleibt die erstere im stabilen Gleichgewicht.

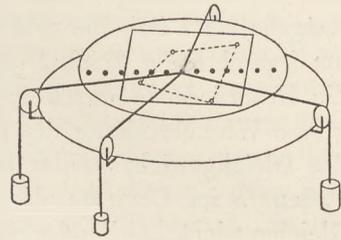


Fig. 8.

Um den Parallelismus zwischen den Krafrichtungen und den Polygonseiten rasch und sicher zu treffen, zeichnet man sich vorher auf dem Papierblatte durch den Angriffspunkt Parallelen zu den Polygonseiten, schneidet diesen Punkt kreisförmig aus und stöpselt durch den Ausschnitt hindurch die Kraftrichtungen fest. Letztere müssen sich dann mit den Linien auf dem Papierblatte decken.

Man kann bei diesem oder einem andern Gleichgewichtsversuche zugleich zeigen, dass am starren Körper der Angriffspunkt einer Kraft in der Krafrichtung beliebig verlegt werden kann ohne Störung des bestehenden Gleichgewichts. Die Löcher zum Feststöpseln der Kräfte sind nämlich reihenweise in gleichen Abständen auf mehreren Durchmesser der Scheibe angeordnet. Man dreht die Scheibe (Fig. 8) so, dass eine Lochreihe mit einer der Krafrichtungen zusammenfällt, hält die Scheibe fest und stöpselt die Kraft in ein beliebiges Loch der Reihe; nach dem Loslassen der Scheibe besteht jedesmal Gleichgewicht.

### 2. Gleichgewicht paralleler Kräfte.

Man stöpsle die parallelen Kräfte so ein, dass die Summe ihrer Momente in Bezug auf einen bestimmten Punkt der Scheibe, am bequemsten den Mittelpunkt, Null wird (entgegengesetzt drehende Momente natürlich mit entgegengesetzten Vorzeichen eingeführt). Durch diesen Punkt muss dann die Richtung der resultierenden Kraft gehen, deren Grösse gleich der Summe aller Parallelkräfte ist. Eine dieser Summe entsprechende Gewichtsgrosse, am Faden *S* (Fig. 9) angebracht, hebt die Resultierende auf, bewirkt also Gleichgewicht. Man zeigt, dass mit Bezug auf irgend einen Punkt der Scheibe das Moment der Resultierenden gleich der Summe der Momente der Componenten ist. Für die rasche Übersicht der Kraftmomente ist es zweckmässig, die Scheibe so einzustellen, dass eine ihrer diametralen Lochreihen (*ab* in Fig. 9), welche als Skala dienen kann, senkrecht zur Richtung der Parallelkräfte steht. Andernfalls kann man die betreffenden Abstände mit einem kleinen Handmaassstabe messen.

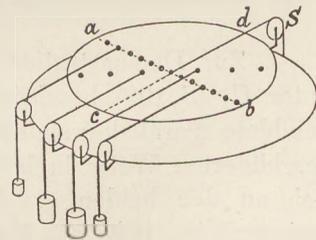


Fig. 9.

### 3. Mittelpunkt paralleler Kräfte.

Wählt man im vorigen Beispiel die Angriffspunkte der gegebenen Kräfte so, dass bei einer Drehung des Kräftesystems um  $90^\circ$ , wobei die Lage der Angriffspunkte selbstverständlich unverändert bleiben muss, die Momentensumme in

Bezug auf das Centrum der Scheibe wiederum Null wird, welcher Fall in Fig. 9 angenommen ist, so bildet das Scheibencentrum zugleich den sogenannten Mittelpunkt des Systems der Parallelkräfte. Die charakteristische Eigenschaft dieses Kraftmittelpunktes wird experimentell sehr anschaulich. Mag man bei festgehaltener Scheibe und unveränderten Angriffspunkten das Parallelkraftsystem um irgend einen Winkel (durch Verschieben der Leitrollen) drehen, immer wird die Resultierende durch jenen Mittelpunkt gehen, d. h. immer wird eine gleich grosse Winkeldrehung des Fadens  $S$  genügen, um an der freibeweglichen Scheibe das Gleichgewicht wieder herzustellen. Auch zeigt sich, dass bei Stöpselung des Fadens  $S$  im Centrum das Gleichgewicht ein indifferentes ist, während das Gleichgewicht labil oder stabil wird, falls die Stöpselung diesseits oder jenseits der Mitte auf dem Durchmesser  $cd$  stattfindet.

#### 4. Gleichgewicht von Kräftepaaren in der Ebene.

Paare von antiparallelen, gleich grossen Kräften mit verschiedenen Angriffspunkten — sogenannte Kräftepaare oder Drehwillinge — lassen sich an der beweglichen Scheibe in der Horizontalebene leicht anbringen. Man kann zeigen, dass die drehende Wirkung eines Kräftepaares nur von der Grösse der Kräfte und der Grösse ihres senkrechten Abstandes, nicht von ihrer Richtung und ihren Angriffspunkten abhängt, da zwei Kräftepaare sich an der Scheibe stets Gleichgewicht halten, wenn überhaupt das Produkt jener beiden Grössen — das sogenannte Drehmoment — übereinstimmt und ihr Drehsinn zugleich entgegengesetzt ist, mögen die Paare sonst wie immer in der Horizontalebene gelegen sein. Auch lässt sich zeigen, dass beliebig viele Kräftepaare sich im Gleichgewichte halten, wenn die Summe ihrer Momente Null ist (entgegengesetzt drehende Momente wieder mit entgegengesetzten Vorzeichen eingeführt). Die Ausführung der Versuche bedarf keiner speciellen Beschreibung. Zum Parallelrichten der Fäden benutzt man hier wie bei anderen Versuchen mit Vorteil ein sogenanntes Parallel-lineal (aus zwei Linealen in beweglicher Parallelogrammverbindung bestehend).

#### 5. Zusammensetzung von Kräftepaaren im Raume (*Satz vom Parallelogramm der Kräftepaare*).

Zur Demonstration der Gesetze räumlicher Kräftepaare dient der früher unter E, (S. 109) beschriebene, in Fig. 1 in Verbindung mit dem Apparate abgebildete Parallelogrammaufsatz. Mit Hülfe von Leitrollen, die in der früher geschilderten Weise in beliebiger Höhe am Apparate zu befestigen sind, lassen sich an den beiden geneigten, gleichgrossen Hartgummischeiben des Aufsatzes antiparallele, belastete Fäden anbringen (s. Fig. 1), welche auf die bewegliche Scheibe bestimmte Kräftepaare ausüben. Die Belastungen werden den Längen der zugehörigen Parallelogrammseiten proportional gewählt. Diese Seiten stellen daher bei dem in Fig. 1 angenommenen Drehsinne die sogenannten Axen der Kräftepaare dar. Die Diagonale ist die Axe des resultierenden Kräftepaares. Wählt man, wie in der Figur, ein Rechteck mit den Seiten 3 und 4 (Diagonale 5), so kann man in der That das System durch zwei antiparallele Kräfte von der Grösse 5 äquilibrieren, welche man im Sinne der Uhrzeigerdrehung am Rande der dritten (horizontalen) Hartgummischeibe wirken lässt. In der Figur ist anstatt dieser Kräfte ein anderes Paar mit gleichem Moment, am Rande der Gusseisenscheibe wirkend, abgebildet.

Man kann wegen der Verschieblichkeit der Hartgummischeiben auch zeigen, dass das Gleichgewicht nicht gestört wird, wenn die Ebenen der Seitenpaare parallel längs der Parallelogrammseiten beliebig verschoben werden.

#### 6. Die Gleichgewichtsbedingung für Kräftepaare im Raume

lässt sich mit Bezug auf die horizontal bewegliche Scheibe in zweifacher Weise ausdrücken: Die Projektionen der Kräftepaare auf die Bewegungsebene müssen die Momentensumme Null ergeben, oder: die Axe des resultierenden Paares muss in die Bewegungsebene fallen. Letztere Form der Gleichgewichtsbedingung lässt sich mit demselben Parallelogrammaufsätze, Fig. 1, veranschaulichen. Man lasse an der längeren Parallelogrammseite das Paar von der Grösse 3, an der kürzeren das Paar von der Grösse 4, letzteres zugleich mit entgegengesetztem Drehsinne, wirken, so besteht am Apparate ohne weiteres Gleichgewicht, da nun in der That die Axe des resultierenden Paares in die Plattenebene fällt.

#### 7. Gleichgewicht beliebiger Kräfte im Raume.

Der Apparat gestattet auch, die allgemeinste Bedingung zu demonstrieren, unter welcher ein in einer Ebene frei beweglicher Körper unter dem Einflusse beliebig gerichteter, in beliebigen Punkten angreifender räumlicher Kräfte im Gleichgewicht ist. Man stöpsle hierzu in der in Fig. 11 angedeuteten Weise in verschiedenen Punkten der Scheibe belastete Fäden fest, deren Richtungen gegen die Ebene der Scheibe geneigt sind. Trägt man dann die Grössen der Kräfte von ihren Angriffspunkten aus als Strecken auf die Fäden auf und projiziert diese Strecken vermittelst kleiner angehängter Lote in die Bewegungsebene, so zeigt sich, dass Gleichgewicht besteht, wenn die sämtlichen Kraftprojektionen, auf einen gemeinsamen Angriffspunkt bezogen, ein geschlossenes Kräftepolygon und ihre Momente in Bezug auf irgend einen Punkt der Ebene die Summe Null ergeben.

#### 8. Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten.

Dieses Prinzip kann bequem durch eine kleine Modifikation des Versuchs 2 veranschaulicht werden. Man bringe die parallelen Kräfte  $p$  und  $q$  und die der Resultierenden entgegengesetzte Kraft  $s$  in der aus Fig. 10 ersichtlichen Weise mittelst um den Rand der Gusseisenscheibe und einer central aufgesteckten kleineren Holzscheibe gewickelter Fäden am Apparate an. Das Kräfte-system wird nicht geändert, wenn man die bewegliche Scheibe parallel der Fadenrichtung beliebig verschiebt oder sie beliebig um den Mittelpunkt dreht, wobei sich die Fäden ab- oder aufwickeln. Man kann dann zeigen, dass die bei diesen nach der Natur des Systems „erlaubten“ Bewegungen auftretenden virtuellen Arbeiten die Gleichgewichtsbedingungen ergeben. Verschiebt man die Scheibe im Sinne von  $s$  um die Strecke  $a$ , so ist die algebraische Summe der Arbeiten  $sa - pa - qa = 0$  zu setzen, woraus  $s = p + q$  folgt. Verdreht man das System im Sinne von  $s$  um den Winkel  $\alpha$ , so muss, wenn  $R$  und  $r$  die Radien der beiden Scheiben bezeichnen:  $sr\alpha + pR\alpha - qR\alpha = 0$  sein, woraus mit Rücksicht auf die vorherige Gleichung folgt:  $p : q = (R - r) : (R + r)$ . Es sind also die Gleichgewichtsbedingungen aus dem Principe abgeleitet.

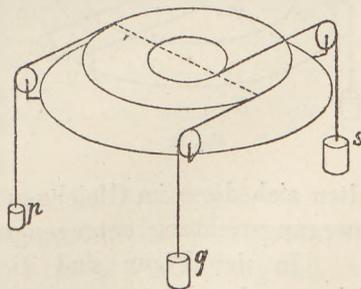


Fig. 10.

### B. Gleichgewichtserscheinungen bei Zwangsbewegungen.

#### 9. Gleichgewicht beliebiger Kräfte an einem um eine feste Axe drehbaren Körper (verallgemeinertes Hebelgesetz).

Um gleich den allgemeinsten Fall, dass die wirkenden Kräfte beliebige Lage im Raume haben, zu demonstrieren, verbinde man die bewegliche Scheibe (Fig. 11) zunächst mittelst Centrierungsstift und einer Randklammer starr mit ihrer

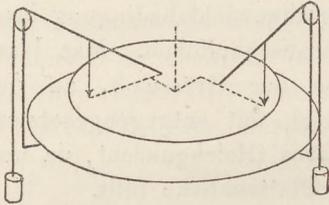


Fig. 11.

Unterlage und stöpsle zwei Kräfte unter beliebigen Neigungswinkeln an der Scheibe fest. Löst man dann die Randklammer, so dass die Scheibe um den Centrierungsstift drehbar wird, so findet Gleichgewicht statt, sobald die Projektionen der gegebenen Kräfte auf die Bewegungsebene entgegengesetzt gleiche Drehmomente um die feste Axe ergeben. Diese Projektionen bestimmt man wie im Versuch 7, indem man die Grössen der Kräfte als Strecken auf ihren Richtungen im Raume aufträgt und die Endpunkte dieser Strecken vermittelst kleiner, mit federnden Klemmen an den gespannten Fäden befestigter Pendelchen in die Bewegungsebene herablotet, wobei zugleich, ähnlich wie bei Versuch 1, die geometrische Darstellung auf einem Papierblatte zu Hülfe genommen werden kann.

#### 10. Gleichgewicht zweier Kräfte an einem nur in einer festen Richtung verschieblichen Körper (schiefe Ebene).

Befestigt man die beiden, unter C (S. 139) beschriebenen und in Fig. 6 abgebildeten Lenkerstangen am Apparate (Fig. 12), so dass das eine Ende jeder Stange um eine feste Axe drehbar ist, das andere in ein Loch der Scheibe eingreift, so erteilt jede Stange ihrem Angriffspunkte an der Scheibe eine Zwangsführung auf einem Kreisbogen, dessen Mittelpunkt in der festen Drehaxe der Stange liegt. Macht man die Richtungen der beiden

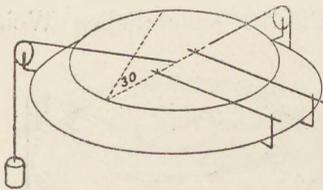


Fig. 12.

gleich langen Lenkerstangen einander parallel, so wird die Führung eine sogenannte Parallelführung; es sind dann in jedem Augenblicke die Bewegungsrichtungen sämtlicher Punkte der Scheibe einander parallel, nämlich senkrecht auf der augenblicklichen Richtung der Lenkerstangen. Stöpselt man nun zwei Kräfte in beliebigen Punkten der Scheibe fest, so halten sich diese im Gleichgewicht, wenn ihre Projektionen auf die augenblickliche Bewegungsrichtung entgegengesetzt gleich sind.

In der Figur sind die Angriffspunkte der Lenkerstangen in einen zur Richtung der letzteren senkrechten Durchmesser der Scheibe gelegt, so dass dieser Durchmesser zugleich die augenblickliche Bewegungsrichtung angiebt. Die eine Kraft ist in der Bewegungsrichtung, die andere unter einem Winkel von  $60^\circ$  gegen dieselbe angebracht; dieser Winkel lässt sich sehr bequem an der auf dem Randgeländer angebrachten Kreisteilung ablesen. Die letztere Kraft muss dann das Doppelte der ersteren betragen. Man hat hier die Analogie eines auf einer schiefen Ebene vom Winkel  $30^\circ$  gleitenden Körpers, der durch Zug längs der

Ebene äquilibriert werden soll. — Selbstverständlich können die wirkenden Kräfte auch unter beliebigen Winkeln gegen die Ebene der Kreisscheibe geneigt sein.

11. Zwei Punkten der Scheibe seien bestimmte, nicht parallele Bahnen vorgeschrieben (Momentancentrum der Bewegung).

Diese Zwangsbewegung erhält man, indem man die beiden Lenkerstangen derart am Apparat (Fig. 13) befestigt, dass sie einen beliebigen Winkel mit einander bilden. Nun besteht nach bekannten kinematischen Sätzen die einzig mögliche Bewegung der Scheibe in jedem Augenblicke in einer Drehung um einen bestimmten Punkt, das sogenannte Momentancentrum der Bewegung. Dieses Momentancentrum wird in jedem Augenblicke als Schnitt  $m$  zweier Senkrechten erhalten, die man in zwei beliebigen Punkten der Scheibe auf den augenblicklichen Bewegungsrichtungen  $a$  und  $b$  derselben errichtet. Nimmt man nun zu diesen zwei Punkten gerade die Angriffspunkte der Lenkerstangen, so erkennt man sofort, dass bei der vorliegenden Zwangsführung das Momentancentrum in jedem Augenblicke als Schnittpunkt der verlängerten Lenkerstangen erhalten wird.

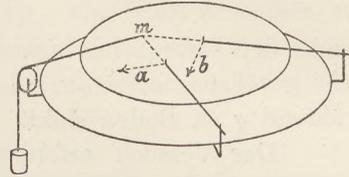


Fig. 13.

Das Momentancentrum hat die bemerkenswerte Eigenschaft, dass eine in ihm angebrachte beliebig grosse und beliebig gerichtete Kraft der Scheibe keine Bewegung zu erteilen vermag. Um dies an dem Apparate zu zeigen, hat man nur die Lenkerstangen so zu richten, dass ihr Schnittpunkt in ein Loch der Scheibe fällt. Vermittelst eines in dieses Loch gesteckten Stöpsels lässt sich die Scheibe in der That nicht bewegen, während jeder andere Punkt derselben dem Drucke der Hand nachgiebt.

Zwei in beliebigen Punkten der Scheibe angreifende Kräfte halten sich im Gleichgewicht, wenn ihre Drehmomente in Bezug auf das Momentancentrum entgegengesetzt gleich sind.

C. Bewegungserscheinungen.

Vorbemerkung. Da im Allgemeinen bei beliebigen Bewegungen der Guss-eisenscheibe die Hartbroncekugeln aus verschiedenen Ursachen ihre Lage im System ändern, so müssen sie nach jedem Versuche nötigenfalls neu angeordnet werden. Selbst bei blossen Drehungen um den Mittelpunkt haben sie in Folge der Centrifugalkraft eine Tendenz, nach aussen zu gleiten, und sind deshalb von Zeit zu Zeit zurecht zu rücken.

12. Progressivbewegung bei Angriff einer Kraft im Schwerpunkt.

Eine im Schwerpunkte (Mittelpunkte) der beweglichen Scheibe angestöpselte Kraft verursacht, wenn die Scheibe nach Lösung der starren Verbindung mit der Unterlage zunächst mit den Händen festgehalten und dann vorsichtig losgelassen wird, eine blosse Progressivbewegung ohne Drehung der Scheibe. Wird die Kraft excentrisch angestöpselt, so sieht man Verschiebung und Drehung zugleich.

13. Ein Kräftepaar veranlasst am frei beweglichen Körper nur Drehung um den Schwerpunkt.

Dieser Satz lässt sich zweckmässig an einem Falle veranschaulichen, welcher auf den ersten Blick fast paradox erscheint. Man befestige (Fig. 14) eine der

unter D (S. 139) beschriebenen Holzscheiben central auf der beweglichen Scheibe und wickele einen mit der Kraft  $q$  belasteten Faden mehrmals um ihren ausgekehlten Rand; die zweite gleich grosse Kraft  $p$  des Kräftepaars stöpsle man im Mittelpunkt der Scheibe an. Lässt man dann die mit den Händen festgehaltene Scheibe vorsichtig los, so dreht sich dieselbe mit wachsender Geschwindigkeit um ihren in Ruhe verbleibenden Mittelpunkt.

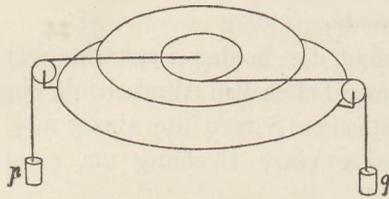


Fig. 14.

die Kraft  $p$  bewirkt also an ihrem Angriffspunkte keine Beschleunigung, obgleich derselbe frei beweglich ist; sie entspricht gewissermaassen dem Gegendrucke eines Zapfenlagers. Dass der Mittelpunkt der beweglichen Scheibe wirklich in Ruhe bleibt, lässt sich aus der Ferne sehr gut daran erkennen, dass das Gewicht  $p$  in gleicher Höhe schweben bleibt, während  $q$  zu Boden sinkt.

Der Versuch erfordert zu seinem Gelingen einen sehr vollkommen ausgeführten und gut eingestellten Apparat und eine ruhige Hand, da alle Fehler im Schliff und der Einstellung, sowie jeder zufällige Impuls, den man der Scheibe beim Loslassen erteilt, eine Progressivbewegung veranlassen.

#### 14. Gleichförmig beschleunigte Drehbewegung (Analogie der Fallmaschine).

Man stecke auf die bewegliche Scheibe (Fig. 15) eine kleine Holzscheibe mit doppelt ausgekehltem Rande auf, um welche man, nachdem man die bewegliche Scheibe mit Centrierungsstift und Randklammer starr mit der Unterlage verbunden hat, zwei antiparallele, gleich belastete Fäden wickelt. Löst man dann die Randklammer, so wird die Scheibe um den Centrierungsstift eine gleichförmig beschleunigte Drehbewegung ausführen. Mit Hilfe einer neben einem der sinkenden Gewichte aufgestellten vertikalen Skala lassen sich die folgenden Gesetze dieser Bewegung veranschaulichen:

a) Die von Anfang der Bewegung an durchlaufenen Drehungswinkel verhalten sich wie die Quadrate der Bewegungszeiten — oder, auf die sinkenden Gewichte übertragen: die Fallräume verhalten sich wie die Quadrate der Fallzeiten.

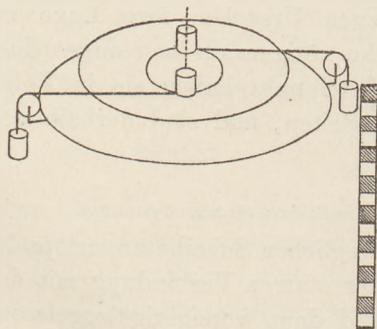


Fig. 15.

Um dies zu zeigen, halte man die Scheibe mit den Händen derart fest, dass die obere Kante des Gewichtes gerade neben dem Teilstrich 0 der Skala steht, und lasse in einem bestimmten Augenblick los; die Teilstriche 0, 1, 4, 9 u. s. w. der Skala zeichne man durch dickere Striche aus; die Zeiten markiere man durch die Schläge eines abgeglichenen Metronoms.

b) Ändert man das Drehmoment durch Anhängen anderer Gewichte, so ändern sich in demselben Verhältnis die in gleichen Zeiten durchlaufenen Fallräume. Wenn also im früheren Ver-

such das sinkende Gewicht bei den aufeinander folgenden Metronomschlägen successive die Teilstriche 0, 1, 4, 9 der Skala passierte, so passiert es bei einer Verdoppelung des Drehmomentes successive die Teilstriche 0, 2, 8, 18.

c) Die zum Durchlaufen derselben Fallräume erforderlichen Zeiten verhalten sich umgekehrt wie die Wurzeln der Drehmomente. Wenn also ursprünglich für

das Durchlaufen der Strecken zwischen den Teilstrichen 0, 1, 4, 9... immer je zwei Metronomschläge erforderlich waren, so ist bei einer Vervierfachung des Drehmomentes für das Durchlaufen derselben Strecken immer nur je ein Metronomschlag erforderlich.

Den geringen Reibungswiderstand der Hartbroncekugeln und des Centrierungsstiftes gleicht man dadurch aus, dass man den beschleunigenden Gewichten ein constantes kleiner Übergewicht zufügt, welches man vorher derart abgeglichen hat, dass es die mit der Hand in langsame Rotation versetzte Scheibe gerade in constanter Drehgeschwindigkeit erhält.

Um bei den Versuchen b) und c) die Massen der beschleunigenden Gewichte mit zu berücksichtigen, setzt man die Mehrgewichte, die man denselben bei Änderung des Drehmomentes hinzufügen will, auf den Rand der kleinen Holzscheibe auf, so dass sie an allen Bewegungen mit derselben Geschwindigkeit teilnehmen, wie die sinkenden Gewichte.

#### 15. Schwingende Drehbewegung (*Physisches Pendel*).

Befestigt man mit Hülfe der Eisenschienen (Fig. 4) zwei Leitrollen in grösserem Horizontalabstande am Apparate einander diametral gegenüber (Fig. 16), und führt über diese gleich belastete Fäden, die in zwei auf einem Durchmesser *ab* gelegenen, gleichweit vom Centrum entfernten Löchern der Scheibe angestöpselt sind, so stellt dieses System ein physisches Pendel nach Art einer schwingenden Magnetnadel dar, dessen Gleichgewichtslage dadurch bestimmt ist, dass der Durch-

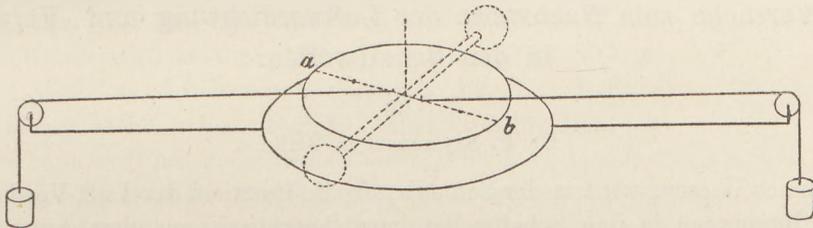


Fig. 16.

messer *ab* in die Verbindungslinie der beiden Leitrollen fällt. Wie im vorigen Falle verwende man den Centrierungsstift, um zufällige Progressivbewegungen der Scheibe zu verhindern. Die Schwingungen der Scheibe lassen sich mittelst aufgesteckter leichter Marken auch auf grössere Entfernungen sichtbar machen. Man kann nun zeigen, dass bei kleinen Amplituden die Schwingungsdauer der Scheibe constant ist, während die Amplituden allmählich abnehmen. Ferner zeigt man, dass die Schwingungsdauer bei einer Änderung des Drehmomentes (durch Anstöpseln der belasteten Fäden in anderer Entfernung vom Mittelpunkte) sich umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den Drehmomenten, und bei einer Änderung des Trägheitsmomentes des schwingenden Systems direkt wie die Quadratwurzeln aus den Trägheitsmomenten verhält.

Um letzteren Satz zu veranschaulichen, ist dem Apparate noch eine Eisenstange mit aufgeschobenen schweren Gewichten beigegeben, deren Trägheitsmoment in Bezug auf eine durch den Mittelpunkt gehende Axe, wie man aus den Dimensionen berechnen kann, gerade das Dreifache des Trägheitsmomentes der schwingenden Scheibe beträgt (von der Masse der Hartbroncekugeln abgesehen). Befestigt man diese Stange mittelst zweier daran befindlicher Stiftchen central auf der

schwingenden Scheibe, so wird bei ungeändertem Drehmomente die Schwingungsdauer derselben verdoppelt.

Es braucht kaum erwähnt zu werden, dass die Anwendbarkeit des Apparates durch die beschriebenen Experimente nicht erschöpft ist. So hat ihn z. B. Prof. Töppler gelegentlich zur Erläuterung der Tangentenbusssole benutzt, und zwar mit der unter No. 15 gegebenen Aufstellung. Es wird nämlich auf dem Durchmesser *ab* noch ein zweites Paar antiparalleler Kräfte eingestöpselt, deren Richtung senkrecht auf derjenigen der bereits vorhandenen steht. Die Scheibe kommt dann unter einem Ablenkungswinkel ins Gleichgewicht, dessen Tangente der Grösse des zweiten Kräftepaares proportional ist. Auch lässt sich mit geeigneten Zuthaten das Gegenwirkungsprincip demonstrieren.

Zu den Versuchen eignet sich am besten ein Auditorium mit ansteigenden Sitzreihen. Wo ein solches nicht zur Verfügung ist, kann man eventuell nach Einstellung des Apparates einen unter  $45^\circ$  geneigten Spiegel dahinter halten, um den Zuhörern die Oberansicht zu gewähren.

Einige der Gleichgewichtsversuche können auf wohlfeilere und einfachere Art auch mit einer auf Wasser schwimmenden Platte angestellt werden, selbstverständlich in weniger vollkommener Weise.

Der beschriebene Apparat wird nach Prof. Töppler's Angaben in dem mechanischen Institute von O. Leuner am Polytechnikum zu Dresden ausgeführt.

## Einige Versuche zum Nachweise der Luftverdichtung und -Verdünnung in den Schallwellen.

Von

Dr. P. Szymański in Berlin.

Meines Wissens wird in der Schulphysik die Existenz der Luft-Verdichtungen und -Verdünnungen in den Schallwellen nur theoretisch aus dem hypothetischen Bewegungszustande der Luftteilchen erschlossen; ein experimenteller Beweis dafür wird wohl selten geliefert. Diese Lücke lässt sich dadurch erklären, dass es an einfachen Apparaten mangelt, mit denen sich der Beweis für das Vorhandensein jener Luftzustände leicht, sicher und anschaulich liefern liesse. Für die fortschreitenden Schallwellen giebt es wohl keinen derartigen Apparat; die zur Untersuchung der Knotenpunkte und Bäuche in stehenden Wellen construierten, wie die Hopkins'sche Trommel (eine mit Sand bestreute Membran), Koenig's Flammen-Manometer, Maschke's Apparat<sup>1)</sup> (eine Anwendung von Schellbach's Collodium-Membran) zeigen nur an bestimmten Stellen eine grössere, an anderen eine geringere Bewegung der Luft, keineswegs aber beweisen sie direkt das Vorhandensein der Verdichtung und Verdünnung. Der erste ist wohl Kundt gewesen, der mit Hülfe von Ventilen, welche an den Knotenpunkten der Pfeifen angebracht waren, direkt den Druck der Luft untersuchte. Nach dieser Kundt'schen Idee habe ich einen sehr einfachen Apparat zusammengesetzt, mit dem man bei jeder Schallbewegung, sowohl bei fortschreitenden als auch bei stehenden Wellen, die Verdichtungen resp. Verdünnungen nachweisen und die Stärke derselben am Manometer vergleichen kann.

<sup>1)</sup> Wiedemann's Ann. XIII, 204; 1881.

### Beschreibung des Apparates.

Der wesentlichste Teil des Apparates ist ein Blasenventil, das auf Verdünnungen wie Verdichtungen der Luft reagiert und dieselben nach einem Flüssigkeits-Manometer überträgt. Ein sehr schwach konisch abgedrehter, an dem weiteren Ende mit einem kleinen Vorsprung und geripptem Kopf versehenes Messingstäbchen (Fig. 1) ist der Länge nach durchbohrt. Die Öffnung ist an dem schmalen Ende verschlossen durch einen Streifen aus Seidenpapier, welcher etwas breiter als der Durchmesser der Durchbohrung und mit seinen beiden Enden an die diametral gegenüber liegenden, etwas flach abgefeilten Stellen *a*, *b* des Kegels angeklebt ist. Dieser Konus ist nun luftdicht in ein Stück Messingrohr (*FG*) eingeschliffen (Fig. 2), welches ungefähr doppelt so lang ist als der Konus, so dass das Ventil nach der Einschiebung des Konus in der Mitte des Rohres sich befindet. Dieses Rohr ist in der Mitte mit einer am Rande gerippten Verstärkung *C* versehen, die einerseits als Halt für die daraufzuschiebenden Hülsen, andererseits zur bequemen Handhabung des Ventils dienen soll. Über dieses Messingrohr können von beiden Seiten zwei Messinghülsen luftdicht bis an die Verstärkung geschoben werden, von denen die eine (*D*), wie in der Figur 2 angedeutet, mit einem Trichter versehen ist. Die zweite Hülse (*E*) wird entweder direkt durch einen langen Schlauch mit einem U-förmig gebogenen Glasrohr verbunden, dessen Schenkellänge ungefähr 500 cm und innerer Durchmesser 2—3 mm beträgt, oder es wird in dieselbe ein Glasrohr (700—800 cm) eingekittet, welches durch einen Schlauch mit dem U-Rohr in Verbindung steht. (Vgl. Fig. 3.) Das U-Rohr dient als Manometer und wird mit gefärbtem Wasser, oder noch besser mit Alkohol, ungefähr bis zur Hälfte gefüllt. Die Bewegungen der Manometerflüssigkeit sind von weitem sichtbar, besonders wenn man hinter dem Manometer einen weissen Schirm anbringt.

Steht nun das Ventil in Verbindung mit dem Manometer und bringt man es in der in Figur 2 abgebildeten Lage (mit oder ohne Trichter) in eine kräftige Schallwelle, so wird, so oft von aussen eine Verdichtung an das Ventil ankommt, dasselbe nach innen geöffnet, und die verdichtete Luft wird die Flüssigkeitssäule in den mit dem Ventil verbundenen Schenkel des Manometers herunterdrücken. Tritt alsdann eine Verdünnung der Luft vor dem Ventil ein, so wird dieses durch den Überdruck der im Innern befindlichen Luft geschlossen gehalten, so dass die Manometersäule stehen bleibt. Das Ventil wird also bei mit einander abwechselnden Zuständen der Verdichtung und Verdünnung nur auf Verdichtungen reagieren und eine Druckzunahme anzeigen. Soll es auf Verdünnungen reagieren,

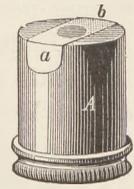


Fig. 1 ( $\frac{2}{3}$  nat. Gr.)

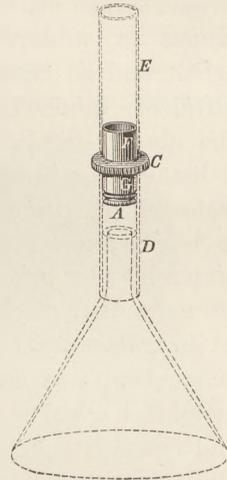


Fig. 2 ( $\frac{1}{2}$  nat. Gr.)

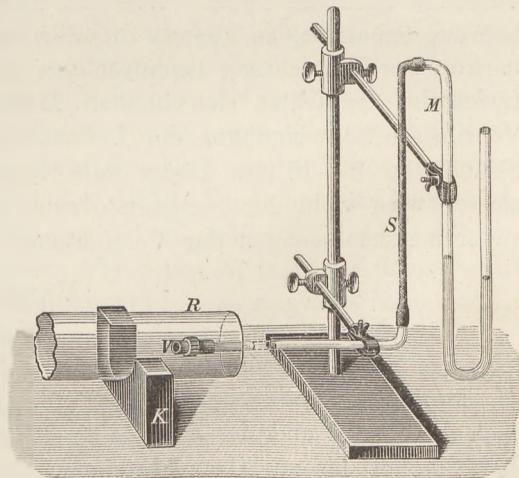


Fig. 3.

Das Ventil wird also bei mit einander abwechselnden Zuständen der Verdichtung und Verdünnung nur auf Verdichtungen reagieren und eine Druckzunahme anzeigen. Soll es auf Verdünnungen reagieren,

so kehrt man die Ventilhülse *C* um, so dass *G* in die Hülse *E* kommt; wir wollen diese Stellung des Ventils als Verdünnungsstellung, die vorige als Verdichtungsstellung bezeichnen.

Endlich will ich noch einige Bemerkungen, die Handhabung und Behandlung des Ventils betreffend, hinzufügen. Unter den verschiedenen Membranen, aus denen ich das Ventil hergestellt habe, hat sich das Seidenpapier, und zwar das weisse, glatte Cigarettenpapier, am besten bewährt. Um einen guten Streifen herzustellen, hält man das Papier gegen Licht, dann findet man Stellen, die keine sichtbaren Löcher besitzen; aus diesem wird ein schmaler Streifen herausgeschnitten, der ohne Spannung in der oben angegebenen Weise an den kleinen Konus geklebt wird. Damit sich das Ventil möglichst innig der Form der Öffnung des Konus anschmiegt, behaut man den bereits angeklebten Streifen und drückt ihn mit dem Daumen an den Konus an, wodurch der Streifen an der Stelle der Öffnung eine kleine Vertiefung erhält und so einen guten Verschluss liefert. Das Papier ist keineswegs absolut luftdicht, dieser Umstand bringt aber für den Versuch gewisse Vorteile mit sich. Bei absolut luftdichtem Ventil müsste man die durch den Druck gehobene Flüssigkeitssäule des Manometers in ihre ursprüngliche Gleichgewichtslage zurückbringen, während bei dieser Sorte von Membranen die Flüssigkeit nach wenigen Sekunden in beiden Schenkeln sich von selbst gleichstellt, so dass man den Versuch schnell hintereinander wiederholen resp. einen anderen Versuch anstellen kann. Auch habe ich gefunden, dass das Ventil besser funktioniert, wenn es etwas feucht ist, deshalb ist es ratsam, dasselbe während der Versuchsreihe hin und wieder ein wenig zu behauchen, was man mit Leichtigkeit, ohne den Konus herauszunehmen, bewirken kann. Ich erwähne noch, dass man sich ein brauchbares Ventil auch aus gutem Korke und einem Stückchen Glasrohr herstellen kann. Ein cylindrisches Korkstück wird glatt durchbohrt, über der Öffnung der Papierstreifen befestigt und das Ganze in ein kurzes Glasröhrchen luftdicht hineingeschoben. Die Hülsen *D* und *E* werden durch Gummischläuche ersetzt. Solches Ventil, wenn es sauber ausgeführt ist, funktioniert empfindlich genug, so dass man damit die meisten der beschriebenen Versuche anstellen kann. Was die Dimensionen des Ventils resp. der Durchbohrung anbetriift, so können dieselben variieren, ohne dass dadurch die Brauchbarkeit der Vorrichtung beeinträchtigt wird. Für die Versuche mit schwingenden Luftsäulen empfehlen sich kleinere Dimensionen, sonst werden durch zu grosse Ventile die Schwingungen der Luftsäule gehemmt und zum Teil modifiziert. Ein Konus von 8—10 mm Länge mit einer Durchbohrung von 1—2 mm Durchmesser wird wohl der geeignetste sein, und nach dessen Grösse richten sich die anderen Ausmessungen der Vorrichtung.<sup>2)</sup>

### Versuche.

1. Nimmt man das Ventil in die Mundhöhle und spricht einen Vokal, so zeigt das Manometer je nach der Stellung des Ventils Verdichtung oder Verdünnung an. Man kann auch in den Trichter hineinsprechen oder hineinsingen und erhält je nach der Stärke und der Art des hineingesprochenen Vokals Druckdifferenzen, die (bei Alkohol) bis zu 20 cm ansteigen. Auch von der Tonhöhe hängt die Druckdifferenz im Manometer ab, weil das Ventilverpapier in Eigenschwingungen gerät und offenbar dann am günstigsten funktioniert, wenn die Perioden der Schwingungen des Tones ein Vielfaches von derjenigen des Ventilpapiers sind.

<sup>2)</sup> Der Apparat wird von dem Mechaniker W. Langhoff in Berlin angefertigt.

2. Befestigt man das Ventil mit dem Trichter in vertikaler Stellung über einer horizontal eingespannten Chladni'schen Platte so nahe, dass die Platte schwingen kann, ohne den Trichter zu berühren, so erhält man bei richtigen Klangfiguren grosse Druckdifferenzen. Die Stellung des Trichters und die Form der Klangfigur müssen derartig sein, dass der Trichter nur über einem Teil der Platte sich befindet, der keine Knotenlinien besitzt. Die über zwei durch eine Knotenlinie getrennten Teilen gleichzeitig erzeugten Verdichtungen und Verdünnungen schwächen sich nämlich oder heben sich durch Interferenz ganz auf. Dies giebt wieder eine Ergänzung der Interferenzversuche. Besonders leicht gelingen diese Versuche mit der in Figur 4 abgebildeten Chladni'schen Figur, wo die punktierten Linien die Stellungen des Trichters andeuten. Am besten wird der Versuch so angestellt, dass man den Trichter unverändert lässt und die Platte allmählich um den Befestigungspunkt dreht, so dass man die allmähliche Abnahme der Verdichtung resp. Verdünnung beobachten kann. Selbstredend findet man je nach der Grösse der Platte und des Trichters noch andere Klangfiguren, die sich für diesen Versuch eignen.

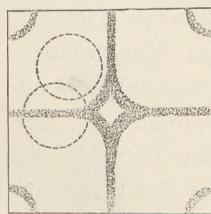


Fig. 4.

3. Um die Luftzustände bei der Erzeugung der Töne durch die Sirene von Cagniard la Tour zu untersuchen, verdeckt man die Öffnung des Trichters durch eine Pappscheibe, deren Durchmesser etwas grösser ist, als der Durchmesser des Trichters; dieselbe besitzt einen bogenförmigen Schlitz, der auf die Löcher der Sirene passt (Fig. 5), so dass durch denselben die über mehreren Löchern der Sirene entstehenden Verdichtungen resp. Verdünnungen in den Trichter gelangen können. Der Trichter wird über der Scheibe der Sirene so befestigt, dass der Schlitz möglichst nahe an der Scheibe sich befindet. Bei diesem Versuche ist zu bemerken, dass das Ventil für höhere Töne besser funktioniert als für tiefe.

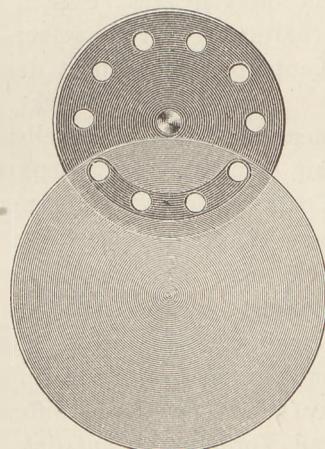


Fig. 5.

4. Besonders geeignet ist der Apparat zum Studium des Bewegungszustandes der Luft in stehenden Wellen. Ich verwende dazu eine gegen 62 cm lange Glasröhre, deren innerer Durchmesser 5—6 cm beträgt. Eine solche Röhre resonirt kräftig auf den Ton der Stimmgabeln  $c' = 256$  und  $c'' = 512$ . Die Röhre wird horizontal befestigt und in dieselbe das Ventil ohne Trichter mittelst des eingekitteten Glasrohres horizontal hineingeführt<sup>3)</sup>. Die Anordnung des Versuches ist in Fig. 3 dargestellt. Befindet sich das Ventil an der Stelle eines Knotenpunktes, so zeigt das Manometer, je nach der Stellung des Ventils, Verdichtungen resp. Verdünnungen, deren Stärke bis auf Null allmählich herabsinkt, wenn man das Ventil dem Bauche nähert. Dieser Versuch gelingt sowohl bei der Stimmgabel  $c'$  als auch  $c''$ . Auch bei einseitig geschlossener Röhre kann man die Verdichtungen an den Knotenpunkten zeigen. Zu diesem letzteren Versuch eignen sich direkt die Resonanzkasten der Stimmgabeln. Hierbei bemerke ich, dass es empfehlenswert sein dürfte, den

<sup>3)</sup> Die Anschaffung einer solchen Röhre ist empfehlenswert, da sie noch für andere Versuche z. B. den Maschke'schen brauchbar ist. Vergl. auch Weinhold, *Physik. Demonstr.* (2) Seite 223.

Schwingungszustand an den Bäuchen und Knotenpunkten mittelst des genannten Maschke'schen Apparates zu demonstrieren. Die Hopkins'sche Trommel ist für diesen Versuch wenig empfindlich, dagegen eignen sich hierfür nach Weinhold auch Seifenmembranen. Bei den Versuchen mit der Röhre sind die Druckdifferenzen ziemlich klein, man kann sie aber dadurch recht gut sichtbar machen, dass man das Manometer, dessen Schenkel sonst vertikal stehen, um eine durch beide Schenkel gehende horizontale Grade dreht, so dass sie eine schräge Richtung annehmen. In der schrägen Stellung entspricht dann einer kleinen Druckdifferenz eine Verschiebung des Niveaus der Flüssigkeit um eine weit längere Strecke. Damit bei der schrägen Stellung des Manometers das Niveau der Flüssigkeit sich nicht zu sehr ausbreitet, darf man den inneren Durchmesser des Manometerrohres nicht zu gross wählen. — Diese Versuche über die Verdichtungen und Verdünnungen in stehenden Wellen kann man natürlich auch mit jeder Pfeife anstellen. Sehr geeignet ist dazu die *c'*-Pfeife mit 256 Schwingungen. Die Druckdifferenzen sind bei dieser Pfeife so gross, dass man bei der gewöhnlichen Stellung des Manometers ein Steigen resp. Sinken der Manometerflüssigkeit um 2 dm beobachtet. Auch erhält man mit derselben leicht einige Obertöne, bei denen man die Lage der Knotenpunkte mittelst des Ventils ermitteln kann.

5. Es sei bemerkt, dass man mit zwei Ventilen noch einen anderen fundamentalen Versuch anstellen kann. Das eine Ventil wird mit dem einen, das andere mit dem anderen Schenkel des Manometers verbunden. Befindet sich das eine Ventil in der Verdichtungs-, das andere in der Verdünnungsstellung und bringt man sie in zwei aufeinander folgende Knotenpunkte der tönenden Luftsäule, so sieht man eine Verstärkung der Druckdifferenz; sind beide Ventile in derselben Stellung, so beobachtet man eine Schwächung der Wirkung. Aus diesem Versuche erschliesst man sofort, dass die Zustände an zwei aufeinander folgenden Knotenpunkten in demselben Augenblicke entgegengesetzt sein müssen. Ein vollständiges Aufheben der Druckdifferenz durch die gleichzeitige Wirkung der Verdichtung und Verdünnung auf das Manometer ist selten zu erreichen, da es recht schwer ist, zwei ganz genau gleich empfindliche Ventile herzustellen. Auch die anderen Versuche können mit zwei Ventilen angestellt werden, die dann in umgekehrten Stellungen mit zwei Manometern verbunden werden, so dass man an dem einen Manometer eine Verdichtung, an dem anderen gleichzeitig eine Verdünnung beobachten kann.

Diese Versuche mögen ausreichen, um die Brauchbarkeit des Apparates im elementaren Unterrichte in der Akustik zu zeigen. Hat der Schüler auf solche Weise ein klares Bild von dem Verlauf der Schwingungen der Luft in der Schallwelle gewonnen, so wird man an dieses Resultat die mathematische Betrachtung mit Erfolg anknüpfen können.

### Ein Demonstrations-Elektroskop.

Von

Bruno Kolbe in St. Petersburg.

In vielen Fällen ist es wünschenswert, ein weithin sichtbares Elektroskop zu benutzen, auch wenn es etwas weniger empfindlich sein sollte, als die gebräuchlichen Goldblatt-Elektroskope. Gespaltene Strohhalm, Papierstreifen etc.

erwiesen sich als zu schwer beweglich. Nach vielen Versuchen kam ich mit Seidenpapieren zum Ziel, als ich mich entschloss, die Papierstreifen nicht wie bei den gebräuchlichen Elektroskopen am Ende, sondern an der Seite des Stabes in besonderen Bügeln aus feinem, glattem Kupferdraht aufzuhängen. Fig. 1 zeigt mein Papierelektroskop,  $\alpha$ ,  $\alpha$  die Lage der Papierstreifen im ungeladenen,  $\beta$ ,  $\beta$  im geladenen Zustande. Die Bügel, deren Gestalt aus Fig. 2, *b* ersichtlich ist, können an ein kurzes Messingröhrchen, das durch einige Längsschlitzte federnd gemacht ist, angelötet und über den Messingstab geschoben werden. Einfacher ist es, beide Bügel aus einem Stück des feinen, womöglich versilberten Drahtes herzustellen und durch Umwickeln mit dem längeren Drahtende am Stabe zu befestigen. Die Streifen (Fig. 2, *a*) aus hell- aber intensiv rotem Seidenpapier<sup>1)</sup> haben am unteren Ende eine halbkreisförmige Verbreiterung, welche rechtwinklig nach aussen geknickt wird und die gute Sichtbarkeit bedingt. Der Ausschlag, den die Papierblättchen in der angegebenen Art der Aufhängung geben, ist fast doppelt so gross, als wenn man dieselben Blättchen in der gewöhnlichen Weise am Ende des Stabes (auch in Bügeln) aufhängt. Die Blättchen sind an der Stelle, wo sie am Bügel anliegen, mit einem Ausschnitt versehen, um die Reibung zu vermindern. Das durch den Bügel gesteckte Ende des Papierstreifens wird nach aussen umgebogen (nicht geknickt) und vermittelst einer Spur von Gummi arabicum befestigt. Die Papieröse darf den Draht nur an einer Stelle berühren, muss also etwas weiter sein (1 bis 1½ mm im Durchmesser genügt). Die Breite der Streifen beträgt 3,5 mm und die Länge von dem Bügel an 35 mm, sodass sie im geladenen Zustande noch 5—10 mm von der Gefässwand abstehen; bei grösserer Länge macht sich die Influenzwirkung der Glaswand zu stark geltend. Der Durchmesser der Kugel beträgt 20 mm. Wo es nicht auf Empfindlichkeit des Apparates ankommt, können die Dimensionen verdoppelt werden. Schneidet man dagegen die beschriebenen Papierstreifen etwa 2 mm unterhalb der Öse ab und klebt daran Aluminiumstreifen, so erhält man ein Elektroskop von ausserordentlicher Empfindlichkeit. An einem solchen Elektroskop gab der Elektrophordeckel, einmal sanft mit dem Fuchsschwanz gestrichen, einen beträchtlichen Ausschlag.

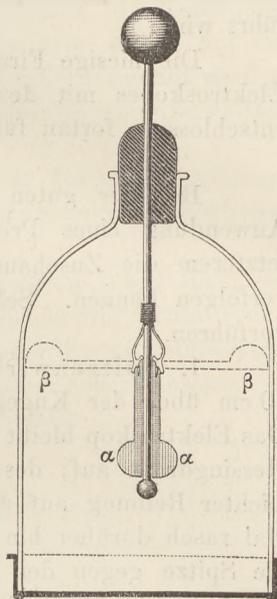


Fig. 1 ( $\frac{1}{3}$  nat. Gr.)

Um die besonders bei Goldblatt- und Aluminium-Elektroskopen auftretende Influenzwirkung der Glaswand zu beseitigen, wählte ich mit Erfolg ein gut leitendes Glas, dessen abgesprengter Boden durch eine passende Messingplatte mit 25 mm hohem Rande geschlossen ist. Zeigt sich noch eine Influenzwirkung,

1) Die Farbe ist nur insofern von Bedeutung, als farbige Papiere (wenigstens aus meinem Sortiment) die Elektrizität besser leiten als weisse. Hellrote Streifen sind vor hellem wie vor dunklem Grunde gut sichtbar. Versuche mit bronziertem Seidenpapier gaben, wider Erwarten, ein schlechteres Resultat; die Beweglichkeit und die Sichtbarkeit waren geringer, erstere wohl wegen der grösseren Reibung des Bronze-Staubes, denn die Zunahme an Gewicht war zu unbedeutend.

1) Die Farbe ist nur insofern von Bedeutung, als farbige Papiere (wenigstens aus meinem Sortiment) die Elektrizität besser leiten als weisse. Hellrote Streifen sind vor hellem wie vor dunklem Grunde gut sichtbar. Versuche mit bronziertem Seidenpapier gaben, wider Erwarten, ein schlechteres Resultat; die Beweglichkeit und die Sichtbarkeit waren geringer, erstere wohl wegen der grösseren Reibung des Bronze-Staubes, denn die Zunahme an Gewicht war zu unbedeutend.

so genügt die gleichzeitige Berührung des Knopfes und des Messingrandes der Bodenplatte, um das Elektroskop zu entladen.<sup>2)</sup> Vom Glase ist der leitende Stab durch einen zugleich als Befestigung dienenden Hartgummipfropf isoliert. Statt dieses Verschlusses kann auch ein gewöhnlicher Kork genommen werden, durch welchen der Metallstab, von einer starken Ebonitröhre umgeben, hindurchgeführt wird.

Die hiesige Firma O. Richter hat, nach Prüfung und Vergleichung dieses Elektroskopes mit den eigenen Goldblatt- und Aluminium-Elektroskopen, sich entschlossen, fortan für Schulzwecke solche Papierelektroskope zu liefern.<sup>3)</sup>

Bei der guten Sichtbarkeit des Papier-Elektroskopes erspart man die Anwendung eines Projektionsapparates, was insofern ein Vorzug ist, als bei letzterem die Zuschauer nicht so gut die Manipulationen des Experimentators verfolgen können. Sehr anschaulich lassen sich u. a. folgende Erscheinungen vorführen.

1. Spitzenwirkung. Bewegt man den elektrisierten Glasstab etwa 5 bis 10 cm über der Kugel hin und her, so schwingen die Blättchen auf und ab. Das Elektroskop bleibt ungeladen. — Setzt man eine Spitze aus ca. 0,8 mm starkem Messingdraht auf, dessen anderes Ende so gewunden ist, dass der Draht mit leichter Reibung auf der Kugel festsitzt, und fährt man mit dem Glasstabe ein Mal rasch darüber hin, so ist das Elektroskop sofort geladen. Oder man richtet die Spitze gegen den Knopf eines zweiten daneben aufgestellten Elektroskopes und ladet das erste Elektroskop direkt, dann wird zugleich das zweite geladen.

2. Positive und negative Elektrizität neutralisieren sich. Hierzu benutzt man zwei Elektroskope (deren Kugeln gleich gross sein müssen). Das eine kann sehr einfach, aus einer passenden Flasche hergestellt sein; doch ist es zweckmässig, bei beiden Apparaten die Papierstreifen von verschiedener Farbe, etwa rot und grün zu wählen. Das eine Elektroskop wird mit  $+E$ , das andere mit  $-E$  geladen. Berührt man darauf mit der Kugel des einen Elektroskopes die Kugel des anderen, so fallen bei beiden die Blättchen zusammen. Bei gleichnamigen Elektrizitäten tritt keine Wirkung ein, d. h. die Elektroskope bleiben geladen.

3. Influenzwirkung. Zwei Elektroskope werden (in ca. 20 cm Abstand) aufgestellt; während man dem einen Elektroskope die geriebene Glasstange nähert, verbindet man beide Knöpfe durch einen Draht mit gut isolierender Handhabe, dessen Enden abgerundet sind. Dadurch werden beide Elektroskope geladen und zwar, wie Versuch 2 zeigt, ungleichnamig elektrisch. (Bei diesem Experimente ist es zweckmässig, den Verbindungsdraht zuerst von demjenigen Knopfe zu entfernen, der vom influenzierenden Körper weiter absteht).

<sup>2)</sup> Nur bei sehr trockener Luft (z. B.  $t = 18^\circ \text{C}$ .,  $F = 28\%$ ) traten kleine Unregelmässigkeiten ein, die sofort verschwanden, als ich in das Elektroskop etwas hineinhauchte und das Glas aussen mit einem feuchten Lappchen abrieb.

<sup>3)</sup> Auch die Universitätsmechaniker Paul Schultze in Dorpat und Franz Hájek in Prag haben die Anfertigung des Demonstrations-Elektroskopes übernommen.



Die gesuchte Gleichung erscheint bei ihm als Integral einer gewissen partiellen Differentialgleichung. Es ist aber interessant zu bemerken, dass die Annahmen Poisson's mit einander in Widerspruch stehen; er hätte nur dieselbe Rechnung auf ein einfaches, von ihm schon berührtes Beispiel anzuwenden brauchen, um diesen Widerspruch zu entdecken. Es würde sich ergeben haben, dass die Wärmemenge, welche einem Gase zugeführt werden muss, um es aus dem Zustande  $p_0 v_0$  in einen andern  $p_1 v_1$  zu bringen, nicht allein von den Variablen  $p, v$  abhängig ist. Man kann nämlich die angegebene Zustandsänderung auf zwei Arten hervorbringen.

1. Man lässt den Druck constant und bringt das Volumen durch Erwärmung auf  $v_1$ ; die dazu nötige Wärme ist

$$Q_1 = c_p (t' - t_0),$$

wenn  $t'$  die entstandene Temperatur bezeichnet.

Es ist aber  $p_0 v_0 = R(a + t_0)$  und  $p_0 v_1 = R(a + t')$ , also

$$t' - t_0 = \frac{p_0 (v_1 - v_0)}{R}$$

und

$$Q_1 = \frac{c_p p_0}{R} (v_1 - v_0);$$

hält man jetzt das Volumen fest und erhöht durch Erwärmung den Druck von  $p_0$  auf  $p_1$ , so ist die dazu nötige Wärme

$$Q_2 = c_v (t_1 - t')$$

oder, da  $p_0 v_1 = R(a + t')$  und  $p_1 v_1 = R(a + t_1)$  ist,

$$Q_2 = \frac{c_v v_1}{R} (p_1 - p_0),$$

also die ganze bei dem Vorgang verbrauchte Wärmemenge

$$Q_1 + Q_2 = \frac{c_p p_0 (v_1 - v_0) + c_v v_1 (p_1 - p_0)}{R}.$$

2. Man kann auch in umgekehrter Reihenfolge erst das Volumen festhalten und den Druck auf  $p_1$  bringen und dann den Druck festhalten und das Volumen auf  $v_1$  erhöhen, die dazu nötigen Wärmemengen ergeben sich ähnlich wie vorhin

$$Q'_1 + Q'_2 = \frac{c_v v_1 (p_1 - p_0) + c_p p_1 (v_1 - v_0)}{R}.$$

Die Differenz der beiden Wärmemengen

$$(Q'_1 + Q'_2) - (Q_1 + Q_2) = \frac{c_p - c_v}{R} (v_1 - v_0) (p_1 - p_0)$$

ist aber nicht Null, folglich ist auch die ganze Wärme des Gases in dem Zustande  $p_1 v_1$  nach dem ersten Vorgange verschieden von der Wärme in demselben Zustande nach dem zweiten Vorgange. Dieses Beispiel allein würde also das Unzulängliche in der älteren Vorstellung von der Wärme haben zeigen können.

Nachdem durch die Entdeckung des mechanischen Wärmeäquivalents jene ältere Vorstellung als irrig erwiesen war, wurde die adiabatische Gleichung gewöhnlich aus der ersten Hauptgleichung der mechanischen Wärmetheorie abgeleitet; es wird sich aber zeigen, dass die Formel I und der constante Wert des Verhältnisses von  $c_p$  und  $c_v$  die einzigen für dieselbe notwendigen Erfahrungsthatssachen sind. Unter diesen beiden Voraussetzungen soll im folgenden die Gleichung von Poisson elementar abgeleitet werden.

Das Gas befinde sich in einem beliebigen Zustande  $p_0, v_0, t_0$ , so dass ist

$$p_0 v_0 = R(a + t_0).$$

Wird jetzt dem Gase unter constantem Druck eine Wärmemenge  $Q$  zugeführt, so wird die Temperatur und das Volumen sich verändern; bezeichnen  $t'$  und  $v_1$  die neuen Werte, so muss die Gleichung stattfinden

$$p_0 v_1 = R(a + t'),$$

und die zugeführte Wärmemenge ist

$$Q = c_p(t' - t_0), \text{ oder da}$$

$$p_1 v_1 - p_0 v_0 = R(t' - t_0), \text{ also}$$

$$t' - t_0 = \frac{p_0(v_1 - v_0)}{R},$$

$$Q = \frac{c_p p_0}{R} (v_1 - v_0).$$

Wird jetzt dem Gase dieselbe Wärmemenge entzogen, während das Volumen constant bleibt, so ändern sich Druck und Temperatur, und zwar nehmen beide ab; bezeichnen  $p_1$  und  $t_1$  die entsprechenden Werte, so ist dann

$$p_1 v_1 = R(a + t_1) \text{ und}$$

$$Q = c_v(t' - t_1), \text{ oder da}$$

$$p_0 v_1 - p_1 v_1 = R(t' - t_1), \text{ also}$$

$$t' - t_1 = \frac{v_1}{R} (p_0 - p_1) \text{ ist,}$$

$$Q = \frac{c_v v_1}{R} (p_0 - p_1).$$

Man hat also die Gleichung

$$\frac{c_p p_0}{R} (v_1 - v_0) = \frac{c_v v_1}{R} (p_0 - p_1) \text{ oder}$$

$$\frac{p_1 - p_0}{p_0} = -k \frac{v_1 - v_0}{v_1},$$

woraus sich eine der Grössen  $p_1 v_1$  bestimmt, wenn die andere gegeben ist. Man gelangt hierdurch von einem Zustande aus zu einem beliebig gegebenen in der Weise, dass die Summe der zugeführten Wärme Null ist. Eine solche Zustandsänderung entspricht aber noch nicht der gesuchten, bei welcher das Gas sich in einer für Wärme undurchlässigen Hülle befindet, denn bei dieser sollen nicht nur die in endlichen Zeiten zugeführten und entzogenen Wärmemengen sich aufheben, sondern es soll überhaupt keine Wärmezufuhr stattfinden. Man kann sich aber diese Zustandsänderung in der Weise zustande gekommen denken, dass in einem Moment eine unendlich kleine Wärmemenge hinzugeführt und dieselbe sofort wieder entzogen wird, es tritt dann eine unendlich kleine Veränderung des Drucks und des Volumens ein; wird dann von neuem eine unendlich kleine Wärmemenge zugeführt und sofort wieder entzogen, so findet eine neue unendlich kleine Veränderung des Drucks und des Volumens statt; denkt man sich diese Operation unendlich oft wiederholt, so kann man zu einem beliebigen neuen Zustand in der Weise gelangen, dass die in jeder noch so kleinen endlichen Zeit hinzugeführte oder entzogene Wärme Null ist. Es erübrigt jetzt, diesen Gedanken mathematisch auszuführen.

Der Anfangszustand sei  $p_0 v_0$ ; nachdem zum ersten Mal eine unendlich kleine Wärmemenge hinzugeführt und sofort wieder entzogen ist, sei der Druck  $p_1$ , das Volumen  $v_1$ , es muss dann nach der oben ausgeführten Rechnung sein

$$\frac{p_1 - p_0}{p_0} = -k \frac{v_1 - v_0}{v_1}.$$

Nachdem sodann eine ähnliche Operation ausgeführt und der Druck  $p_2$ , das Volumen  $v_2$  entstanden ist, hat man

$$\frac{p_2 - p_1}{p_1} = -k \frac{v_2 - v_1}{v_2}$$

und so weiter

.....

bis

$$\frac{p_n - p_{n-1}}{p_{n-1}} = -k \frac{v_n - v_{n-1}}{v_n}.$$

Man kann nun die Wärmezuführen so eingerichtet denken, dass das Verhältnis der Druckzunahme zum jedesmaligen Druck stets dasselbe ist, d. h. dass

$$\frac{p_1 - p_0}{p_0} = \frac{p_2 - p_1}{p_1} = \dots = \frac{p_n - p_{n-1}}{p_{n-1}} = \frac{q}{n},$$

wo  $q/n$  eine Grösse ist, die wenn  $n$  wächst, immer kleiner und schliesslich für ein unendlich grosses  $n$  unendlich klein wird. Man hat dann

$$p_1 = p_0 \left(1 + \frac{q}{n}\right),$$

.....

$$p_n = p_{n-1} \left(1 + \frac{q}{n}\right)$$

und hieraus, indem man in der letzten Gleichung  $p_{n-1}$  durch  $p_{n-2}$ , letzteres durch  $p_{n-3}$  und so fort bis  $p_0$  ausdrückt,

$$p_n = p_0 \left(1 + \frac{q}{n}\right)^n.$$

Nimmt man jetzt  $n$  unendlich gross, so werden die Druckzunahmen und die entsprechenden Wärmezuführen unendlich klein, man hat dann die gesuchte Zustandsänderung und erhält mit Benutzung der Formel

$$\lim_{n=\infty} \left(1 + \frac{x}{n}\right)^n = e^x$$

$$p_n = p_0 e^q.$$

Weiter müssen aber auch  $-k \frac{v_1 - v_0}{v_1}$ ,  $-k \frac{v_2 - v_1}{v_2}$  u. s. w.  $= \frac{q}{n}$  sein, also

$$v_1 \left(1 + \frac{q}{k \cdot n}\right) = v_0,$$

.....

$$v_n \left(1 + \frac{q}{k \cdot n}\right) = v_{n-1}.$$

Man erhält also nacheinander

$$v_n = \frac{v_{n-1}}{1 + \frac{q}{k \cdot n}} = \frac{v_{n-2}}{\left(1 + \frac{q}{k \cdot n}\right)^2} = \frac{v_0}{\left(1 + \frac{q}{k \cdot n}\right)^n}$$

und, wenn man in dem letzten Ausdruck  $n$  unendlich gross nimmt,

$$v_n = \frac{v_0}{e^{\frac{q}{k}}} = v_0 e^{-\frac{q}{k}}.$$

Aus den beiden Formeln

$$p_n = p_0 e^q$$

$$v_n = v_0 e^{-\frac{q}{k}}$$

folgt, wenn man die letzte zur  $k$ ten Potenz erhebt und die linken und rechten Glieder mit einander multipliziert

$$\text{II. . . . . } p_n v_n^k = p_0 v_0^k.$$

Dies ist die gesuchte Beziehung zwischen Druck und Volumen der Gase, wenn kein Wärmeausgleich stattfindet. Man nennt diese Gleichung die adiabatische Gleichung.

Die Gleichung II lehrt die Druckveränderung bestimmen, welche einer gegebenen Volumenveränderung entspricht, oder umgekehrt; es entsteht nun die Frage, welches ist die Temperaturveränderung, wenn die Volumen- oder Druckveränderung gegeben ist. Die Beantwortung erfolgt durch Verbindung der Formeln I und II.

Bezeichnet  $t_0$  die zum Anfangszustand  $p_0 v_0$ ,  $t_n$  die zum Zustand  $p_n v_n$  gehörige Temperatur, so ist nach Formel I

$$p_0 v_0 = R(a + t_0)$$

$$p_n v_n = R(a + t_n), \text{ also}$$

$$\frac{a + t_n}{a + t_0} = \frac{p_n v_n}{p_0 v_0};$$

nach Formel II ist aber

$$\frac{p_n}{p_0} = \left(\frac{v_0}{v_n}\right)^k, \text{ also}$$

$$\frac{a + t_n}{a + t_0} = \left(\frac{v_n}{v_0}\right)^{1-k}.$$

Diese Gleichung bestimmt die Temperatur, wenn das Volumen gegeben ist; ist der Druck gegeben, so hat man aus Formel II

$$\frac{v_n}{v_0} = \left(\frac{p_0}{p_n}\right)^{\frac{1}{k}}$$

und gewinnt durch Einsetzen dieses Wertes die Gleichung

$$\frac{a + t_n}{a + t_0} = \left(\frac{p_n}{p_0}\right)^{\frac{k-1}{k}}.$$

Diese Formeln finden Anwendung bei zwei Versuchen, welche in der Schule gemacht zu werden pflegen.

1) In einer dickwandigen Glasröhre, wie sie bei dem sogenannten pneumatischen Feuerzeug gebräuchlich ist, werde eine 15 cm lange Luftsäule auf 1 cm Länge zusammengesprengt, welches ist die entstehende Temperatur? ( $t_n = ca. 586^\circ$ .)

2) Im kurzen Schenkel einer communicierenden Röhre, wie sie zur Demonstration des Mariotteschen Gesetzes angewendet wird, sei eine Luftmasse unter dem Atmosphärendruck abgeschlossen, durch Aufgiessen von Quecksilber wird der

Druck verdreifacht, welches ist das Volumen und die Temperatur der Luft unter der Annahme, dass kein Wärmeausgleich stattfindet? ( $v_n = v_0$ ,  $0,436$ ;  $t_n = ca. 125^\circ$ .)

Da die Wärmecapazität der Luft sehr gering und die Luftmenge verhältnismässig klein ist, so wird die Temperaturerhöhung bei diesem Versuch sehr bald ausgeglichen, beim langsamen Zugiessen von Quecksilber schon während des Versuchs, und  $v^n$  wird gleich  $\frac{1}{3} v_0$ .

### Physikalische Aufgaben.

1. Der Rauminhalt des Lehrzimmers wird gemessen bez. geschätzt, Thermometer und Barometer werden abgelesen. Wieviel wiegt die im Zimmer enthaltene atmosphärische Luft? Wenn sich das Zimmer in der folgenden Nacht bis auf  $-10^\circ$  abkühlt, ohne dass sich der Barometerstand verändert, wieviel Luft wird dann in das Zimmer eingetreten sein? Wie muss sich der Barometerstand ändern, wenn trotz jenes Temperaturrückganges keine Selbstlüftung stattfindet?

G. Helm, Dresden.

2. Der äussere Durchmesser eines Probierringläschens von 150 mm Höhe beträgt 14,2 mm, die Wandstärke 0,4 mm. Wie tief taucht das Gläschen in Wasser ein, wenn gerade das halbkugelige Ende mit Quecksilber gefüllt ist? Spec. Gew. des Quecksilbers 13,6, des Glases 2,4. — *Auflösung*: Fast  $\frac{2}{3}$  der Höhe.

Meutzner, Meissen.

3. Zwei Cylinder, von denen der eine auf Wasser schwimmt, der andere darin untergeht, sind so zu bestimmen, dass sie fest zusammengefügt einen cylindrischen Gesamtkörper ergeben, welcher zwar schwerer als Wasser ist, sich aber, auf den wagerechten Boden eines Gefässes gelegt, von selbst aufrichtet, wenn man dieses mit Wasser füllt (Steh-auf).

*Auflösung*: Es seien  $a$  und  $b$  die Höhen der beiden Teile, ihre spezifischen Gewichte  $\alpha$  und  $\beta$ , und zwar  $\alpha > 1 > \beta$ . Das scheinbare spezifische Gewicht der in Wasser tauchenden Bestandteile ist  $\alpha - 1$  und  $\beta - 1$ , letzteres negativ. Damit der Körper in Wasser getaucht sinke, muss  $a(\alpha - 1) + b(\beta - 1) > 0$ , also  $b/a < (\alpha - 1)/(1 - \beta)$  sein und endlich

$$\frac{a+b}{a} < \frac{\alpha - \beta}{1 - \beta}$$

Wenn der Körper sich im Wasser aus wagerechter Lage aufrichtet, so dreht er sich um den tiefsten Punkt derjenigen Endfläche, an welcher das schwerere Material sich befindet. Um für diesen Punkt die Drehungsmomente der relativen Gewichte beider Teile zu erhalten, denken wir uns als Angriffspunkte dieser Kräfte die Projektionen der beiden Schwerpunkte auf die horizontale Berührungslinie. Das resultierende Drehungsmoment ist  $a/2 \cdot a(\alpha - 1) + (a + b/2) \cdot b(\beta - 1)$ . Dieses muss negativ sein, also  $a^2(\alpha - \beta) + (a + b)^2(\beta - 1) < 0$ , woraus:

$$\frac{a+b}{a} > \sqrt{\frac{\alpha - \beta}{1 - \beta}}$$

Bezeichnet man den Radikandus mit  $\gamma$ , so lassen sich beide Bedingungen zusammenfassen in

$$\sqrt{\gamma} < \frac{a+b}{a} < \gamma.$$

Für  $\alpha = 2^{3/4}$ ,  $\beta = 3/4$  ergibt sich, dass  $b/a$  von 1,8 bis 7 sich ändern darf.

4. Wird ein dünner cylindrischer Stab mit abgerundeten Enden, der auf der einen Seite aus Glas besteht (spec. G. =  $2^{3/4}$ , Länge = 2 cm), auf der andern aus Buchenholz (spec. G. =  $3/4$ , Länge = 12 cm), in einen tiefen Wasserbehälter gebracht, so sinkt er

bis zum Boden und stellt sich dort vertikal. Wie wird sich der Stab neigen, wenn die Höhe des Wassers geringer ist als die Länge des Stabes?

*Auflösung:* Der in Wasser tauchende Teil des schief stehenden Stabes sei  $= x$ . Der ganze Stab besteht dann aus 3 Teilen, der erste aus Glas hat das relative sp. G.  $1\frac{3}{4}$ , der zweite aus Holz das relative sp. Gew.  $(-\frac{1}{4})$ , der dritte nicht eintauchende Teil hat das spec. Gew.  $\frac{3}{3}$ . Die Längen der Teile sind 2;  $x - 2$ ;  $14 - x$ . Die Abstände ihrer Schwerpunkte von dem unteren Endpunkt des Stabes sind 1;  $1 + x/2$ ;  $7 + x/2$ . Setzt man die Summe der hieraus für jeden Teil des Stabes zu bildenden Produkte gleich Null, so wird  $x^2 = 155$ ,  $x = 12,5$ .

M. Koppe, Berlin.

### Aufgaben über Trägheitsmomente.

*Vorbemerkung.* Unter der Kraft 1 verstehen wir den Druck, welchen eine Masse von 1 g auf einem fingierten Planeten von der Schwerebeschleunigung 1 (cm/sec) ausübt [1 Dyn]. Wirkt auf einen Körper von der Masse  $M$  Gramm 1 Sek. lang eine Kraft  $k$ , so erlangt er die Geschwindigkeit

$$v = k/M.$$

Man kann den Zug mittelst eines elastischen Fadens ausüben, der während der Dauer des Versuchs so stark ausgedehnt zu erhalten ist, wie er auf jenem Planeten durch eine Belastung von  $k$  Gramm ausgedehnt sein würde.

Ein um eine vertikale Axe leicht drehbarer Körper, dessen eigene Masse zu vernachlässigen sei, diene als Träger der Massen  $M_1, M_2$ , welche die Abstände  $r_1, r_2$  von der Axe haben. Steht dieser Körper, 1 Sek. lang, unter Einwirkung einer am Hebelarme  $\rho$  wirkenden Kraft  $k$ , so erlangt er die Winkelgeschwindigkeit

$$\vartheta = k \rho / (M_1 r_1^2 + M_2 r_2^2) = D/T.$$

Die durch das Drehungsmoment  $D$  hervorgebrachte Winkelgeschwindigkeit ist desto kleiner, je grösser  $T$  (das Trägheitsmoment) ist. Letzteres hat also hier ähnlichen Einfluss gegenüber dem Drehungsmoment, wie im vorigen Fall  $M$  (die träge Masse) gegenüber der Kraft  $k$ .

5. Ein Thürflügel habe eine Masse von 120 kg, eine Breite von 60 cm. Welche Drehungsgeschwindigkeit erhält derselbe, wenn man an dem Griffe eines im Schloss steckenden Schlüssels, 10 cm vom Rande der Thür entfernt, 1 Sek. lang mit einer Kraft von 5 kg zieht? Die Reibung in den Angeln sei unerheblich.

*Auflösung:* Das Rechteck der Thür zerlegt man in schmale Streifen, indem man zur Drehungs-Axe in den Abständen  $x_0 (= 0), x_1, x_2, \dots x_n (= b)$  Parallelen zieht. Ein Streifen von 1 cm Breite hat die Masse  $s = 120 \cdot 10^3 / 60 = 2 \cdot 10^3$ . Das Trägheitsmoment wird also

$$T = \sum s (x_h - x_{h-1}) x_h^2,$$

wofür man auch setzen kann

$$T = \frac{1}{3} \sum (x_h - x_{h-1}) (x_h^2 + x_h x_{h-1} + x_{h-1}^2) \text{ oder}$$

$$T = \frac{1}{3} \sum (x_h^3 - x_{h-1}^3) = \frac{1}{3} s b^3 = \frac{2}{3} \cdot 600^3.$$

Das Gewicht einer Masse von 5 kg auf der Erdoberfläche ist  $k = 5 \cdot 10^3 \cdot 981$ , ferner  $D = 50 k$ , folglich ist  $\vartheta = D/T$  bekannt. Man findet  $60 \vartheta = 102$  cm als lineare Geschwindigkeit des Randes der Thür, dieser hat daher während des Ziehens schon einen Kreisbogen von 51 cm beschrieben.

6. Mit welcher Beschleunigung rollt ein Spielreifen von einer schiefen Ebene herab? Damit wirklich die rollende Bewegung, nicht etwa eine gleitende, eintrete, sei der Neigungswinkel  $\alpha$  kleiner als der Grenzwinkel für gleitende Reibung.

*Auflösung:* Es sei vorausgesetzt, dass die rollende Bewegung eines Reifens auf horizontaler Bahn, einmal eingeleitet, sich mit constanter Geschwindigkeit fortsetzt. Denken

wir uns den Reifen als reguläres Polygon mit sehr vielen Seiten, so ist die rollende Bewegung in jedem Augenblicke als Rotation um den Berührungspunkt  $P$  aufzufassen. Eine auf den Mittelpunkt  $C$  des Reifens parallel der Ebene wirkende Kraft wird seine Bewegung ebenso verändern, als wäre der Berührungspunkt fest. Die Winkelgeschwindigkeit, mit welcher der Körper um diesen Punkt gerade rotiert, wird durch die Kraft verändert werden, und zwar um einen Betrag, der nicht nur von der Kraft, sondern auch von dem Trägheitsmoment  $T$  des Körpers um den Berührungspunkt  $P$  abhängt.

Um  $T$  zu finden, betrachte man zwei in den Endpunkten eines Durchmessers  $AB$  liegende gleiche Massenteile  $m$ , diese geben zum Trägheitsmoment den Beitrag

$$m PA^2 + m PB^2 = m (2PC^2 + 2CA^2) = 4m r^2.$$

Ist  $M$  die ganze Masse des Reifens, so wird

$$T = 2 M r^2,$$

also so gross, wie für eine im Mittelpunkt concentrirte Masse  $2M$ . Das Gewicht des Körpers,  $Mg$ , als dessen Angriffspunkt der Schwerpunkt  $C$  zu denken ist, kann in zwei Componenten  $Mg \cos \alpha$  und  $Mg \sin \alpha$  zerlegt werden, von denen nur die letzte (parallel der schiefen Ebene) wirksam bleibt.

Der Körper bewegt sich also ebenso wie ein fingierter an sich masseloser Reifen von gleichen Dimensionen, dessen Centrum die Masse  $2M$  enthält und als Angriffspunkt für die Kraft  $Mg \sin \alpha$  dient. Die Bewegung der in das Centrum verlegten Masse erfolgt auf einer der gegebenen schiefen Ebene parallelen Geraden, sie kann daher wie die geradlinige Bewegung einer punktförmigen Masse unter Einwirkung einer constanten Kraft berechnet werden. Die Beschleunigung wird

$$G = \frac{Mg \sin \alpha}{2M} = \frac{1}{2} g \sin \alpha.$$

Zu demselben Resultat gelangt man, wenn man die in der ersten Sekunde erlangte Winkelgeschwindigkeit  $\vartheta$  berechnet; die Beschleunigung des Schwerpunkts ist dann  $= r \vartheta$ .

7. Ein dünner Stahlcylinder vom Radius  $r$ , der die Axe eines schweren Schwungrades (Radius  $R$ , Masse  $M$ ) bildet, rolle von einer schiefen Ebene herab, die aus 2 parallelen Schienen gebildet ist. Das Herabrollen ist mit einer Rotation des zwischen den Schienen frei beweglichen Schwungrades verknüpft. Wie stark wird die fortschreitende Bewegung gegen den freien Fall verlangsamt? Hat die lebendige Kraft des Körpers in irgend einem Punkte einen geringeren Wert, als wenn er durch reibungsloses Gleiten dahin gelangt wäre? Zur Vereinfachung der Rechnung kann man annehmen, dass alle Massen bis auf die in der Peripherie des Schwungrades enthaltene unerheblich sind.

*Auflösung:* Das Trägheitsmoment in Bezug auf die Berührungslinie des dünnen Cylinders mit der schiefen Ebene lässt sich wie oben aus Teilen von folgender Form zusammensetzen:

$$m(PA^2 + PB^2) = 2m(PC^2 + CA^2) = 2m(R^2 + r^2),$$

folglich

$$T = M(R^2 + r^2).$$

Dieses Trägheitsmoment ist gleich dem einer fingierten Masse  $M'$  in der geometrischen Axe  $C$ , wenn man setzt

$$M' r^2 = M(R^2 + r^2).$$

Diese Masse  $M'$  bewegt sich gradlinig unter Einwirkung der constanten Kraft  $Mg \sin \alpha$ , also ist die Beschleunigung:

$$G = \frac{Mg \sin \alpha}{M'} = \frac{r^2}{R^2 + r^2} g \sin \alpha.$$

Für  $R = 10$  cm,  $r = 1$  cm,  $\alpha = 6^\circ$  wird  $G = 1,015$  cm. Mit einer solchen Vorrichtung lassen sich die Gesetze der gleichförmig beschleunigten Bewegung viel sicherer

als mit der einfachen Fallrinne nachweisen. Die Beschleunigung lässt sich durch Vergrößerung von  $R$  und Verkleinerung von  $r$  beliebig herabsetzen; trotz der geringen Geschwindigkeit werden zufällige Hindernisse, die sich der fortschreitenden Bewegung entgegenstellen, mittelst der in der Rotation der schweren Masse aufgespeicherten lebendigen Kraft leicht überwunden. Die gleitende Reibung, die sonst die Resultate der Theorie in der Praxis beeinträchtigt, kommt hier nicht als Hindernis zur Geltung, sondern unterhält die Bewegung.

Gelegenheit, die obigen Bewegungen an Körpern von erheblichen Dimensionen zu beobachten, bietet sich in den Turnsälen; man findet dort runde Eisenstäbe von fast 1 m Länge, die an beiden Enden mit grossen schweren Kugeln versehen sind und etwa  $\frac{1}{2}$  Ctr. wiegen. Lässt man einen solchen von einem wenig geneigten Sprungbrett herabrollen, so dass die Kugeln auf beiden Seiten darüber hinausragen, so kann man, ohne dadurch die Bewegung merklich zu stören, am Anfang jeder Sekunde an dem langsam rollenden Stabe entlang mit Kreide auf dem Brett eine Linie ziehen und an den Abständen der erhaltenen Linien die Gesetze der Bewegung nachweisen. M. Koppe, Berlin.

8. Ein homogener Hohlzylinder vom äusseren Radius  $a_1$  und vom inneren Radius  $a_2$  des concentrischen Cylindermantels rollt ohne zu gleiten auf einer schiefen Ebene von der Neigung  $\alpha$  gegen die Horizontalebene; die Erzeugende des Cylinders, welche die Ebene berührt, bildet den spitzen Winkel  $\beta$  mit einer Linie stärksten Falls der schiefen Ebene. Die Bewegung des Cylinders zu untersuchen.

*Auflösung:* In jedem Augenblicke kann die Bewegung entweder als eine Rotation um die berührende Erzeugende als momentane Rotationsaxe angesehen werden, oder als eine Translation des Schwerpunktes mit der Geschwindigkeit  $v$  und eine Rotation um die Cylinderaxe mit der Winkelgeschwindigkeit  $\omega$ , wobei  $v = a_1 \omega$ . Durch Anwendung des Prinzips von der Erhaltung der Energie folgt sofort die Gleichung ( $p =$  Gewicht des Hohlzylinders,  $s$  der vom Schwerpunkte beschriebene Weg, Anfangsgeschwindigkeit gleich Null vorausgesetzt):

$$p s \cdot \sin \alpha \sin \beta = \frac{1}{2} \frac{p}{g} v^2 + \frac{1}{4} \frac{p}{g} (a_1^2 + a_2^2) \omega^2;$$

hieraus, in Verbindung mit  $v = a_1 \omega$ :

$$v^2 = 2s \cdot \frac{2g a_1^2 \sin \alpha \sin \beta}{3a_1^2 + a_2^2}.$$

Da das Quadrat der Geschwindigkeit dem Wege proportional ist, so ist die Bewegung des Schwerpunktes gleichmässig beschleunigt und der Faktor von  $2s$  giebt die Beschleunigung. Die von  $a_2$  abhängenden Werte der letzteren liegen zwischen

$$\frac{2}{3} g \sin \alpha \sin \beta \quad (a_2 = 0) \quad \text{und} \quad \frac{1}{2} g \sin \alpha \sin \beta \quad (a_2 = a_1).$$

9. Zwei schiefe Ebenen bilden mit einander den Winkel  $2s$  und sind gegen die Horizontalebene gleich geneigt; der Winkel ihrer Schnittgeraden gegen den Horizont ist  $\beta$ . Eine Kugel vom Radius  $a$  berührt beide Ebenen und rollt ohne zu gleiten in dem von den Ebenen gebildeten räumlichen Winkel (Kegelkugel in der Rinne). Die Bewegung der Kugel zu untersuchen.

*Auflösung:* In jedem Augenblicke kann die Bewegung als eine Rotation um die Verbindungslinie der beiden Berührungspunkte als momentane Rotationsaxe angesehen werden. Ist  $v$  die Geschwindigkeit des Kugelmittelpunktes, so findet man aus dem Prinzip von der Erhaltung der Energie

$$v^2 = 2s \frac{g \sin^2 \alpha \sin \beta}{0,4 + \sin^2 \alpha},$$

worin  $s$  den durch den Mittelpunkt  $s$  (ohne Anfangsgeschwindigkeit) zurückgelegten Weg

bedeutet. Der Mittelpunkt bewegt sich also gleichförmig beschleunigt, und der Faktor von  $2s$  giebt die Beschleunigung; die Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  der Kugel um die zur momentanen Axe parallele Schwerpunktsaxe ergibt sich aus der Gleichung

$$v = a \sin \alpha \cdot \omega.$$

10. Eine homogene Vollkugel vom Radius  $R$  und eine homogene Hohlkugel von demselben Radius  $R$  der äusseren Kugelfläche und dem Radius  $r$  der inneren concentrischen Kugelfläche rollen auf derselben schiefen Ebene hinab, ohne zu gleiten. Wie verhalten sich die Beschleunigungen der Mittelpunkte beider Kugeln  $\gamma_1$  und  $\gamma_2$  zu einander?

*Auflösung:* Ist  $\alpha$  die Neigung der schiefen Ebene gegen die Horizontalebene, so hat man:

$$\gamma_1 = \frac{5}{7} g \sin \alpha, \quad \gamma_2 = \frac{5gR^2(R^3 - r^3) \sin \alpha}{7R^5 - 5R^2r^3 - 2r^5};$$

also:

$$\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = 1 + \frac{2}{7} \frac{r^3(R+r)}{R^2(R^2 + Rr + r^2)}.$$

Die Grenzen dieses Verhältnisses erhält man für  $r = 0$  und  $r = R$  bzw. gleich 1 und  $\frac{25}{21}$ .

11. Eine Vollkugel und eine Hohlkugel von demselben äusseren Radius rollen, ohne zu gleiten, auf einer schiefen Ebene hinab (Anfangsgeschwindigkeit Null). Die erste braucht 86,9 Sekunden, die zweite 6 Sekunden mehr für denselben Weg. Wie gross ist das Verhältnis zwischen den Radien  $R$  und  $r$  der die Hohlkugel begrenzenden Flächen?

$$\text{Auflösung:} \quad s = \frac{1}{2} \gamma_1 t_1^2 = \frac{1}{2} \gamma_2 t_2^2, \quad \frac{\gamma_2}{\gamma_1} = \frac{t_1^2}{t_2^2} = 0,875 = \frac{7}{8}.$$

Setzt man  $R/r = x$ , so folgt (nach der vorhergehenden Aufgabe):

$$x^4 + x^3 + x - 2x - 2 = 0,$$

und hieraus

$$x = 1,120\,743, \quad 1/x = r/R = 0,892\,265.$$

*E. Lampe, Berlin.*

### Kleine Mitteilungen.

#### Ein sehr einfacher Pendelversuch zur Erklärung der Resonanz und Absorption.

Von Professor **W. Holtz** in Greifswald.

Den sehr hübschen und instruktiven Pendelversuchen, welche Jsenkrahe in *Carl's Repert. d. Phys. Bd. 16 S. 99* beschrieben hat, möchte ich als Ergänzung ein kleines Experiment hinzufügen, welches freilich nur eine Modifizierung, aber eine besonders einfache Modifizierung eines jener Experimente ist. Ich benutze diesen Versuch seit Jahren in meinen Vorlesungen zur Erläuterung des Satzes von der Resonanz und Absorption.

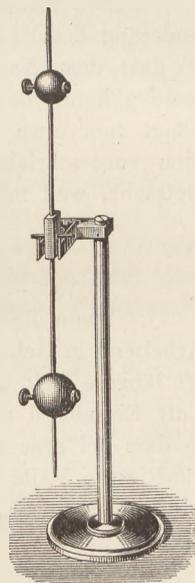
Man spanne zwischen zwei Thürpfosten einen Gummischlauch mittelst zweier Nägelchen und zweier an den Enden befestigten Bindfadenstücke straff und hänge über denselben gleichweit von den Enden (etwa um je  $\frac{1}{8}$  der Thürbreite von diesen entfernt) zwei Fadenpendel von gleicher Länge mittels einfacher Drahthäkchen auf. Stösst man das eine an, so geräth das andere nach und nach in Schwingungen, welche immer stärker werden, während sich in gleichem Maasse die Schwingungen des ersten verringern, worauf, wenn dieses völlig zur Ruhe gelangt ist, die Bewegungserscheinung eine Umkehrung erfährt. Wählt man als zweites Pendel jedoch ein Pendel, welches kürzer oder länger ist, so wird es wohl auch periodisch in kleine Schwingungen geraten, welche jedoch keineswegs beständig grösser werden, weshalb auch das erste Pendel keine namhafte Abnahme der Bewegung erfahren kann. Ist das eine Pendel gerade 4 oder 9mal so lang

wie das andere, so spricht sich wohl auch noch eine Übertragung der Bewegung aus, aber diese ist weniger eklatant. — Ein besonderer Vorzug dieser Versuchsform ist die Stabilität der Thürpfosten, wie sie durch Stative überhaupt nicht zu erreichen ist. Die Pendelmassen können ganz beliebige Körper sein. Statt des Gummischlauches kann man allenfalls auch einen einfachen Bindfaden verwenden.

### Ein Pendelversuch.

Von Prof. Dr. **O. Reichel** in Charlottenburg bei Berlin.

Wodurch ersetzt man die Reise auf einen andern Himmelskörper, durch welche eine vollständige Bestätigung des Pendelgesetzes zu ermöglichen wäre? — Man stelle sich ein physikalisches Pendel her, indem man zwei Stricknadeln mittelst eines dünnen messingenen Verbindungsstückes zu einer doppelarmigen Pendelstange zusammensetzt. Durch das Verbindungsstück ist ein Stift senkrecht hindurchgesteckt, der als Achse dient und auf zwei Lager gelegt wird, so dass das Pendel in einer Ebene senkrecht zu dem Stift frei schwingen kann. Als Massen dienen zwei Messingkugeln von 50 g und  $83\frac{1}{3}$  g, die in gleicher Entfernung  $l$  von der Drehungsachse, die eine am oberen, die andere am unteren Teil der Pendelstange festgeklemmt sind. Die Schwingungsdauer des Pendels muss dann dieselbe sein, wie diejenige eines einfachen Pendels von der Länge  $l$ , falls dasselbe sich auf einem nur  $\frac{1}{4}$  so stark wie die Erde anziehenden Himmelskörper befände. In der That erweist sie sich doppelt so gross als diejenige des gleichlangen irdischen Pendels. Nimmt man zwei Messingkugeln von 50 g und  $112\frac{1}{2}$  g, so ist die Schwingungsdauer dreimal so gross als die eines gleich langen einfachen Pendels, sie entspricht also derjenigen auf einem Himmelskörper, dessen Anziehung nur  $\frac{1}{9}$  so stark wie die der Erde ist. Man wähle  $l$  nicht zu gross, um eine Durchbiegung der Stricknadeln zu vermeiden, und nicht zu klein, um eine Störung durch die Masse derselben und die Dimensionen der Kugeln zu verhindern.



### Eine neue Form der astatischen Nadel.

Von **A. Hempel** in Berlin.

Für die Grundversuche über Induktion ist es selbstverständlich am zweckmässigsten, ein möglichst leichtes astatisches Nadelpaar in einem Galvanometer ohne Dämpfung zu verwenden. Ich benutzte hierzu ein älteres Örtling'sches Galvanometer mit verhältnismässig wenig Drahtwindungen; das Nadelpaar hatte ich möglichst astatisch gemacht; auch misslang keiner der üblichen Versuche, immerhin war bei einzelnen derselben der Ausschlag der Nadeln so gering, dass für die Schüler gewiss grosse Aufmerksamkeit dazu gehörte, um sich von den vorgeführten Wirkungen zu überzeugen. Ich hätte diese Wirkungen wohl noch durch weitere Compensation des Erdmagnetismus erhöhen können, ich zog es aber vor einen anderen Weg zu versuchen.

Ich stellte mir — wie aus der Figur zu ersehen — ein Nadelpaar aus zwei hufeisenförmigen Magneten her, die in ihren indifferenten Teilen fest mit einander verbunden wurden. Die Nadeln wurden aus dünnem poliertem Stahldraht in glühendem Zustande gebogen, dann gehärtet und mit Wood'scher Legierung zusammengelötet. Es ist klar, dass ein solches Paar, das sich immer wieder als eine obere und eine untere Nadel auffassen lässt, soweit es auf die Verteilung des Magnetismus ankommt, vollständig astatisch sein müsste. Nun handelt es sich aber um die magnetischen Momente, und diese sind weiter von der Schenkellänge der Hufeisen abhängig. Es sollte wohl schwer



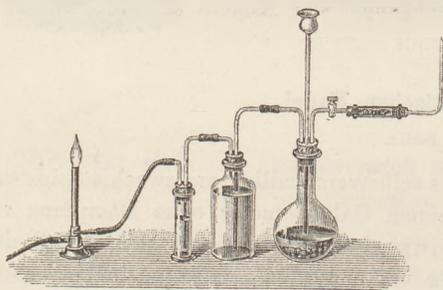
fallen, dies Nadelpaar genau symmetrisch herzustellen; auch ist es gar nicht wünschenswert, eine vollständig astatische Nadel zu haben. Ich brachte es aber durch Abschleifen der Enden dahin, dass die Nadel sehr langsame Schwingungen machte. Als ich sie dann in das Galvanometer einhängte und die Induktionsversuche wiederholte, war ich erstaunt über die grosse Empfindlichkeit, die ich erreicht hatte. Auch bei der Benutzung ganz schwacher Ströme zur Erzeugung von Induktionsstössen erhielt ich einen kräftigen Ausschlag der Nadel. Statt eines Magneten konnte ich das Bündel aus weichem Eisendraht benutzen, das gewöhnlich den Apparaten für die Grundversuche beigegeben wird; der äusserst geringe remanente Magnetismus darin reicht aus, um einen genügenden Ausschlag der Nadel herbeizuführen. Auch gelang es, die Nadel durch den Strom der Holtz'schen Maschine abzulenken — ein Versuch, der mir zuvor noch nicht geglückt war.

Die Hauptvorteile eines solchen Nadelpaares würden sein: 1) dass selbst bei Veränderung des Magnetismus das Paar ein für alle Mal nahezu gleich stark astatisch bleibt; 2) dass dem Nadelpaar mit Leichtigkeit ein vorgeschriebener Grad von Astasie erteilt werden kann, derart, dass das Paar an einem Coconfaden von gegebener Länge aufgehängt (um etwa die Torsion des Fadens zu berücksichtigen) in einer bestimmten Zeit eine vorgeschriebene Zahl von Schwingungen macht. Das Gewicht kommt kaum in Betracht, weil mit wachsendem Gewicht auch die Intensität des Magnetismus wächst.

### Eine Modifikation des Schwefelwasserstoffapparats.

Von Dr. F. Wilbrand in Hildesheim.

Wenn die constanten Schwefelwasserstoffapparate nicht ständig, etwa für analytische Arbeiten, in Gebrauch sind, sondern, wie das beim Schulunterrichte zu geschehen pflegt, oft längere Zeit unbenutzt stehen, so scheidet sich leicht durch allmählichen Zutritt von Luft Eisenoxyd aus, welches das noch vorhandene Schwefeleisen umhüllt und verkittet, so dass bei erneutem Gebrauch des Apparats der Zufluss der Säure erschwert ist, und im günstigsten Falle erst nach einiger Zeit die Entwicklung von Schwefelwasserstoff erfolgt. Die gewöhnlichen einfachen Schwefelwasserstoffapparate haben den Nachteil, dass man



den Gasstrom nicht regulieren kann, und dass viel Schwefelwasserstoff unverbraucht entweicht und die Luft verpestet. Ich bediene mich seit einiger Zeit des hierneben abgebildeten Apparats, der ohne weiteres verständlich ist und billigen Ansprüchen genüge leistet. Er gestattet den Gasstrom zu regulieren, so dass man zum Beispiel für den Nachweis der Verbrennungsprodukte eine Flamme von gewünschter und gleichbleibender Grösse haben, oder zum Ausscheiden des Wasserstoffs einen regelmässigen Gasstrom über

glühendes Kupfer leiten kann etc. Wird die rechte Seite des Apparates nicht benutzt, so geht der Strom durch Wasser, um das für weitere Versuche erforderliche Schwefelwasserstoffwasser zu liefern, dann durch Natronlösung oder durch die Lösung irgend eines Salzes, das zersetzt werden soll, z. B. von Kupfervitriol. Der Rest noch entweichenden Gases wird in die Luftöffnung eines Bunsen'schen Brenners geleitet und verbrennt, so dass bei gutem Schluss nur die geringe Menge von Schwefelwasserstoff sich bemerklich machen kann, welche aus dem Sicherheitsrohr entweicht, und auch diese würde man noch verkleinern können durch Umbiegung des unter die Flüssigkeit tauchenden Endes der Röhre. — Man lässt den Apparat zusammengesetzt, so lange sich noch Schwefelwasserstoff in grösserer Menge entwickelt. Die entstandene Eisenvitriollösung wird zweckmässig erst kurz vor erneutem Gebrauch des Apparats entfernt. — Bequem ist es, wenn der Apparat ein für alle mal auf einem Tragbrettchen steht, so dass er nach dem Gebrauch aus dem Schulraum entfernt oder unter den Abzug gestellt werden kann.

## Berichte.

### I. Apparate und Versuche.

**Zusammensetzung von Pendelschwingungen.** Von E. BAZZI wird im *Nuov. Cim.* (1887, vol. XXII, 150) der folgende Apparat beschrieben. Zwei Pendel von je 1 m Länge, deren schwingende Massen durch Messingkugeln von 80 cm Durchmesser gebildet werden, sind auf Stahlschneiden aufgehängt und auf getrennten Tischen neben einander aufgestellt. Das eine trägt am unteren Teil eine Holztrommel von 20 cm Durchmesser, die am Umfange mit Cartonpapier bezogen ist und auf elektromagnetischem Wege in Rotation versetzt werden kann; dem Ende der Pendelstange gegenüber befindet sich ein verstellbarer Elektromagnet, mit dessen Hülfe die Schwingungsphase des Pendels sich verändern lässt. Das andere Pendel ist mit einem leichten Schreibhebel versehen, der die Curven auf den Umfang der Trommel aufzeichnet. Bei senkrechter Stellung der beiden Achsen erhält man die Lissajous'schen Figuren, bei paralleler Stellung der Achsen und passender Wahl der Pendellängen Summationscurven, welche die Superposition von Schwingungen erläutern.

**Ein Versuch über die Oberflächenspannung von Flüssigkeiten.** Eine geölte Nadel schwimmt bekanntlich auf der Oberfläche des Wassers, ein Versuch, der zur Erläuterung der Oberflächenspannung zwischen Wasser und Luft benutzt wird. Wählt man eine Nadel von mittlerer Grösse (No. 6) und giesst dann Oel auf das Wasser, bis die Nadel davon bedeckt ist, so sinkt diese bis zum Grunde des Wassers hinab. Führt man hingegen dasselbe mit Petroleum aus, so bleibt die Nadel schwimmen.

Zur Erklärung dieses Versuchs betrachtet A. R. WALSH (*Proc. Dubl. Soc. V, 6, 1887*) die von der Nadel hervorgebrachte Depression als ein Boot, dessen Inhalt aus Nadel und Oel besteht, während die Wände von der herabgedrückten Wasseroberfläche gebildet sind. Das Uebergewicht von Nadel und Oel über das Gewicht des verdrängten Wassers muss geringer sein, als die Oberflächenspannung, wenn die Nadel schwimmen bleiben soll. Nun sind nach Quincke die Oberflächenspannungen in gr. per m, bei 20° C,

an der Grenze von Wasser und Luft . . . . .	8,253,
Wasser und Olivenöl . . . . .	2,096,
Wasser und Petroleum . . . . .	2,834,

die relativen Dichtigkeiten dagegen von Olivenöl 0,915, von Petroleum 0,840. Man erkennt daher, dass bei Wasser und Oel die grössere Dichte des Oels und die geringere Spannung zusammenwirken, um das Sinken der Nadel hervorzubringen, während beim Petroleum dies noch nicht der Fall ist. Eine genauere Rechnung zeigt, dass eine Nadel von der gewählten Grösse ihr 35faches Volum Wasser verdrängt, und dass eine sehr kleine Nadel auch zwischen Wasser und Oel noch würde schwimmen können.

**Luftwägung in der Lehrstunde.** Für die Bestimmung des Luftgewichtes benutzt A. KURZ (*Rep. d. Phys. XXIII, 519; 1887*) das (irrtümlich sogenannte) 'Gewichtsmanometer von Guericke', das in den Lehrbüchern den Namen 'Baroskop' oder 'Dasymeter' führt. Der Verf. bestimmte das Volumen des kleinen Glasballons durch Eintauchen in ein kalibriertes Gefäss mit Wasser, und aichte das Instrumentchen auch als Wage, indem er die Ausschläge (in Skalenteilen) beobachtete, die der Zeiger beim Auflegen von 0,05 g und 0,10 g angab. Wurden überdies die Volumina von Glocke und Stiefel unter Absperrung des abgekürzten Barometers ermittelt, so liess sich der Verdünnungsgrad nach 1 Kolbenzug und daraus auch die Gewichtszunahme des Ballons berechnen, die in dem vom Verf. ausgeführten Beispiel 0,070 g betrug, während die direkte Beobachtung an dem geeichten Instrument 0,071 g ergab. Wenn auch bei dieser Übereinstimmung wohl ein glücklicher Zufall mitspielt, so ist die vorgeschlagene instruktive Verwendung des Instrumentes (etwa in Form einer Übungsaufgabe) immerhin beachtenswert. Für den ersten Nachweis des Luftgewichtes möchte aber doch die direkte Wägung eines so ge-

nannten „luftleeren“ Glasballons — Otto v. Guericke's Fundamentalversuch — vorzuziehen sein. Die längere Dauer des dabei nötigen Pumpens und Wägens darf bei der Wichtigkeit des Versuches nicht in Betracht kommen. Das oben benutzte ‚Dasymeter‘ ist nicht von Guericke, sondern von Robert Boyle erfunden und zu dem Zwecke, dem es noch heut dient, verwendet worden. Der Apparat von Guericke, der zur Verwechslung Anlass gegeben haben mag, bestand aus einem luftleer gepumpten Gefäß, das an einer Wage äquilibrirt war und sowohl beim Wiedereinströmen der Luft die Zunahme des Gewichts, als auch bei tagelanger Aufhängung die Schwankungen des äusseren Luftdrucks erkennen liess; es ist zuerst in Caspar Schott's „*Technica curiosa*“ (1664) bekannt gemacht worden.

**Versuche mit engen Glasröhren.** Wird in einer am einen Ende verschlossenen Glasröhre, deren lichter Durchmesser 2 mm oder weniger beträgt, ein Gasquantum durch einen Quecksilberfaden abgesperrt, so fällt dieser Faden nicht herunter, selbst wenn das offene Ende der Röhre vertikal nach unten gekehrt wird. Für die folgenden, von F. MELDE (*Wied. Ann.* **32**, 659; 1887) beschriebenen Versuche müssen die Röhren möglichst gleichen Durchmesser haben und überdies kalibriert werden, was durch Einfüllung genau gleicher Quecksilbermengen geschieht. Der Verschluss des einen Endes wird dadurch hergestellt, dass ein kleiner grade passender Eisencylinder eingeschoben und mit Siegelack oder Kitt befestigt wird; ein vollkommener Verschluss lässt sich durch Eintauchen des bereits zugeklebten Endes in Alkoholsiegelacklösung erreichen. Mit der Röhre wird endlich eine Millimeterskala verbunden. Ist der Quecksilberfaden (mittels eines Glasrichters mit dünn ausgezogenem Rohr) eingefüllt, so kann man beliebig viel von der abgesperrten Luft entfernen, indem man einen dünnen Eisen- oder Stahldraht einführt, der am Ende ein winziges Siegelacktröpfchen trägt, damit die Glaswand nicht zerkratzt wird. 1) Das Mariotte'sche Gesetz wird bestätigt, indem man die Röhre erst mit der Mündung vertikal aufwärts, dann vertikal abwärts kehrt und beide Male die Luftvolumina ( $v$  und  $v'$ ), sowie, wegen der verschiedenen Röhrenweite, die Längen der Quecksilbersäule ( $h$  und  $h'$ ) bestimmt. Ist  $B$  der Barometerstand, so wird  $v/v' = (B + h)/(B - h')$ , der Quotient beider Seiten also = 1, womit die angestellten Versuche sehr genau zusammenstimmen. 2) Ein solches Röhrechen lässt sich als „Capillarbarometer“ zur Bestimmung des Barometerstandes benutzen, wie die vorstehende Formel zeigt. Man erhält  $B = (vh + v'h')/(v' - v)$ . 3) Um das Ausströmen von Gasen aus feinen Öffnungen zu zeigen, wird ein Platinplättchen mit äusserst feiner Durchbohrung auf das eine Ende der Capillarröhre aufgeklebt und die Zeit (in  $\frac{1}{5}$  sec.) gemessen, während welcher der Quecksilberfaden von einer Marke bis zu einer tieferen hinabsinkt, wenn das Löchelchen sich unten befindet. Für ein Gas vom specifischen Gewicht  $s$  ist, wenn  $t$  und  $t'$  die Durchgangszeiten für Luft und Gas bedeuten,  $s = t'^2/t^2$ ; für Leuchtgas ergaben die Versuche recht befriedigende Resultate.

**Zersprengen eines Gefäßes durch gefrierendes Wasser.** A. BUGUET gibt im *Journ. de Phys. elem.* (II, 128; 1887) die folgenden Formen für diesen Versuch an. Ein Probierrglas wird mit Äther gefüllt und mit einem doppelt durchbohrten Kork verschlossen, durch dessen Öffnungen ein langes und ein kurzes Glasrohr gesteckt sind. Durch das erste bläst man, mit Hilfe eines Kautschukblasbalges, einen Luftstrom durch den Äther, welcher infolge rascher Verdunstung unter  $0^\circ$  abgekühlt wird. Darauf bringt man eine zugeschmolzene Glaskugel oder auch nur das kugelförmige Ende eines Glasrohrs voll Wasser in den Äther und bläst noch 1 bis 2 Minuten lang Luft durch den Apparat, worauf die Zersprengung der Kugel hörbar und sichtbar erfolgt. Damit der Vorgang nicht durch Beschlagen des Probierrglases verdeckt wird, setzt man dieses mittels eines Gummiringes in ein weiteres Gefäß, dessen Boden mit concentr. Schwefelsäure bedeckt ist. Dadurch wird der Niederschlag an der Aussenseite verhindert. Auch dadurch, dass man den Äther in einen Zerstäuber bringt und den entweichenden Luft-Äther-Strom gegen eine Kugel richtet, die mit Wasser gefüllt ist, kann man dieselbe Wirkung hervorbringen; man muss nur dafür sorgen, dass das Gefrieren zuerst an dem oberen, der Öffnung zugewandten Ende der Glaskugel stattfindet.

**Transportable Apparate zur Beobachtung der atmosphärischen Elektrizität.** Für die Kenntnis des elektrischen Zustandes der Luft ist, wie F. EXNER in den *Sitzb. d. Wien. Akad. Bd. 95 (1887)* auseinandersetzt, erforderlich, dass an möglichst vielen Punkten der Erdoberfläche und von möglichst vielen Beobachtern die Potentialdifferenz zweier Punkte in der Luft bestimmt wird, die auf derselben Vertikalen über einem möglichst ebenen Stück der Erdoberfläche in 1 m Abstand von einander liegen. Die Grösse dieses Potentialgefälles zwischen der Erdoberfläche und einem 1 m über ihr befindlichen Punkte beträgt in unseren Breiten 60—500 Volt, wobei die niedrigsten Werte im Sommer, die höchsten im Winter auftreten; es handelt sich namentlich um die Ermittlung

des Maximalwertes, welcher der völligen Abwesenheit von Wasserdampf in der Atmosphäre entspricht, und aus dem sich die Grösse der elektrischen Ladung der Erde ableiten lässt. Für die hierzu erforderlichen Messungen hat EXNER ein transportables Elektroskop construirt, das wie ein Aneroid in die Tasche gesteckt werden kann; dies hat sich bei zweijährigem Gebrauch auf Reisen vollkommen bewährt. Es besteht aus einer flachen, etwa 3 cm hohen Messingtrommel *A*, die an beiden Basisflächen durch Glasscheiben verschlossen ist; unten ist eine Messinghülse *B* eingesetzt, die nach Belieben auf eine Handhabe aus Messing oder Ebonit aufgesteckt werden kann. Oben ist, in einer zweiten Messinghülse *C* befindlich, ein isolierender Ebonitpfropfen eingesetzt, durch welchen der Messingstift *D* mit Klemmschraube *E* hindurchgeht. Der Stift *D* trägt zwei Aluminiumblättchen, welche durch ein dünnes Kupferblech *c* von einander getrennt sind und beim Transport durch zwei verschiebbare Messingplatten *F* geschützt werden können, die sich bis dicht an die Absätze *f, f* und *m, m* heranbringen lassen; vor der Beobachtung werden diese vollständig zurückgezogen. Zum Zweck der Messung ist an der vorderen Glasscheibe eine Millimeterskala angebracht, der in gleicher Höhe an der hinteren Platte ein Visierstreifen *n, n* gegenübersteht. — Die Kalibrierung des Instruments geschieht mittels einer Wasserbatterie von 200 kleinen Elementen *Zn/Pt*; auf der Reise kann zu diesem Zweck eine Batterie von 28 *Zn/Pt* Elementen in Verbindung mit einem Condensator benutzt werden, der wegen seiner Einfachheit auch für Unterrichtszwecke Beachtung verdient. Auf ein Brett *A* ist eine starke Messingplatte *B* als untere Condensatorplatte aufgeschraubt; sie trägt zugleich den Stützpunkt *D* für die obere Platte *C*; diese ist einerseits durch ein isolierendes Ebonitstück *E* an den Tasthebel *H* befestigt und ruht andererseits auf einem Messingstück mit der Klemmschraube *A*, das von *B* völlig isoliert ist und noch einen kleinen Riegel *a* trägt, um die Platte beim Nichtgebrauch in ihrer Lage festzuhalten. Der Abstand beider Platten ist 0,5—0,8 mm. Von *B* isoliert

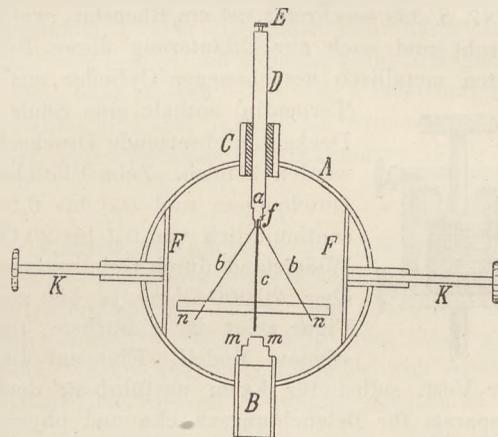


Fig. 1.

ist auch die Klemmschraube 2 und die damit verbundene Feder *F*. Wird der Hebel *A* bis *G* herabgedrückt, so kommt die obere Platte *C* mit *F* in Berührung. Der Gebrauch des Apparats geschieht so, dass man 1 dauernd mit dem einen Pol der kleinen Batterie, 2 mit dem Elektroskop verbindet, während *B* mit der Batterie in der Weise verbunden wird, dass successive 5, 6, 7 ... Elemente eingeschaltet sind. Bei jeder Einschaltung setzt man den Hebel *H* so lange wie eine Wippe in Bewegung, bis am Elektroskop keine Steigerung der Divergenz mehr eintritt; ist *n* die experimentell bestimmte (annähernd

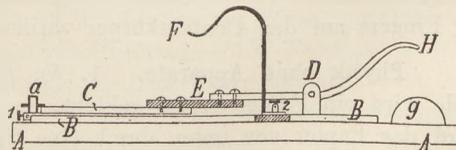


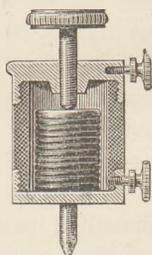
Fig. 2.

ist auch die Klemmschraube 2 und die damit verbundene Feder *F*. Wird der Hebel *A* bis *G* herabgedrückt, so kommt die obere Platte *C* mit *F* in Berührung. Der Gebrauch des Apparats geschieht so, dass man 1 dauernd mit dem einen Pol der kleinen Batterie, 2 mit dem Elektroskop verbindet, während *B* mit der Batterie in der Weise verbunden wird, dass successive 5, 6, 7 ... Elemente eingeschaltet sind. Bei jeder Einschaltung setzt man den Hebel *H* so lange wie eine Wippe in Bewegung, bis am Elektroskop keine Steigerung der Divergenz mehr eintritt; ist *n* die experimentell bestimmte (annähernd

auch durch Berechnung ermittelbare) Verstärkungszahl des Condensators, so entspricht dem beobachteten Ausschlage ein  $n$  mal so grosses Potential, als das der eingeschalteten Elemente.

Bei den Beobachtungen über Lufterklichkeit dient als Aufhängevorrichtung eine Kerzenflamme, die isoliert auf einen Stock aufgesetzt wird und in welche ein verstellbarer Kupferdraht mit Platinspitze hineinragt, der seinerseits mit dem Elektroskop verbunden wird. Sämtliche Apparate werden von dem Mechaniker H. Schorss in Wien angefertigt.

**Die Widerstandsschraube**, welche W. ENGELMANN in der *Ztschr. f. Instrumentenk.* 1887, S. 333 beschreibt, ist ein Rheostat, welcher auf demselben Prinzip wie das Mikrophon beruht und auch zur Erläuterung dieses Prinzips verwendbar erscheint. Ein oben und unten metallisch geschlossener Cylinder aus nichtleitendem Material (Ebonit, Elfenbein,



Terpentin) enthält eine Säule von Kohlenplatten, welche durch eine den Deckel durchsetzende Druckschraube mehr oder weniger zusammengepresst werden können. Zehn Plättchen sehr gut leitender Batteriekohle von 1 cm Durchmesser und 0,3 bis 0,5 mm Dicke gestatten z. B. den Widerstand continuierlich von 0,1 bis 20 Ohm zu variieren; mit dickeren Platten, deren Widerstand durch Gelatinezusatz erhöht ist, erreicht man Abstufungen bis über 20000 Ohm, ja bis zu mehreren 100000 Ohm. Die beistehende Figur zeigt das einfachste, für Glühlampen von 2—5 Volt Spannung bestimmte Modell. Eine auf die Dauer genaue Aichung des Rheostaten hält

der Verf. selbst für kaum ausführbar, doch ist eine solche bei der Verwendung des Apparats für Beleuchtungszwecke und physiologische Untersuchungen entbehrlich.

**Demonstration der Wirkungsweise des Mikrophons.** Von G. KREBS wird in der *Elektrot. Rundsch.* 1888, No. 1 ein Apparat angegeben, der im Prinzip dem vorstehend beschriebenen ähnlich ist. Auf ein Holzbrettchen ist ein Stück Glasrohr von ca. 5 cm Höhe und  $1-1\frac{1}{2}$  cm Weite montiert. Das Glasrohr hat unten einen Messingboden und oben eine Messingfassung, durch welche eine Messingschraube hindurch geht; diese endigt innerhalb des Glasrohrs in einer Messingplatte von der Weite der Röhre. Die Fassung oben und der Messingboden unten sind mit zwei Klemmschrauben leitend verbunden. Im Innern des Glasrohres befindet sich Kohlenpulver. Schaltet man in den Stromkreis eines Bunsen'schen Elementes diesen Apparat sowie ein Vertikalgalvanometer ein, so erhält man, wenn die Schraube hinlänglich heraufgeschraubt worden, keinen Ausschlag der Nadel; lässt man aber die Schraube durch Drehen am Kopf derselben sich abwärts bewegen, so zeigt die Nadel einen immer mehr sich vergrößernden Ausschlag. Bei derselben Gelegenheit empfiehlt der Verf., die Wirkungsweise eines (Berliner'schen) Mikrophons dadurch anschaulich zu machen, dass man es mit einem Vertikalgalvanometer in den Stromkreis eines Bunsen-Elementes einschaltet und den Widerstand durch Drücken des Fingers auf den Kontaktkörper variiert.

**Physik ohne Apparate.** 1. An einen Federhalter mit Metallhülse am unteren Ende wird ein Papierstreifen geklebt, so dass er halb am Metall, halb am Holze liegt. Wird das Papier von unten durch eine Spiritusflamme erhitzt, so verkohlt nur der am Holze anliegende Teil, während der am Metall befindliche weiss bleibt (verschiedenes Leitungsvermögen von Holz und Metall).

2. An den Fuss eines mit der Öffnung abwärts gehaltenen Weinglases befestigt man mittels eines Fadens einen kleinen Metallknopf so, dass dieser neben dem Rand des Glases zu hängen kommt. Der Knopf geräth in schwingende Bewegung, wenn man das Glas an der gegenüberliegenden Seite mit einem Bleistift anschlägt. (*La Nature*, 1887, No. 752.)

## 2. Forschungen und Ergebnisse.

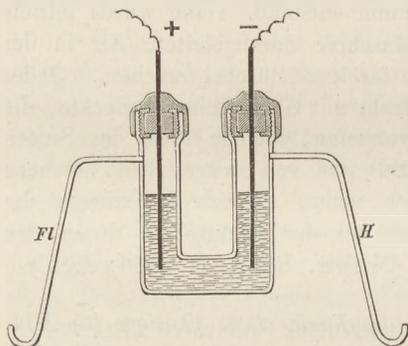
**Die Dimensionen der elektrischen Maasse.** Die elektrische Capacität, ausgedrückt in elektrostatischen Einheiten, hat die Dimension einer Länge, der Widerstand in elektromagnetischen Einheiten diejenige einer Geschwindigkeit. Dimensionen dieser Art sind nach G. LIPPMANN (*C. R.* 105, 738) einer physikalischen Deutung fähig; sie bedeuten, dass die betrachteten Grössen einer Länge, einer Geschwindigkeit proportional sind und dass ihre Messung auf die Messung von einer Länge, einer Geschwindigkeit zurückgeführt werden kann. Soll die Capacität einer Leydener Flasche bestimmt werden, so kann man eine Metallkugel construieren, deren Radius so lange zu vergrössern ist, bis ihre Capacität derjenigen der Leydener Flasche gleich ist. Handelt es sich um den Widerstand, so denke man sich auf einem Draht eine bestimmte Länge abgegrenzt und dieses Stück parallel zu sich selbst in einem magnetischen Felde bewegt und dabei mit einem Magnetpol in festem Abstände verbunden. Es lässt sich dann zeigen, dass die Geschwindigkeit, bei der die Einwirkung des magnetischen Feldes und des induzierten Stromes auf den Magnetpol sich aufheben, diejenige Grösse ist, deren Messung zur Bestimmung der Grösse des Widerstandes hinreicht.

**Zerlegung des Wassers durch die Elektrisiermaschine.** Bei Gelegenheit von Versuchen, welche G. GOVI mit übersättigten Lösungen anstellte (*Rendiconti Acc. Nap.* (9) I, 137; 1887) ergab sich, dass die Elektrisiermaschine sichtbar und mit merklicher Energie das Wasser von übersättigten Salzlösungen zerlegt, wenn diese vom atmosphärischen Drucke befreit sind. Eine in der Wärme übersättigte Lösung von schwefelsaurem Natron wurde in einem eigens construierten Apparat vorsichtig aufgeköcht und dann abgekühlt, so dass über der Flüssigkeit ein Vacuum entstand. Dann wurde mittels isolierter Platindrähte der Strom einer Holtz'schen Maschine durchgeleitet, der in der verdünnten Luft im leeren Teile der Röhre als purpurfarbiges Büschel erschien. Jeder durchschlagende Funke bewirkte, dass sich der Platindraht mit Gasbläschen bedeckte, die beim Aufsteigen in der Flüssigkeit den Eindruck hervorriefen, als ob diese ins Sieden gerieth. Wurde dann die Lösung längere Zeit abgekühlt und von neuem dem Versuche ausgesetzt, so veranlasste der Funke kein Aufkochen mehr, sondern es stiegen die Blasen vom Platindraht ganz so in die Höhe, wie bei der Elektrolyse durch den galvanischen Strom. (*Naturw. Rdsch.* II, 496; 1887.)

**Die Darstellung des Fluors.** In den *Annales de chimie et de physique* (6) XII, 472—537 (Dezbr. 1887) veröffentlicht H. MOISSAN die Versuche, welche ihn schliesslich zur Isolierung des Fluors führten und das Studium seiner Eigenschaften gestatteten. Der Verfasser suchte zunächst ohne Erfolg eine Anzahl von Verbindungen des Fluors mit Metalloiden zu zersetzen, und zwar einmal durch die Einwirkung des elektrischen Funkens, sodann durch die Wirkung von erhitztem Platinschwamm. Besonders beständig war das Siliciumfluorid, welches weder auf die eine noch auf die andere Weise zersetzt werden konnte, was sich auch aus seiner bedeutenden Bildungswärme (+134,7 Cal. nach den Beobachtungen von GUNTZ, *Ann. d. chim. et de phys.* (3) XLVII, 24) vermuten liess. Auch die Verbindungen des Fluors mit dem Phosphor, von denen nach den Untersuchungen des Verfassers zwei existieren ( $PF_3$  und  $PF_5$ ), ergaben kein Resultat. Zwar wird durch die Einwirkung eines Induktionsfunkens von 4 cm Länge wie auch durch stark erlitzten Platinschwamm das Phosphortrifluorid zersetzt; allein das abgeschiedene Fluor vereinigt sich sofort mit unzersetztem Trifluorid zu Phosphorpentafluorid, welches dann schwächeren elektrischen Einwirkungen widersteht, durch stärkere Funken (von 2 dm Länge) aber in  $PF_3$  und  $F_2$  zerlegt wird, sodass man nur ein stark verdünntes Fluor erhält. Dasselbe ist der Fall, wenn man Phosphorpentafluorid über stark erhitzten Platinschwamm leitet. Das Borfluorid wird durch erhitzten Platinschwamm nicht zersetzt. Die besten Resultate lassen sich in dieser Beziehung noch mit dem Arsenfluorid,  $AsF_3$ , erhalten,

einer Flüssigkeit von ausserordentlich giftiger Wirkung, die bei  $63^\circ$  siedet. Wird diese Verbindung im Eudiometer durch Wasserdampf in den gasförmigen Zustand übergeführt und der Einwirkung des Induktionsfunken ausgesetzt, so zersetzt sie sich. Der grösste Teil des entstehenden Fluors kann aber nicht im isolierten Zustande erhalten werden, weil er sofort zersetzend auf das Glas einwirkt und  $SiFl_4$  bildet. Das flüssige Arsenfluorid wird durch einen kräftigen galvanischen Strom — 70 Bunsen'sche Elemente — unter starkem Geräusch zersetzt, wenn man die Flüssigkeit durch Fluorwasserstoff-Fluorkalium (*HFl*, *KFl*) leitungsfähig gemacht hat. War das Arsenfluorid durch Rektifikation ganz rein dargestellt, so entweicht das bei der Elektrolyse entstehende Gas nicht aus der Flüssigkeit, sondern es bildet sich wahrscheinlich ein Arsenpentafluorid. Ist dagegen das Arsenfluorid nicht ganz rein, so entweicht bei der Elektrolyse Sauerstoff, wahrscheinlich infolge der Zersetzung eines Oxyfluorid (die Existenz eines solchen ist vom Verfasser für den Phosphor nachgewiesen).

Der Verfasser kam deshalb wieder darauf zurück, die elektrolytische Zerlegung der Fluorwasserstoffsäure zu versuchen, die er nach dem Vorgange von Fremy durch Zersetzen des Fluorwasserstoff-Fluorkaliums in der Hitze darstellte. Schon Gore hatte sich im Jahre 1869 mit dieser Frage beschäftigt, aber ohne Erfolg; die früheren Versuche, die Flusssäure zu zerlegen, konnten schon deshalb zu keinem Resultate führen, weil man es vor Fremy niemals mit der wasserfreien Säure zu thun hatte, und weil das Wasser sofort durch das etwa abgeschiedene Fluor unter Entwicklung von Sauerstoff zerlegt wird. Die reine Säure leitet aber, wie Faraday, Gore u. a. beobachteten, die Elektrizität nicht. Deshalb handelte es sich zunächst darum, ein Mittel zu finden, um die Leitungsfähigkeit zu vergrössern. Dies bot sich in dem bereits beim Arsenfluorid angewandten Fluorwasserstoff-Fluorkalium, welches



sich in der flüssigen, bei  $+19,5^\circ$  siedenden Flusssäure leicht auflöst. Der Apparat, dessen sich der Verfasser schliesslich bediente, bestand aus einer zweimal rechtwinklig gebogenen Platinröhre von  $1\frac{1}{2}$  cm Durchmesser, deren Schenkel 9,5 cm hoch waren. Der Verschluss eines jeden Schenkels war dadurch hergestellt, dass ein Flussspatpfropfen dicht in einen Hohlzylinder aus Platinblech eingefügt und dieser mittels eines Schraubengewindes in den Schenkel eingeschraubt war. Zur grösseren Dichtung war der ganze Pfropfen mit Gummilack überzogen.

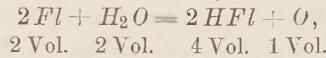
Durch jeden Pfropfen ging ein Platindraht von 2 mm Stärke, der 3 mm über dem Boden der Röhre endigte. Unterhalb jedes Pfropfens endlich waren zwei engere Platinröhren seitlich angefügt, die bei der Elektrolyse entstehenden Gase fortzuleiten. Der ganze Apparat befand sich in flüssigem Methylchlorid, welches durch einen Luftstrom schnell vom Verdampfen gebracht werden konnte und so eine Temperaturemniedrigung auf  $-50^\circ$  hervorrief. Zur Zersetzung reichte der Strom von 20 grossen Bunsen'schen Elementen aus; eine grössere Zahl von Elementen ist nachteilig, weil durch dieselben nur eine Temperatursteigerung hervorgebracht wird. Am negativen Pole entwickelte sich Wasserstoff, am positiven das Fluor.

Das so erhaltene Fluor ist ein farbloses Gas von eigentümlichem, durchdringendem, an den der unterchlorigen Säure erinnerndem Geruch, welches die Schleimhäute des Halses und der Augen stark reizt. Schwefel schmilzt erst und entzündet sich alsdann in dem Gase, ebenso Selen. Tellur, Arsen, Antimon vereinigen sich mit dem Gase unter Erglühen. Phosphor entzündet sich im Fluor und verbrennt teilweise zu  $PF_5$ , teilweise zu  $PF_3$ ; ein Teil verwandelt sich wahrscheinlich auch in  $POFl_3$ . Ein Stückchen Jod vereinigt sich mit dem Gase unter Bildung einer schwach leuchtenden Flamme; in einer Atmosphäre von Joddampf verbrennt das Fluor mit Flamme. Bromdampf verliert durch

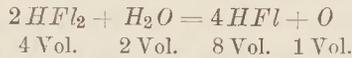
Fluor sofort seine dunkelbraune Färbung und die Vereinigung erfolgt bisweilen unter Explosion. — Auf Kohlenstoff scheint das Fluor ohne Einwirkung zu sein. — Krystallisiertes Silicium wird auch in der Kälte in dem Gase glühend und verbrennt mit lebhaftem Glanze, bisweilen unter Funkensprühen zu  $SiFl_4$ . — Diamantförmiges Bor verbrennt ebenfalls im Fluor, aber schwieriger als Silicium. Die im Bor enthaltene geringe Menge von Kohlenstoff und Aluminium verhindert die Vereinigung; wird das krystallisierte Bor indess pulverisiert, so erglüht es im Fluor, und das Produkt der Vereinigung raucht stark an der Luft. — Mit dem Wasserstoff vereinigt sich das Fluor bereits im Dunkeln und bei niedriger Temperatur unter heftiger Detonation. Diese Vereinigung erfolgt z. B., wenn während der Elektrolyse der Flusssäure der Strom umgekehrt wird. Wird ein Strom Wasserstoff in Fluor geleitet, so entzündet sich der Wasserstoff. — Metalle werden meist weniger heftig angegriffen, weil die entstehenden Fluoride nicht flüchtig sind und das Metall mit einer die weitere Einwirkung verhindernden Schicht überziehen. Kalium und Natrium erglühen im Fluor unter Bildung der entsprechenden Fluoride. Ebenso verhält sich Calcium. Magnesium und Aluminium werden zwar ebenfalls glühend, die Einwirkung ist aber wenig energisch. Wird das Aluminium vorher bis zur Dunkelrotglut erhitzt, so erfolgt die Vereinigung unter lebhaftem Erglühen. Der Rückstand besteht alsdann aus kleinen geschmolzenen Metallkügelchen, die mit einer durchsichtigen Schicht von Aluminiumfluorid überzogen sind. — Pulverförmiges Eisen und Mangan verbrennen unter Funkensprühen, wenn die Metalle vorher gelinde erwärmt werden. — Blei wird in der Kälte in Bleifluorid verwandelt, ebenso Zinn. — Quecksilber absorbiert das Fluor vollständig bei gewöhnlicher Temperatur unter Bildung von hellgelbem Hydrargyrofluorid, welches beim Erhitzen in Glasgefäßen unter Abscheidung von Quecksilber und Bildung von Siliciumfluorid zerfällt. — Gelinde erwärmtes Silber bedeckt sich mit einer Schicht feinen (in Wasser leicht löslichen) Fluorids. — Gold und Platin werden in der Kälte nicht angegriffen. Beim Erhitzen auf  $300\text{--}400^\circ$  bedeckt sich das Platin mit einer kastanienbraun gefärbten Schicht. Diese Verbindung zerfällt in der Rotglühhitze unter Zurücklassung von Platinschwamm und Entweichen von Fluor. Ähnlich verhält sich das Gold. — Festes Kaliumjodid wird durch Fluor sofort unter Abscheidung von Jod geschwärzt; Blei- und Quecksilberjodid werden unter Erglühen zersetzt, indem reichliche Mengen von Joddämpfen entweichen, welche sich mit überschüssigem Fluor sogleich zu Jodfluorid vereinigen. Gleichzeitig entsteht weisses Bleifluorid, resp. gelbes Quecksilberfluorid. — Geschmolzenes Kaliumchlorid wird in der Kälte unter Entwicklung von Chlor zersetzt, welches sich schon durch den Geruch zu erkennen giebt. — Trocken es Chlorsilber wird durch das Fluor gelb gefärbt. — Kaliumbromid wird durch das Fluor unter Entwicklung von Bromdämpfen zersetzt. — Phosphorpentachlorid zersetzt sich unter Flammerscheinung und Bildung von dichten weissen Nebeln. — Ein Jodoformkrystall entzündet sich im Gase unter Entwicklung von Joddämpfen. — Trocken es Glas wird stark angegriffen. — Schwefelkohlenstoff entzündet sich in dem Gase. — Alle wasserstoffhaltigen organischen Verbindungen werden heftig angegriffen. Holz wird sofort verkohlt und entzündet sich; ebenso werden Alkohol, Äther, Benzin, Terpentinöl und Petroleum entzündet. — Wasser wird in der Kälte unter Bildung von Flusssäure und Entwicklung von Ozon zersetzt.

Am Schluss seiner Abhandlung teilt der Verfasser die Versuche mit, welche er unternahm, um nachzuweisen, dass das bei der Elektrolyse der Flusssäure am positiven Pole entstehende Gas in der That das Element und nicht eine Verbindung, etwa ein Perfluorid des Wasserstoffs, oder ein Gemisch von Flusssäure mit Ozon ist, welches letztere alsdann die beobachteten energischen Einwirkungen erklären würde. Er stellte direkt ein Gemisch von Ozon und Flusssäuredämpfen dar und zeigte, dass dasselbe unter den Versuchsbedingungen keine der oben beschriebenen Reaktionen giebt. Ausserdem wird bei der Elektrolyse selbst dann Ozon entwickelt, wenn die Säure Wasser enthält. Auch dann zeigte das am positiven Pol entstehende Gas andere Eigenschaften als das Fluor. Dass aber das Gas kein Wasserstoffperfluorid sein kann, zeigte der Verfasser dadurch,

dass er dasselbe in Wasser leitete und die Menge der entstandenen Flusssäure bestimmte. Er fand, dass die Zersetzung nach der Gleichung erfolgt:



während im andern Falle die Zersetzung nach der Gleichung



vor sich gehen würde, sodass die doppelte Menge  $HFl$  hätte entstehen müssen. Ferner wurde der Nachweis, dass Fluor am + Pole entstand, dadurch geliefert, dass der Verfasser das Gas über rotglühendes Eisen leitete, von welchem es vollständig absorbiert wurde, während sich die Verbindung  $HFl_2$  unter Wasserstoffentwicklung hätte zersetzen müssen. *Bgr.*

### 3. Geschichte.

**Die Pendeluhr Galilei's.** Durch einen Aufsatz von W. C. L. v. SCHAÏK in der *Ztschr. f. Instrumentenk.* VII, 350 und 428 (1887) ist die Aufmerksamkeit wieder einmal darauf gelenkt worden, dass Galilei lange vor Huygens eine völlig brauchbare Pendeluhr erfunden hat. Galilei diktierte 1641, bereits erblindet, seinem Sohne Vincenzo und

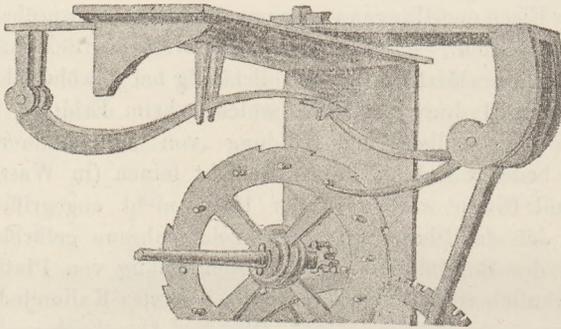


Fig. 1.

seinem Schüler Viviani die Beschreibung und die Zeichnung des Instrumentes; nach seinem Tode wurde von Vincenzo 1649 ein (nicht ganz vollendetes) Modell angefertigt, das nicht erhalten geblieben ist. Eine Nachbildung der in Florenz vorhandenen Originalzeichnung findet sich bereits in den *Opere di Galilei*, ed. Allèri, vol. XV und u. a. auch in Pfaundler's Lehrbuch (9) I. Eine zweite, vom Verfasser reproduzierte Abbildung stammt aus den Mss. Hugeniana zu Leyden; sie ist

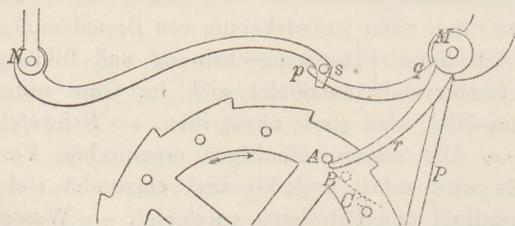


Fig. 2.

1660 an Huygens gelangt und zuerst 1814 von van Swinden bekannt gemacht worden. Der Verf. vergleicht jene mit dieser und bemerkt, dass beide von verschiedenen Standpunkten aufgenommen sind, deren Projektionslinien einen Winkel von  $40^\circ$  miteinander bilden; er glaubt daraus den Schluss ziehen zu sollen, dass ein wirkliches Modell von Galilei's Pendeluhr existiert hat. Der Verfasser giebt auch die richtige Deutung von den einzelnen Teilen des Echappements, worüber van Swinden noch im Unklaren sein durfte, worüber aber nach der Veröffentlichung in den *Opere* kaum noch ein Zweifel bestehen konnte. Von den beistehenden Figuren giebt die erste den oberen Teil der in Florenz befindlichen Zeichnung, die zweite eine schematische Darstellung des Echappements; in dieser bezeichnet  $P$  die Pendelstange,  $M$  deren Achse,  $r$  einen Hebel, der durch den Stift  $A$  des Zahnrades bis  $B$  mitgeführt wird und auf das Pendel einen kleinen Anstoss überträgt;  $qs$  einen zweiten Hebel, durch dessen Vermittlung nach dem Loslassen des Hebels  $r$  eine Hemmung  $s$  sich vor den nächsten Zahn des Zahnrades schiebt. Der Teil  $Nq$  ist demzufolge als eine Verbindung zweier Hebel aufzufassen, von denen der eine um  $N$ , der andere um  $M$  drehbar ist. Die Schnur mit dem Gewicht ist auf die Achse eines tiefer gelegenen Rades aufgewickelt zu denken. Die Hemmung

ist nach dem Urteil des Verfassers eine fast vollkommene und steht selbst den heut gebräuchlichen Echappements wenig nach; in der That hat sie vor dem Huygens'schen Spindel-Echappement den Vorzug einer fast ganz freien Pendelbewegung und einer geringen Schwingungsamplitude; sie enthält mit einem Wort die Grundidee des Graham'schen Ankers, der erst ein Jahrhundert später in Anwendung kam. Schon 1854 ist von Veladini in Florenz das Echappement Galilei's reconstruiert worden, neuerdings haben Meucci und Porcellotti eine mit dieser Hemmung versehene Pendeluhr hergestellt, welche sich in Florenz befindet und regelmässig geht.

Durch den genannten Aufsatz ist E. GERLAND veranlasst worden, in derselben Zeitschrift (*VIII*, 77; 1888) auf die von ihm bereits 1878 (*Wied. Ann. IV*, 585) veröffentlichten Forschungen zur Geschichte der Erfindung der Pendeluhr zurückzukommen. Er hebt besonders hervor, dass Huygens seine Erfindung (1656) gemacht hat, ohne etwas von dem Entwurf Galilei's zu wissen, und dass er die Priorität Galilei's späterhin ausdrücklich anerkannt hat. Während aber Galilei's Apparat lange unbekannt blieb und nie Verwendung gefunden hat, fand der von Huygens sehr bald allgemeinen Anklang und Anwendung. Huygens benutzte ein Fadenpendel, das sich mit Leichtigkeit an den damals üblichen Uhren anbringen liess, was mit Galilei's Konstruktion nicht der Fall war. Den Schluss VAN SCHAÏCK's, dass ein wirkliches Modell existiert habe, hält GERLAND nicht für zutreffend, er sieht vielmehr in der Leydener Zeichnung nur eine rohe Skizze der Florentiner Originalzeichnung, welche nur deshalb in veränderter Lage wiedergegeben wurde, damit die Teile, auf die es besonders ankam, gut gesehen werden konnten.

Ein neuerer Versuch von Wolf, die auch in seiner *Geschichte der Astronomie* (1876) erhobenen Prioritäts-Ansprüche zu Gunsten des Toggenburgers Joost Byrgi zu stützen, erscheint nach GERLAND'S Ausführungen darüber als unhaltbar.

**Joachim Jungius und die Atomistik.** Um dieselbe Zeit, in welcher Galilei Unsterbliches schuf, wirkte im Norden Deutschlands ein Mann, den E. WOHLWILL in einer kürzlich erschienenen Monographie<sup>1)</sup> als unabhängigen und produktiven Denker zu Ehren bringt. J. Jungius (1587—1657) war ein entschiedener Bekämpfer der aristotelischen Lehre von der ‚Actupotentialität‘ und den ‚substantialen Formen‘, ein Verkünder des Erfahrungsprinzips und der atomistischen Naturerklärung. Er hat eine deutliche Idee von der Gesetzmässigkeit in der Natur; was er als ‚Axiom‘ und als ‚Hypothese aller Hypothesen‘ hinstellt, ist im Grunde nichts als die Voraussetzung der Begreiflichkeit der Welt, nach heutiger Bezeichnungsweise. Teils aus den 1662 veröffentlichten *Doxoscopiae physicae Minores*, teils aus zwei ‚Disputationes‘ des Hamburgischen Gymnasiums von 1642, teils aus den MSS. der Hamburgischen Stadtbibliothek wird der Nachweis geführt, dass Jungius bereits die Gedanken entwickelt hat, welche man in der Geschichte der Chemie an Boyle anzuknüpfen gewöhnt ist. Nicht Transformation, sondern ‚Syndiakrise‘ d. h. Mischung und Entmischung und ‚Metasynkrisis‘ d. h. Umlagerung der kleinsten Teile sind ihm für das Verständnis der chemischen Vorgänge maassgebend (Abscheidung von Kupfer aus Kupfervitriol durch Eisen, Verwandlung von Wein in Essig). Er verhält sich skeptisch gegen die künstliche Herstellung des Goldes, widerlegt die Verwandelbarkeit von Wasser in Luft, bestreitet die Zusammensetzung der Körper aus Salz, Schwefel und Merkur, und gelangt zu dem exakten Begriff des chemischen Elementes: „*Es folgt nicht, dass alles, was bisher nicht zerlegt werden konnte, nicht zusammengesetzt ist, . . . wenn aber etwas nicht zerlegt werden kann, von dem man nicht weiss, dass es zusammengesetzt ist, so kann dies für einen einfachen oder völlig homogenen Körper gehalten werden.*“ Ja eine Vorstellung von dem, was

<sup>1)</sup> Joachim Jungius und die Erneuerung atomistischer Lehren im 17. Jahrhundert. Ein Beitrag zur Geschichte der Naturwissenschaft in Hamburg. Von Dr. Emil Wohlwill. Sonder-Abdruck aus Band X. der ‚Abhandlungen aus dem Gebiet der Naturwissenschaften‘ (Festschrift zur Feier des 50jährigen Bestehens des Naturwissenschaftlichen Vereins in Hamburg). Hamburg, 1887.

heut ‚Wahlverwandtschaft‘ heisst, und von dem Wirken einer Molekularkraft (cohaesivitas permistorum), lässt sich in mehreren Aussprüchen erkennen. Dass diese Ansichten, welche durch die 28 Jahre umfassende Lehrthätigkeit Jungius' am akademischen Gymnasium zu Hamburg weite Verbreitung gefunden haben, auf die Entwicklung der Wissenschaft von Einfluss gewesen sind, wird sich nicht in Abrede stellen lassen. — Bemerkenswert ist endlich noch, dass auch der Keim der Phlogistontheorie sich bei Jungius findet, und dass der Ursprung dieser Lehre auf eine Stelle in Galilei's ‚Saggiatore‘ (*Opere IV, 313—14*) zurückgeführt werden kann; dort ist die Möglichkeit des Schwererwerdens bei gleichzeitigem Substanzverlust durch Berufung auf das negative Gewicht leichterer Körper in einem spezifisch schwereren Medium erläutert.

#### 4. Unterricht und Methode.

**Das Parallelogramm der Bewegungen und der Kräfte.** Im *Programm des Wettiner Gymnasiums zu Dresden 1887* teilt R. HEGER zunächst die das Thema betreffenden Stellen aus den Schriften Stevin's, Galilei's, Roberval's und Varignon's mit, er stellt dann diesen die Darstellung des Satzes in einigen neueren Lehrbüchern (Resal, Helm u. a.) gegenüber und setzt seine Einwendungen dagegen auseinander. Seine eigene Ansicht fasst er in folgenden vier Sätzen zusammen: 1) Die Zusammensetzung der Bewegungen im physikalischen Sinne ist ein unbeweisbarer Grundsatz der Mechanik. 2) Der Unterschied zwischen der geometrischen Zusammensetzung und der physikalischen ist bei jedem systematischen Lehrgange der Mechanik deutlich hervorzuheben. 3) In Übereinstimmung mit der geschichtlichen Entwicklung der Mechanik ist die physikalische Zusammensetzung durch die Besprechung der geometrischen vorzubereiten. 4) Die Zusammensetzung von Bewegungen, die in dieselbe Gerade fallen, bedarf einer kinematischen Vorbereitung nicht; die Forderung, zur Erklärung der Naturerscheinungen immer zunächst die einfachsten, nächstliegenden Gedanken zu verwenden, genügt, um die Setzung dieses Grundsatzes zu vermitteln.

Gegen diese allgemeinen Sätze lässt sich gewiss nichts sagen, es kommt darauf an, wie sie angewendet werden. Um dies zu zeigen, giebt der Verfasser im zweiten Teile eine Einleitung in die Mechanik. Er beginnt mit der Erörterung der gleichförmigen und der ungleichförmigen Bewegung (der Begriff der Beschleunigung wird hier vermieden); dann heisst es: „Wenn ein Körper (Massenpunkt) der bisher ruhte, plötzlich von einer Kraft beeinflusst wird, so kommt er in Bewegung“. Aus der Beharrung und einer constanten Kraft wird dann das Schema für eine gleichförmig beschleunigte Bewegung abgeleitet, erst dann wird die Beschleunigung definiert. Dieser Gang giebt, meines Erachtens, weder von den grundlegenden Begriffen noch von der Methode physikalischen Erkennens dem Lernenden eine richtige Vorstellung. Die Beschleunigung ist zunächst ein rein geometrischer Begriff. Zu den Begriffen Kraft und Masse und zu der Beziehung Kraft gleich Masse mal Beschleunigung gelangt man nur durch ganz bestimmte Beobachtungen. Man wird nicht bis auf's kleinste den Wegen Galilei's und Newton's zu folgen haben — im Gegenteil, es lässt sich heute Manches einfacher und klarer darstellen — aber die Reihe der That-sachen, auf Grund derer jene Forscher und ihre Zeitgenossen die Dynamik geschaffen haben, muss auch heute noch dem Lernenden klar vorgeführt werden, denn aus ihnen allein lässt sich die Berechtigung zu den obigen Definitionen herleiten.

Im letzten Abschnitt wird nach den oben mitgeteilten Grundsätzen die Zusammen- setzung und Zerlegung der Kräfte in, wie mir scheint, durchaus einwurfsfreier Weise behandelt. Methodisch würde ich es jedoch für zweckmässiger halten, sofort nach Auf- stellung des Grundsatzes einige wichtige Beispiele, besonders die Wurfbewegung, zu erörtern und dann erst zu der allgemeinen Darstellung einer krummlinigen Bewegung durch ihre Projektionen überzugehen. Denn nur aus der Übereinstimmung mit der Erfahrung ergibt sich, wie ja auch der Verfasser betont, die Richtigkeit des Satzes. A. V.

**Die Apparate zur Demonstration der gleichmässig veränderlichen Bewegung.**  
In einer Programm-Abhandlung (*Pr. Nr. 326, Bielefeld 1887*) hat TH. BERTRAM die Apparate zusammengestellt, welche in der neueren Litteratur sowohl zur Vorführung des freien Falls als auch zu derjenigen des verzögerten Falles angegeben sind. Abhandlungen dieser Art sind recht wertvoll, da eine Orientierung über die Gesamtheit der vorhandenen Lehrmittel der Auswahl der geeignetsten unter ihnen vorausgehen muss. Der Verfasser hat mit vollem Verständnis für die Bedürfnisse des Unterrichts den Stoff gesichtet; er hebt namentlich die Wichtigkeit der Atwood'schen Fallmaschine hervor, lehnt aber mit Recht Complizierungen wie die elektrische Auslösung des fallenden Gewichts ab; selbst Friktionsräder für die Axe der Berücksichtigung des Trägheitsmomentes, eine instruktive Erweiterung der Grundversuche erblickt. Auch macht er auf Marianini's Vorschlag, die bewegende Kraft durch Abheben eines Übergewichts auf der steigenden Seite zu vergrössern, aufmerksam, sowie auf Pfaundler's sinnreiche Methode [Lehrbuch (9) I, 170 ff.], die bewegende Kraft durch Benutzung einer kleinen Mariotte'schen Flasche oder einer dünnen biegsamen Kette continuierlich zu ändern. Die Notwendigkeit eines genauen Zeitmessers für die Unterrichtssammlung tritt auch hier wieder hervor; der Verfasser empfiehlt eine Terzien-Uhr oder einen Vibrations-Chronographen nach v. Beetz. P.

**Zum Unterricht in der Wärmelehre.** Eine Abhandlung von DUDA ‚Über die durch Erwärmung bewirkte Ausdehnung der Körper‘ (*Programm des Gymnasiums zu Brieg 1887*) zeigt von neuem, wie lebhaft das Bedürfnis nach einer Reform des Unterrichts in der Wärmelehre sich fühlbar macht, und andererseits wie schwer es für einen ‚denkenden Kopf‘ ist, der Versuchung einer theoretisch deduktiven Darstellung des Gegenstandes zu widerstehen. Der Verfasser erhebt mit Recht Einspruch dagegen, dass der Satz ‚feste und gasförmige Körper dehnen sich durch Erwärmung gleichmässig aus‘, als Erfahrungssatz gelehrt werde, solange nicht der Begriff der ‚gleichmässigen Wärmezunahme‘ festgestellt sei. Er zieht es daher vor, die Wärmelehre (in Unter-Sekunda) mit Auseinandersetzungen über Schwingungen der Äthermoleküle, Arbeit und lebendige Kraft, Verwandlung von Arbeit in Wärme und umgekehrt zu beginnen. Aus dem Verhalten der Äthermoleküle deduziert er den Satz, dass alle Körper durch Erwärmung ausgedehnt werden, sowie die Sätze über Änderung des Aggregatzustandes; das Gay-Lussac'sche Gesetz, endlich das vorhin erwähnte Ausdehnungsgesetz für feste Körper. Die beiden letzten Folgerungen werden nur möglich durch die ‚Annahme‘, dass die Erhöhung der Schwingungsenergie und die geleistete Ausdehnungsarbeit bei jeder Wärmezuführung proportional sind. Auch die Richmann'sche Regel wird aus der Voraussetzung, dass die Temperatur der lebendigen Kraft proportional sei, hergeleitet und als durch die Erfahrung bestätigt angesehen. In der Diskussion der Angaben des Quecksilberthermometers stimmt der Verf. in vieler Hinsicht mit den Ausführungen von E. Mach (*d. Zeitschr. I, 3*) überein; die hierauf bezüglichen experimentellen Erläuterungen (S. 16—18) sind der Beachtung wert, auch wenn einer mehr an das Erfahrungsmaterial anknüpfenden Darstellungsweise der Vorzug gegeben wird. Für eine solche Darstellungsweise, welche der unmittelbaren Bearbeitung des Wirklichen zugewendet ist, werden die erwähnten Ausführungen Mach's in erster Reihe in Betracht zu ziehen sein. P.

### 5. Technik und mechanische Praxis.

**Isolationsmittel gegen strahlende Wärme.** S. SCHEINER teilt (*Ztschr. f. Instrumentenk. VII, 271; 1887*) Untersuchungen mit, bei denen die Strahlenwirkung einer dunkeln Wärmequelle, von circa 300° durch verschiedenartige Platten hindurch mittels einer Thermosäule gemessen wurde. Da die Dicke der Platten so gewählt war, dass eine direkte Durchstrahlung ausser Betracht kam, so konnte angenommen werden, dass die auffallenden Strahlen, soweit sie nicht an der Oberfläche reflektiert werden, im Innern vollständige

Absorption erleiden und dass von der Rückseite eine neue, durchaus selbständige Wärmestrahlung nach der Thermosäule hin beginnt, deren Intensität je nach Oberflächenbeschaffenheit und Leitungsvermögen verschieden befunden wurde. Blanke Metalle zeigten sich hierbei schlechten Wärmeleitern bedeutend überlegen und können demzufolge, bei ihrer hohen Athermansie, bereits in sehr geringer Dicke erfolgreich verwendet werden. Hinter einem Stanniolblatt von 0,02 mm Dicke zeigte die Thermosäule innerhalb 70<sup>min</sup> eine Temperaturzunahme um 0,72°, hinter 5,6 mm starke Mahagoniholz eine solche von 6,30°, hiermit war in beiden Fällen der stationäre Zustand erreicht. (Allerdings scheint der Einfluss des Leitungsvermögens ein sekundärer, durch die Versuchsbedingungen begünstigter gewesen zu sein, insofern die zwischengeschaltete Platte die Wärmequelle und die Thermosäule an Grösse um ein vielfaches übertraf.) Die einfache Verbindung eines Metalles mit einem Nichtleiter — oder mit einem Körper von hohem Strahlungsbez. Absorptionsvermögen — setzt seine Isolationsfähigkeit herab; schon eine geringe Fettschicht übt diese Wirkung aus. Hingegen erhält man einen vorzüglichen Schutz gegen dunkle Wärmestrahlen durch Combination blanker Metallbleche mit einer schlecht leitenden Zwischenschicht von Holz oder besser von cirkulierendem Wasser oder Luft. Gegen leuchtende Wärmestrahlen wird die Zwischenschaltung einer Alaunzelle und einer Schicht fliessenden Wassers empfohlen.

E—n.

**Reinigung von Quecksilber.** Von C. BOHN (*Ztschr. f. Instrumentenk.* 1887, S. 389) wird folgende Einrichtung als einfach und billig empfohlen. Man lässt sich ein eisernes Gasleitungsrohr von 1,7 m Länge so umbiegen, dass zwei parallele Schenkel von etwa 0,9 und 0,78 m Länge entstehen; dies Rohr wird erwärmt und durch Hindurchblasen trockener Luft von Feuchtigkeit befreit, dann mit Quecksilber völlig gefüllt und mit den Enden in zwei Gefässe ( $\frac{1}{4}$  Liter-Gläser) mit Quecksilber getaucht; in dem oberen Teil des U-Rohres entsteht eine ziemlich gute Luftleere, namentlich, wenn man zuvor das Quecksilber durch einen blanken Eisendraht von Luftblasen befreit hat. Das verwendete Quecksilber muss durch Filtrieren von Staub und durch Stehenlassen bei 120—140° von Feuchtigkeit, Fett u. s. w. gereinigt sein. Das Gefäss (A), in welches das kürzere Rohr taucht, wird von Anfang an mit möglichst reinem Quecksilber gefüllt, und gegen den längeren Schenkel eine Bunsenflamme, etwa 7 cm unter der ungefähren Oberfläche des Quecksilbers, gerichtet; dieses destilliert über und vermehrt den Inhalt des Gefässes A, der solange in das Gefäss (B) zu nochmaliger Destillation zurückgefüllt wird, bis etwa die 6—10fache Menge von der anfänglich im kürzeren Schenkel enthaltenen überdestilliert ist; von da ab kann man das in A sich sammelnde Quecksilber als ganz rein ansehen. Der Verfasser hat den Apparat bei passender Regulierung der Flamme oft 15 Stunden lang sich selbst überlassen.

Um Quecksilber von mechanischen Verunreinigungen zu trennen, benutzt der Verfasser das aus Bunsen's Laboratorium bekannte Verfahren: Ein aus Schreibpapier gebildetes Filter wird mit feinen Löchern versehen, am besten mit dreieckigen Öffnungen, wie sie die Spitze eines Federmessers erzeugt, und zwar sowohl von aussen nach innen, als umgekehrt, und sowohl parallel wie senkrecht zur Faltung des Papiers; das Filtrieren kann überdies durch Verbindung mit einer Luftverdünnungsvorrichtung beschleunigt werden. Noch bequemer findet es der Verfasser, ein etwa 1 m langes Glasrohr von Bleistiftstärke zu nehmen, welches an dem einen Ende mit einem Trichter, an dem andern mit einem verdickten Rande oder mit einem wellig zusammengestauchten Rohrstück versehen ist; dieses Ende wird mit einem Stück Leinwand oder sämisch Leder fest überbunden, das Ganze darauf senkrecht gestellt und mit Quecksilber gefüllt, welches sich mit mehr als Atmosphärendruck durch die Poren hindurchpresst. — Als Untergestelle beim Arbeiten mit Quecksilber bedient sich der Verfasser mit Vorteil rechteckiger Bratpfannen aus Eisen-schwarzblech mit hohem Rande und Ausgussdille.

## Neu erschienene Bücher und Schriften.

**Die Lehre von der Energie**, historisch-kritisch entwickelt, nebst Beiträgen zu einer allgemeinen Energetik. Von Dr. Georg Helm, Leipzig 1887 bei A. Felix, 104 Seiten. M. 3,00.

Der Verfasser findet die Quellen der Energie-Ideen in der theoretischen Mechanik, der Physik, der Philosophie, der Technik und selbst der Volkswirtschaft. Der zweite Teil behandelt die Begründung des Energiegesetzes durch Mayer, Joule, Helmholtz, sowie die weitere Ausbildung der Energie-Ideen durch Clausius, Thomson, Rankine. „Unter den Männern, in denen die neuen Gedanken sich zum Gesetze befestigten, ist zweifellos Robert Mayer der erste, der sie litterarisch vertreten hat. Auch die späteren Schriften dieses weitblickenden Forschers beweisen, wie er sich der Tragweite der neuen Erkenntnis für das ganze Gebiet der Natur vollbewusst war.“ Bei den Joule'schen Versuchen wird hervorgehoben, dass sie allein das Energiegesetz nicht beweisen können, sondern nur den Wert bestätigender Experimente haben. Alle deduktiven Ableitungen des Gesetzes werden als „Beweise“ vom Verfasser verworfen, besonders wird diejenige aus der mechanischen Naturanschauung ein Scheinbeweis genannt, weil „die mechanischen Hypothesen von vornherein so eingerichtet werden, dass das Energiegesetz gilt“. Den dritten Teil der Schrift (Beiträge zu einer allgemeinen Energetik) hält Referent für ganz besonders beachtenswert. Der Verfasser gelangt hier zur Aufstellung von zwei Gesetzen, die für jede Energieform gelten und die man die Verallgemeinerungen des zweiten thermodynamischen Hauptsatzes und des Entropie-Gesetzes nennen könnte. Dieselben lauten: 1) Jede Energieform hat das Bestreben, von Stellen, in welchen sie in höherer Intensität vorhanden ist, zu Stellen von niedriger Intensität überzugehen. 2) Bei diesem Übergang wird soviel Energie anderer Form erzeugt, beim umgekehrten Übergang verbraucht, dass die ‚Quantitätsfunktion‘ der übergegangenen Energieform ihren Gesamtbetrag nicht ändert. Wenn die hierin enthaltenen Gesichtspunkte auch nicht absolut neu sind (vergl. Mach, Gesch. u. Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit S. 54), so sind sie doch bisher nicht mit so „prinzipieller Entschiedenheit an den Tag getreten“. Ausserdem bietet die Schrift noch so viele zum Teil weit ausgreifende Gedanken, dass ihr eine für die Energetik ganz hervorragende und prinzipielle Bedeutung zuerkannt werden muss. *R. Wronsky.*

**Das Prinzip der Erhaltung der Energie** von Max Planck, Leipzig, Teubner 1887. XII u. 247 S. M. 6,00.

Diese mit dem zweiten Preise der Beneke-Stiftung gekrönte Schrift behandelt das Thema nach derselben Disposition, wie die vorige, verlässt aber bei Aufsuchung der Energiequellen, nach ausgesprochener Absicht, nur selten das physikalische Gebiet, geht auch im allgemeinen über das Jahr 1860 nicht hinaus. Die Abwägung der einzelnen bei der Begründung des Prinzips beteiligten Forscher, weicht von der Helm'schen kaum ab. Der zweite Teil bringt ausser einigen neuen Wendungen des Gesetzes auch ein auf alle Energieformen bezügliches Prinzip, das der Übereinanderlagerung (Superposition) der Energien. „Die Energie eines materiellen Systems ist die Summe der einzelnen in dem System vorhandenen von einander unabhängigen Energiearten, und jede äussere Wirkung verändert nur gerade die Energieart, die ihr gerade entspricht. Über dies Prinzip kommen wir deshalb nie hinweg, wir mögen es ausdrücklich betonen oder stillschweigend benutzen, dasselbe liegt im Trägheitsgesetz ebenso gut enthalten, wie im Satz vom Parallelogramm der Kräfte und dem der Wirkung und Gegenwirkung.“ Der hierin liegende Gesichtspunkt ist in der That geeignet, durch Zerfällung der Gleichung der Gesamtenergie in Teilgleichungen die Lösung vieler Probleme herbeizuführen, wie vom Verfasser auf den Gebieten der mechanischen, thermischen und chemischen, elektrischen und magnetischen Energie ausföhrlich gezeigt wird. Auch dieses Buch wird der Leser nicht aus der Hand legen, ohne Anregung und Belehrung empfangen zu haben. *R. Wronsky.*

**Elementare Vorlesungen über Elektrizität und Magnetismus** von Silvanus P. Thompson, Prof. der Physik am Technical College zu London. Autorisierte deutsche Übersetzung auf Grund der neuesten (28.) Auflage des Originals von Dr. A. Hinstedt. Tübingen, H. Laupp, 1887. XI. und 487 S. M. 6,00.

Das kleine Werk gehört zu der besonderen Art von Büchern, die beim ersten Blick für sich einnehmen und dann das Interesse in immer steigendem Maasse fesseln; es muss allen, denen an einer klareren Erfassung und Darstellung des hier behandelten Gebietes gelegen ist, aufs angelegentlichste empfohlen werden, und dies um so mehr, als hier zum ersten Male die Faraday-Maxwell'schen Vorstellungen, namentlich die Kraftlinien, in den Elementarunterricht Einführung finden. In den drei ersten Kapiteln sind die wichtigsten experimentellen Thatsachen behandelt, in den folgenden die Theorie der Elektrostatik und des Elektromagnetismus, die elektrischen Messungen, die Erzeugung von Wärme, Licht und Arbeit, die Thermo-Elektrizität, die Elektro-Optik, die Induktionsströme, die Elektro-Chemie, die Telegraphen und Telephone. Am Ende des Buches findet sich eine grössere Zahl (162) von lehrreichen Übungsbeispielen und Aufgaben. Die Begriffe ‚Potential‘ und ‚Capacität‘ werden schon im experimentellen Teil durch die hydrostatische Analogie verdeutlicht; wenn aber dann beim Volta'schen Fundamentalversuch gesagt wird „das Potential der Ladung steigt, wie die Divergenz der Goldblätter anzeigt“, so ist die Gewalt der Thatsachen stärker als die vorher gegebene Definition. Dass später im theoretischen Kapitel über Elektrostatik der Arbeitsbegriff des Potentials auseinandergesetzt wird, ist selbstverständlich. Den Gebrauch des Wortes Spannung verwirft der Verfasser in jeder anderen Bedeutung als in derjenigen von ‚dielektrischer Spannung‘. Für die Erklärung der Kontaktelektrizität wird die chemische Theorie zu Grunde gelegt. In besonnenster Weise spricht sich der Verfasser darüber aus, dass man den Strom selbst nicht durch den Schliessungsdraht fließen sehen kann, sondern die Wirkungen des Stroms in Betracht ziehen muss; dennoch wird gleich darauf erklärt, die Menge des im Element verbrauchten Zinks sei der Elektrizitätsmenge proportional, die durch den Schliessungsbogen fliesst. Solche Einzelheiten zeigen, dass es selbst einem Autor von so musterhafter Klarheit nicht immer gelingt, dem Prinzip der unbedingten Thatsächlichkeit in der Darstellung der Vorgänge treu zu bleiben. Wenn aus dem reichen Inhalt noch etwas als besonders beachtenswert hervorgehoben werden soll, so sind es die Abschnitte vom magnetischen Potential und vom Elektromagnetismus, zunal diese durch die Aufstellung der absoluten elektrischen Maasseinheiten erhöhte Bedeutung gewonnen haben. Es sei auch erwähnt, dass der Satz von der „Erhaltung der Elektrizität“ den Sätzen von der Erhaltung der Materie und der Energie als gleichwertig an die Seite gestellt wird. — Der Übersetzer hat sich dadurch, dass er das Werk dem deutschen Publikum nahe gebracht hat, ein dankenswertes Verdienst erworben.

P.

**Anfangsgründe der Physik für den Unterricht in den oberen Klassen der Gymnasien und Realschulen sowie zur Selbstbelehrung**, von Professor Karl Koppe. 17. veränderte Auflage, bearbeitet von Dr. H. Koppe. Mit 359 Holzschnitten. Essen, G. D. Bädeker 1888. VIII und 458 S.

Das weitverbreitete Lehrbuch hat in der neuen Auflage eine Reihe von Verbesserungen erfahren, welche durchweg eine Tendenz zu grösserer Exaktheit erkennen lassen. Bemerkenswert ist namentlich die schärfere Darstellung der Lehre von den bewegenden Kräften und die eingehendere Behandlung der mit dem Ohm'schen Gesetz zusammenhängenden Begriffe. Durch diese und ähnliche Änderungen bewahrt sich das Buch, das in diesem Jahr das vierte Dezennium seines Bestehens vollendet, seine achtbare Stellung unter jener älteren Gattung von Lehrbüchern, welche das Wesen ihrer Aufgabe in der verständigen und übersichtlichen Zusammenstellung des Lehrstoffes erblicken. Als der Besserung noch besonders bedürftig sei schliesslich der § über die Volta'sche Säule genannt.

P.

## Versammlungen und Vereine.

### Physikalische Gesellschaft zu Berlin.

*Sitzung am 23. Dezember 1887 (Nachtrag).* Die Untersuchungen, über welche Herr Schwalbe berichtete, rühren von SPRING und VAN AUBEL her. In derselben Sitzung machte Herr H. W. Vogel Mitteilungen über die Sonnenfinsternis am 19. August 1887 und legte Momentaufnahmen der Totalität vor, welche in Porganetz an der Wolga und im Ural bei  $\frac{1}{50}$ " Expositionsdauer erhalten worden sind. Derselbe zeigte eine Photographie des Sauerstoffspectrums, von Rot bis Ultraviolet reichend, die er mit Azalin-Platten angefertigt hat, durch (zehnfache) Vergrößerung wurden Bilder von 80 cm Länge hergestellt, die als Wandtafeln zum Vergleich der Linien mit denen des Sonnenspectrums dienen können.

*Sitzung am 6. Januar 1888.* Herr A. v. Oettingen aus Dorpat sprach über Wasserstoffknallgasexplosionen. BUNSEN hatte auf Grund seiner Versuche die Ansicht aufgestellt, dass die Explosion des genannten Gemenges keine einmalige Verbrennung, sondern eine Folge von einzelnen Verbrennungen sei, zwischen denen ein Teil des gebildeten Wassers durch die hohe Temperatur ( $3000^\circ$ ) wieder dissociert wird. Dem Vortragenden ist es gelungen, die Lichterscheinung bei der Explosion unter Anwendung eines rotierenden Spiegels zu photographiren und festzustellen, dass das Bild in der That von Zickzacklinien durchsetzt war, die sich als Wirkung von Stosswellen infolge successiver Explosionen deuten liessen. Herr F. Kötter legte eine neue Theorie des Druckes vor, den eine Mauer von seiten des Erdreiches, das von ihr gestützt werden soll, erleidet.

*Sitzung am 20. Januar 1888.* Herr A. v. Oettingen über Interferenz elektrischer Oscillationen. Der Vortragende hat oscillatorische Entladungen zweier Leydener Flaschen von verschiedener Schwingungsdauer und Amplitude in einer dritten Funkenbahn zur Interferenz gebracht und eine regelmässige Folge von vermehrten und verminderten Intensitäten beobachtet; er bediente sich zur Analyse der Erscheinung eines rotierenden Planspiegels und fixierte die Vorgänge durch Momentphotographie. Herr R. Börnstein über einen Diffusionsversuch mit sogen. anorganischen Zellen nach M. TRAUBE. Herr E. Budde teilte Rechnungen über einen etwaigen Einfluss der Erdrotation auf das CLAUDIUS'sche elektrodynamische Gesetz mit, deren Ergebnis negativ war.

*Sitzung am 3. Februar 1888.* Herr P. du Bois-Reymond über die Unbegreiflichkeit der Fernkraft. An einem Beispiel wurde der Ätherstosstheorie ein Widerspruch nachgewiesen. Herr H. v. Helmholtz bemerkte, dass wenn das Ziel des Begreifens im Begriffsbilden liege, man von Unbegreiflichkeit der Fernkraft überhaupt nicht sprechen könne. Die Schwerkraft sei begriffen, sobald im Begriff der Fallbeschleunigung eine Zusammenfassung der Thatsachen vollzogen sei. Derselbe berichtete darauf über die Herstellung dünner Metallprismen durch KUNDT und den Nachweis der zeitlichen Dauer der elektrischen Fernwirkung durch H. HERTZ.

*Sitzung am 17. Februar 1888.* Herr E. Lampe berichtete über Mac GREGOR's *Elementary Treatise on Kinematics and Dynamics* und hob den Wert dieses Werkes für den physikalischen Unterricht hervor. Herr Börnstein demonstrierte einen neuen Apparat zur automatischen Aufzeichnung des Stromstärkeintegrals. Herr Gerstmann referierte über VAN AUBEL, *Recherches expérimentales de l'influence du magnétisme sur la polarisation dans les diélectriques*. Herr F. Kötter sprach über die Erscheinung, dass bei einem mit Bayonnet versehenen Gewehr die Kugel nach links abweiche, fand den Grund hierfür in einer veränderten Lage des Schwerpunktes und zeigte, dass das Problem sich durch Anwendung des Satzes von der Erhaltung des Schwerpunktes und des Flächensatzes, ohne Kenntniss der näheren Vorgänge bei der Explosion, behandeln lässt.

### Verein zur Förderung des physikalischen Unterrichts in Berlin.

*Sitzung am 31. Januar 1888.* Herr P. Szymanski sprach über die Einheiten des absoluten Maasssystems, deren experimentelle Veranschaulichung, die Notwendigkeit ihrer Einführung in den Elementarunterricht und die Möglichkeit, besonders geeignete Übungsaufgaben an sie anzuknüpfen. Derselbe legte darauf mehrere einfache Demonstrationsapparate vor.

*Sitzung am 13. Februar 1888.* Herr R. Heyden führte eine Reihe von Versuchen zur Elektrizitätslehre vor, namentlich neue Verwendungen des elektrischen Glockenspiels, der Fallröhre, des Faraday'schen Würfels und Versuche über die Büschel-Entladungen bei der Holtz'schen Maschine.

*Sitzung am 27. Februar 1888.* Im Anschlusse an eine zur Diskussion gestellte Frage über den Papierdrachen setzte Herr Gerlach dessen Theorie auseinander, ging namentlich auf die Bestimmung der maximalen Steighöhe und die das Resultat beeinflussenden Nebenumstände ein und machte Angaben über die Verwendung des Papierdrachens zu wissenschaftlichen Zwecken. Von Herrn P. Szymanski wurde eine eigentümliche Beobachtung am Hohlspiegel mitgeteilt.

## Mitteilungen aus Werkstätten.

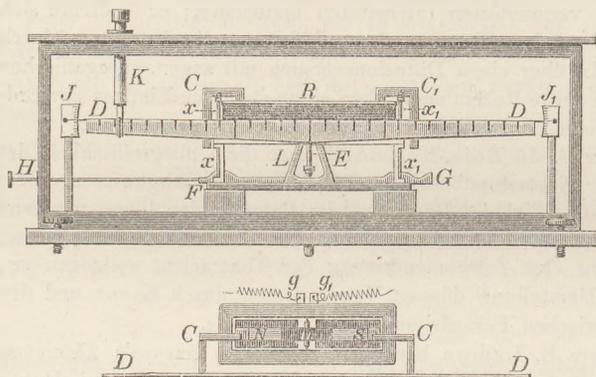
## Wagegalvanometer nach Friedrich C. G. Müller

von G. Wanke in Osnabrück.

Das nachstehend beschriebene Instrument gestattet, das von dem galvanischen Strom auf eine Magnetnadel ausgeübte Drehungsmoment in fester Nulllage durch einfache Längenmessung nach dem Prinzip der Schnellwaage zu bestimmen. Das Messen in der Nulllage mittels mechanischer Kräfte macht nicht allein die verwickelte Theorie, sondern auch die vielen mit Rücksicht auf den Erdmagnetismus erforderlichen Justierungen der Ablenkungs-Instrumente überflüssig. Allerdings hat der Experimentator beim Messen mit zu arbeiten, dafür aber auch den Vorteil, mittels zweckmässiger Rheostaten den Strom auf irgend eine vorher bestimmte Stärke in wenigen Sekunden bequem einstellen zu können.

Das Wagegalvanometer soll in erster Linie ein Unterrichtsapparat sein, dessen Angaben bis auf 8 Meter von normalen Augen wahrzunehmen sind, dessen Theorie, Konstruktion und Wirkungsweise klar und einfach vor dem Beschauer liegen, welches jederzeit unmittelbar zum Gebrauche fertig ist und für die einzelne Beobachtung nur wenige Sekunden Zeit beansprucht, welches Dank seiner soliden Konstruktion durch Erschütterungen und ungeschickte Behandlung nicht verdorben wird, welches endlich zu galvanometrischen Versuchen jeder Art brauchbar ist, sei es zum direkten Messen der stärksten Ströme, sei es zum Messen der Thermoströme, welche eine Kerze aus 1 m Entfernung in einer Thermosäule hervorruft.

Die Figur zeigt den ganzen Apparat in Vorderansicht, seine Hauptteile in Oberansicht.



Der Magnet ruht in horizontaler Stellung auf einer Messerschneide, dicht umschlossen von dem Multiplikatorrahmen *R*. Um Platz für die Schneide zu gewinnen, wurde der Magnet in der Weise zusammengesetzt, wie es die Oberansicht zeigt. Je zwei Magnetstäbe *N* und *S*, 20 mm breit, 8 mm dick, 90 mm lang, sind durch das Mittelstück *M* aus weichem Eisen verbunden. Durch letzteres geht die Messerschneide, welche auf ebenen Karneolplättchen spielt, die ihrerseits in die Backen des Lagers *L* eingesetzt sind. Zwischen den äusseren Enden der Magnetstäbe sind Messingstücke eingesetzt, welche in die mehrfach recht-

winkelig gebogenen Träger *C* auslaufen. Die Träger *C* halten das 600 mm lange Aluminiumlineal *DD*. So bildet der innerhalb des Multiplikators liegende starke Magnet mit dem frei vor dem Beschauer liegenden Lineal ein solides Ganze, welches wir als den magnetischen Wagebalken bezeichnen wollen. Derselbe ist, wie jeder feine Wagebalken, mit Schrauben zur Regulierung des Gleichgewichts versehen, sowie mit einer solchen, bei *E* sichtbaren, zur Regulierung der Empfindlichkeit.

Beim Nichtgebrauche ruht der magnetische Wagebalken auf einer genau justierbaren Arretiervorrichtung, aus der verschiebbaren Schiene *FG* und den Prismen *xx*, *x1*, *x2* gebildet, durch welche der Balken nicht allein parallel gehoben und gesenkt, sondern auch genau auf den nämlichen Fleck gesetzt wird.

Die Oberkante des Lineals *DD* liegt genau in der Höhe der Drehungsaxe und läuft an den Enden in geschwärtzte Spitzen aus, welche vor den Skalen *J* und *J1* spielen. Die Vorderfläche des Lineals hat für Demonstrationszwecke eine grobe, mit schwarzer Ölfarbe aufgetragene Teilung von 20 zu 20 mm, daneben besteht eine feinere mit der Teilmaschine hergestellte. Auf dem Lineal können Reiter verschoben werden, deren geschwärtzte Schenkel vor dem weissen Metall noch auf 8 m sichtbar sind. Die Verschiebung geschieht mittels der einfachen in einem schmalen Schlitz des Gehäusedeckels gleitenden Vorrichtung *K*. Wenn man Reiter auswechseln will, wird *K* in seiner Hülse in die Höhe gezogen. Ausserdem gehört noch eine Gabel mit zwei zu Haken gebogenen Zinken zum Apparat, mit deren Hilfe der Experimentator durch den genannten Schlitz hindurch freihändig Reiter aufsetzen und verschieben kann. Um die ganze Länge des Lineals auszunutzen, wägt man nicht von der Mitte aus, sondern von den Enden, d. h. man setzt an

jedes Ende einen von zwei gleichen Reitern. Tritt dann in Folge eines galvanischen Stroms Drehung ein, so wird der sinkende Reiter nach dem andern Ende zu verschoben, bis das Gleichgewicht wieder hergestellt ist. Es sei noch bemerkt, dass die Gestalt der Schiene *FG* eine einseitige Arretierung der rechten Seite des Balkens gestattet. Man benutzt diese Einrichtung beim Messen kurz andauernder Ströme, z. B. bei Polarisationsströmen, indem man einen Reiter vor dem Schliessen der Kette auf die rechte Seite schiebt und beobachtet, bei welcher Grenze der Strom ihn nicht mehr zu heben vermag.

Die Empfindlichkeit des magnetischen Wagebalkens lässt sich eventuell bis zur Astasie steigern, für den praktischen Gebrauch wird sie nur soweit gebracht, dass ein Centigrammreiter bei 30 mm Verschiebung etwa 2 mm Ausschlag an den Skalen giebt. Auch diese Empfindlichkeit ist nur für wenige Versuche erforderlich, weshalb für gewöhnlich auf die Schraube *E* eine Art Pinzette von 3 g Gewicht geklemmt wird. Als Dämpfer fungiert ganz vorzüglich ein mittels eines feinen Haars am Ende des Lineals in horizontaler Lage aufgehängtes Metallscheibchen, welches in ein Gefäss mit Glycerin taucht. Bei feinen wissenschaftlichen Versuchen wird zur Verminderung der Capillarität etwas Benzin auf das Glycerin gegossen.

Es erübrigt noch die Beschreibung des Multiplikators. Der innere Teil des Rahmens besteht aus einem den Magneten eng umschliessenden Rechteck, welches aus einem 30 mm breiten 2 mm dicken Kupferstreifen gebogen ist. Die Enden des letzteren sind durch eine schmale Lücke getrennt und mit den Zuleitern *g* und *g*<sub>1</sub> verbunden. Den so gebildeten einfachen Leiter mit verschwindendem Widerstande verwendet man, wenn es sich um starke Ströme handelt. Um diesen Rahmen liegen zwischen zwei Flantschen von Buchsbaumholz 200 Windungen eines 2 mm starken, überspannenen Kupferdrahts, zu welchem zwei besondere Klemmen führen. Das Drehungsmoment, welches dieser Multiplikator auf den Magneten ausübt, ist etwa 100 mal grösser, als dasjenige des Rahmens.

Das ganze Instrument befindet sich in einem auf Stellschrauben ruhenden Gehäuse, dessen Wände ringsum aus Glasscheiben bestehen. Die vordere Scheibe ist in der Mitte geteilt und es lassen sich beide Hälften leicht nach rechts und links herausziehen. Der Deckel des Gehäuses kann an zwei Knöpfen abgehoben werden. Somit ist das Instrument leicht zugänglich; namentlich kann der ganze magnetische Wagebalken jederzeit binnen wenigen Sekunden herausgenommen und vorgezeigt werden.

Das richtig ausbalancirte horizontal aufgestellte Instrument zeigt nach Lösung der Arretierung genau auf Null; sollte eine geringe Abweichung eintreten, so wird sie durch Verschiebung einer der beiden Reiter beseitigt. Sobald dann der zu messende Strom den Balken dreht, wird der Zeiger durch Verschiebung des betreffenden Reiters wieder auf Null gebracht, wozu kaum 10 Sekunden Zeit beansprucht werden. Das Drehungsmoment des Stromes ist jetzt demjenigen des Reiters gleich, mithin wird die Stromstärke direkt durch die Strecke gemessen, um welche der Reiter verschoben ist. Dies ist die ganze Theorie der Messung.

Das Gewicht der Reiter wird so bestimmt, dass ein Skalenteil am Lineal eine gebräuchliche Stromeinheit oder deren decimale Ober- oder Unterabteilung repräsentiert. Reiter, welche an der groben Skale bei Anwendung des Kupferrahmens Knallgaseinheiten ( $1=0,095$  Ampère) zeigen, haben etwa 0,1 g Gewicht. Diese leichten Reiter stelle ich aus schwarz lackirten, oben durch einen dünnen Draht verbundenen Stäbchen spanischen Rohres her. Man kann sie aus 8 m Entfernung noch gut sehen und somit noch  $\frac{1}{10}$  Einheit ablesen. Dicht vor dem Instrument misst man auf  $\frac{1}{50}$  genau. Bei Anwendung des Multiplikators repräsentieren die nämlichen Reiter genau  $\frac{1}{100}$  Einheit, so dass man aus der Ferne noch  $\frac{1}{1000}$ , in der Nähe  $\frac{1}{5000}$  ablesen kann. Ausser einer Anzahl solcher Reiter braucht man noch Messingreiter von 10- und 100-fachem Gewicht. Ich bemerke, dass die angegebene Empfindlichkeit sich nur auf die oben angenommene Justierung bezieht, dass dieselbe aber, wenn es sein muss, leicht verzehnfacht werden kann. Bei Versuchen mit der Thermosäule misst man bei geringerer Empfindlichkeit am besten aus dem Ausschlage. Dabei wirft man mittels einer Petroleumflamme und zweier passenden Sammellinsen das Bild der Zeigerspitze an die Wand oder auf einen Schirm, ein Arrangement, welches weder Eingriffe in die Funktion des Galvanometers, noch eine starke Verdunkelung des Zimmers erfordert.

Das Instrument wird in verschiedenen Ausführungen hergestellt. Wird das Aluminiumlineal durch ein solches aus Messing ersetzt und die Schneide auf einer Stahlfläche oder in keilförmiger Pfanne mit Gegenplättchen spielend angebracht, so vermindert sich der Preis, ohne dass die Brauchbarkeit in Frage gestellt wird.

### Preisverzeichnisse.

- Verzeichnis über wissenschaftliche Instrumente, insbesondere für elektrische und magnetische Messungen, von Hartmann u. Braun in Boekenheim-Frankfurt a. M. (Skalenferrohr, Skalen, Galvanometer, Federgalvanometer nach Kohlrausch [Amperemeter], Messbrücken, magnetische und optische Messinstrumente).
- Preisverzeichnis über physikalische Apparate von Keiser u. Schmidt, Berlin N., Johannisstr. 20. (Funken-Inductoren, Geissler'sche Röhren, dynamoelektrische Maschinen, galvanische Messapparate).
- Verzeichnis und Beschreibung neuerer Apparate von E. Leybold's Nachfolger in Köln. (Vertikal-Galvanometer nach Werners, Audiometer, Induktionswage, Fonvielle's Gyroskop, Mikro-Tasimeter, Linnemann's Leuchtgas-Sauerstofflampe).
- Preisverzeichnis über chemische Apparate und Gerätschaften von Dr. Robert Muencke, Berlin NW., Luisenstr. 58 (enth. u. a. Aspiratoren, Gasometer, Gebläse und Lampen, Quecksilber- und Wasserstrahl-Luftpumpen).
- Preisverzeichnis der optischen und mechanischen Werkstatt von Franz Schmidt u. Haensch, Berlin S., Stallschreiberstr. No. 4. (Polarisations-Apparate, Mikroskope, Spectral-Apparate).
- Optische Bank zur objectiven Darstellung der Polarisationserscheinungen und der Spectral-Analyse nach Prof. PAALZOW, von denselben.

Sammlung von Apparaten zum experimentellen Studium der Physik mit anleitender Druckschrift. Von Meiser u. Mertig, Dresden N. III. Teil: Akustik (120 experimentelle Übungsaufgaben).

### Correspondenz.

W. R. — Unter den zahlreichen Wellen-Apparaten dürfte Mach's phonomische Wellenmaschine (beschr. in *Carl's Rep.* VI, 8, *Pfaundler's Lehrb.* (9) I u. a.) den Vorzug verdienen, da sie bei einfacher und leicht zu überschender Konstruktion sowohl Transversal- als Longitudinalwellen, und in beiden Fällen sowohl fortschreitende wie stehende, zu demonstrieren ermöglicht und noch eine Reihe weiterer Schwingungsversuche gestattet.

J. H. — Wir haben nicht in Erfahrung bringen können, ob der Siemens'sche Regenerativbrenner schon für das Skioptikon Verwendung gefunden hat. Von fachmännischer Seite wird eine solche Verwendung für nicht empfehlenswert erklärt, weil die hohe Temperatur schädlich auf den Apparat wirken und besondere Schutzvorrichtungen nötig machen würde. Doch ist an zwei Berliner Gymnasien eine Gebläselampe für Kalklicht in Gebrauch, die von der Firma Dr. Robert Muencke in Berlin geliefert ist, und bei welcher sowohl das Gas als auch die zugeführte Luft vor der Verbrennung stark erhitzt werden; dies wird dadurch erreicht, dass das Luftzuleitungsrohr um das Gaszuleitungsrohr in spiraligen Windungen herumgeführt ist und beide zugleich in horizontaler Lage über einem Flachbrenner montiert sind. Die Luft wird in comprimiertem Zustande (wie bei der gewöhnlichen Gebläseflamme) angewendet. Die Kalkscheibe ist in eine Messingkapsel gefasst, die auch während des Brennens vertikal wie horizontal verschoben werden kann und deren Vorderseite von der Spitze der langgezogenen, schräg abwärts gerichteten Gebläseflamme getroffen wird. Diese Lampen sind in erster Reihe als Ersatz der unquemen Hydrooxygengaslampen gedacht, daher namentlich für optische Versuche mit Erfolg verwendbar. — Die Herren Schmidt und Haensch in Berlin sprechen sich ebenfalls dahin aus, dass der Siemens'sche Regenerativbrenner sich für Projektionszwecke nicht als zweckmässig erweisen würde, da wohl eine genügende Leuchtkraft vorhanden, diese aber auf eine zu grosse Fläche verteilt sei. Ausser dem elektrischen Licht sei daher nur noch Kalk- resp. Zirkonlicht in Betracht zu ziehen.

L. L., *Baden.* — Ihre kleine Mitteilung wird demnächst zum Abdruck gelangen. Wir bitten um genaue Adresse, da ein Brief als unbestellbar zurückgekommen ist.

Berichtigung: In Heft III, S. 129 Z. 14 ist „*Crelle's Journal Bd. 80 (1875)*“ zu lesen.