

Erster Teil.

Physikalische Versuche.

Von Dr. A. Köhler.

Die Versuche, die ich in den folgenden Zeilen mitzutheilen beabsichtige, sind nur theilweise neu, ich veröffentliche aber auch die älteren, länger bekannten, weil vielleicht für den einen oder anderen Fachgenossen die Kenntniss der einfachen, leicht zu beschaffenden Hilfsmittel von Interesse sein könnte, die ich zu diesen Versuchen benutze. Wenn man keinen geübten Mechaniker bei der Hand hat, so muß man eben suchen, auf einfache Art sich selbst die weniger complicirten Apparate herzustellen, man hat dann noch den Vortheil, mehr für die Anschaffung von Instrumenten anwenden zu können, deren exacte Ausführung nur mechanisch geschulten Kräften möglich ist. Die meisten beschriebenen Apparate sind so einfach, daß sie auch ein Schüler, der etwas Handfertigkeit besitzt, unter Anleitung des Lehrers oder nach einem vorgelegten Modell wird anfertigen können. Das Material, das zur Herstellung dient, kann man, von Einzellnem abgesehen, wohl auch an Orten bekommen, wo keine Geschäfte sind, die sich mit der Anfertigung oder dem Verkauf physikalischer Apparate beschäftigen.

Bei der folgenden Beschreibung beginne ich mit den Versuchen über den Schall, dann folgen die aus dem Gebiete der Optik, die aus dem Gebiet der Electricitätslehre und schließlich einige Versuche aus der Wärmelehre.

1. Ein Cöplerscher Flammenzeiger.

Ein Glasrohr von 5—6 mm Weite und der anderthalbfachen bis doppelten Länge der zu benutzenden Orgelpfeife wird an dem einen Ende in eine Spitze von ca. 1 mm Weite ausgezogen. Es wird dann auf einem Brett mit zwei Drähten in wagerechter Lage so befestigt, daß an dem nicht zugespitzten Ende ein Stück von der Länge der Pfeife frei über das Brett hinaussteht. Vor die Spitze kommt dann ein kleiner Gasbrenner, der aus einem rechtwinklig gebogenen Glasröhrchen besteht, das mittels eines Korks auf einem mit Blei beschwerten Brettchen befestigt ist. Der senkrecht stehende Theil des Röhrchens ist in eine Spitze von ca. 3 mm Durchmesser ausgezogen, aus der die Flamme herausbrennt. Man läßt nun die Flamme 1—2 cm hoch brennen und stellt den Apparat so auf, daß die Oeffnung des Brenners etwas tiefer steht als die Spitze des langen Glasrohrs, der Abstand beider Spitzen soll ca. 5 mm betragen. Schiebt man nun die Pfeife so über das Glasrohr, daß dessen offenes Ende in die Mitte der Pfeife kommt, so wird die Flamme, wenn die Pfeife ihren Grundton giebt, stark zur Seite geblasen, ruft man durch starkes, stoßweises Blasen den Oberton hervor, so bleibt die Flamme fast in Ruhe. Schiebt man die Pfeife soweit zurück, daß das Ende des Glasrohrs gerade in das offene Ende der Pfeife zu liegen kommt, so wird die Flamme durch den Grundton und den Oberton nur wenig beeinflusst, weil beide hier Bäuche haben. Auch auf die Knoten des ersten Obertons kann man das Ende der Glasröhre einstellen und zeigen, daß die Flamme dann weggeblasen wird.

Daß die Bewegung der Luft an den Schwingungsbäuchen die Flamme nicht merklich beeinflusst, zeigt man, indem man den Brenner ohne das lange Rohr dicht vor das offene Ende der Pfeife stellt.

Auch den Knoten am geschlossenen Ende des Resonanzkastens einer Stimmgabel ($n = 256$) kann man mit dem Apparat leicht nachweisen, wenn auch die Flamme nicht so stark wie bei der Pfeife weggeblasen wird.

Fertigt man einen auf die offene Pfeife passenden, in der Mitte durchbohrten Deckel an — aus zwei zusammengeleimten Brettchen, von denen das eine gleich dem inneren, das andere gleich dem äußeren Querschnitt der Pfeife ist, — in dessen Bohrung das Glasrohr ziemlich gut hineinpast, so kann man auch die Knoten einer gedackten Pfeife nachweisen. Eine gewöhnliche offene Pfeife ist allerdings dann zu eng im Verhältnis zu ihrer Länge und giebt deshalb nicht ihren Grundton als gedackte Pfeife, sondern den ersten Oberton.

Geht das Glasrohr nur eben durch den Deckel, so zeigt die Bewegung der Flamme den Knoten, liegt das Ende des Glasrohrs um ein Drittel der Länge der Pfeife vom geschlossenen Ende entfernt, so ist die Wirkung auf die Flamme gering, da hier ein Bauch liegt. Bringt man das Ende des Rohrs in eine Entfernung von $\frac{2}{3}$ der Pfeifenlänge vom geschlossenen Ende, so läßt die Bewegung der Flamme den zweiten Knoten erkennen.

Stellt man den Apparat wieder so, daß das Ende des Glasrohrs eben in die Öffnung der Pfeife hineinreicht und bläst dann die Pfeife an, während der Deckel möglichst weit von der Öffnung weggeschoben ist, so hört man den Grundton der offenen Pfeife, und die Flamme bleibt ruhig, schiebt man den Deckel auf die Öffnung, ohne sonst etwas zu ändern, so hört man den höheren Oberton (der gedackten Pfeife) und der Flammenzeiger wird weggeblasen.

Es ist zweckmäßig, den Flammenzeiger und das Rohr unverrückbar zu befestigen und über dem freien Ende des Rohres ein Pendelchen so aufzuhängen, daß man die Pfeife unter dem Pendelchen hindurch bequem über das Rohr schieben kann; das Pendelchen zeigt dann immer die Lage des offenen Endes des Glasrohrs in der Pfeife an.

2. Kundtsche Staubfiguren.

Diese Figuren lassen sich in dem von Weinhold angegebenen 120 cm langen Rohr auch ganz gut mit einer kleinen zinnernen Pfeife von 3—4 cm Länge herstellen, wenn man sie so vor dem offenen Ende der Röhre anbläst, daß der Luftstrom nicht gerade in die Röhre hineingeht. Am offenen Ende der Röhre wird allerdings der Staub doch weggeblasen, aber in der Nähe des geschlossenen Endes bekommt man hübsche Wellen, durch deren Messung man nachweisen kann, daß die Länge des Pfeifchens $\frac{1}{4} \lambda$ ist. Die Holzkugel oder Erbse, die gewöhnlich in den Pfeifchen liegt, entfernt man am besten, um einen reinen Ton zu bekommen.

3. Chemische Harmonika.

Auch zu diesem Versuch kann man das oben erwähnte Rohr für die Staubfiguren benutzen. Man bringt es zum Tönen durch eine Gasflamme, die aus einem ca. 50 cm langen Rohr mit $\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$ mm weiter Ausströmungsöffnung herausbrennt. Schiebt man das Rohr weit über die Flamme, so hört man einen tiefen Ton, zieht man das Rohr in die Höhe, so kommt die Octave hinzu, was man auch im rotierenden Spiegel deutlich an den zwischen den großen auftauchenden kleinen Flammenbildern sieht. Zieht man das Rohr noch weiter in die Höhe, so verstummt der Grundton, man hört die Octave allein und im Spiegel erscheinen lauter gleichgroße Flammenbilder. Die Höhe der Flamme sei $1\frac{1}{2}$ cm, wenn der Grundton ertönt.

4. Der Meldesche Stimmgabelversuch.

Ueber die Zinken einer Stimmgabel werden kleine, rechteckige Drahtschlingen mit einer Dese an der einen Schmalseite geschoben, die man aus 1 mm starkem Messingdraht leicht passend biegen kann.

Die Gabel wird in die Doppelmuffe eines Bunsenschen Stativs, das an den Tisch festgeschraubt oder durch ein Gewicht beschwert ist, eingeklemmt, so daß die Schwingungsebene der Zinken horizontal liegt. Durch die Dese der einen Drahtschlinge wird ein Seidenfaden gezogen, der an beiden Enden mit kleinen Schlingen versehen ist. In diese Schlingen hängt man beiderseits kleine, mit Hacken versehene, ca. 30 g schwere Bleigewichte. Das eine Ende des Fadens läßt man frei von der Dese herabhängen, das andere führt man parallel zur Gabel nach dem Stativ und legt es über die eine Schraubenspinde der Doppelmuffe, dann läßt man es ebenfalls frei herabhängen. Durch Heben

oder Ziehen an diesem Gewicht läßt sich die Länge des von der Zinke frei herabhängenden Fadensstückes leicht abändern, und die einmal eingestellte Länge bleibt in Folge der Reibung unverändert.

Streicht man nun die Stimmgabel mit dem Bogen an, so geräth der Faden in Transversalschwingungen, da an dem Bleigewicht ebensogut Reflexion eintritt, wie an den zur Befestigung dienenden Stellen der gewöhnlich bei diesem Versuch angewandten Stativ. An dem Bleigewicht liegt stets ein Knoten, man ändert nun in der oben angegebenen Art, während man die Gabel streicht, die Länge des herabhängenden Fadens, bis auch an der Dese ein Knoten liegt. Nimmt man die Schwingungszahl der Gabel als bekannt an, so läßt sich wie beim Kundtschen Versuch die Schallgeschwindigkeit auf dem Faden nach der Formel $v = n l$ bestimmen.

Befestigt man denselben mit den gleichen Gewichten belasteten Faden, in derselben Weise an einer anderen Stimmgabel mit der unbekanntem Schwingungszahl n' , so kann man aus der dann auf dem Faden gemessenen Wellenlänge l' und der aus dem vorigen Versuch bestimmten Geschwindigkeit v die Schwingungszahl der Gabel n' berechnen zu $n' = v/l'$.

Schwingungen des Fadens von der Schwingungszahl $n/2$ erzeugt man mit einer Gabel von n Schwingungen in der bekannten Weise, indem man die Gabel in einer senkrechten Ebene schwingen läßt. Die Wellenlänge ist dann doppelt so groß, ein Beweis, daß die Geschwindigkeit auf dem Faden sich nicht geändert hat.

Bei wagrechter Lage der Schwingungsebene kann man durch beide Desen Fäden legen. Wir wählen zunächst die beiden Fäden gleich, belasten den einen jederseits mit 1 Gewicht und gleichen die Länge des von der Zinke herabhängenden Endes so ab, daß gerade vier Bäuche auf dem Faden liegen. Den anderen Faden belasten wir mit 4 Gewichten jederseits, und machen ihn ebensolang wie den ersten. Streichen wir jetzt die Gabel, so schwingen beide Fäden isochron, auf dem mit 4 Gewichten gespannten liegen aber nur zwei Bäuche. Der Versuch zeigt auf einen Blick, daß die Wellenlänge und damit (bei gleicher Schwingungszahl) auch die Geschwindigkeit der Quadrat-Wurzel aus der Spannung direkt proportional ist.

Den mit 4 Gewichten gespannten Faden ersetzen wir nun durch einen, dessen Querschnitt, resp. dessen Masse auf der Längeneinheit viermal so groß ist. Man erhält ihn einfach, indem man vier Seidenfäden nebeneinanderlegt und an den Enden verknotet. Belastet man beide Fäden mit gleichen Gewichten, so findet man auf dem vierfachen Faden immer doppelt so viel Bäuche als auf dem einfachen: die Wellenlänge (und damit die Geschwindigkeit) ist der Quadratwurzel aus dem Querschnitt umgekehrt proportional.

Um zu zeigen, daß es bei verschiedenem Material nicht auf den Querschnitt, sondern auf die Quadratwurzel aus der Masse der Längeneinheit ankommt, müßte man zwei Fäden von verschiedenem Material, aber entsprechendem Gewicht haben; bis jetzt konnte ich noch keine passenden Stoffe finden.

Zuletzt kann man noch zeigen, daß die Geschwindigkeit sich nicht ändert, wenn der Quotient: Wurzel aus Spannung durch Wurzel aus Querschnitt gleich bleibt: man spannt den einfachen Faden mit einem Gewicht, den vierfachen mit 4 Gewichten, dann ist die Wellenlänge auf beiden Fäden gleich.

Hat man keine passende Stimmgabel, so kann man einen einfachen Eisenstab benutzen. Ich habe die Versuche außer mit Stimmgabeln von 285 Schwingungen auch mit einem eigentlich für ganz andere Zwecke bestimmten Eisenstab von 349 mm Länge, 25 mm Breite und 4 mm Dicke gemacht, der in der Mitte durchbohrt war. Durch Versuche mit aufgestreutem Sand stellte ich die Lage der Knoten fest, wenn der Stab mit freien Enden und 2 Knoten, 3 Knoten und 4 Knoten schwang. Klemmt man den Stab nun zwischen zwei Brettchen, auf die je zwei dreikantige Gummi- oder Korkprismen so aufgeleimt sind, daß ihre freien Kanten den Stab gerade an den Knoten festhalten, so kann man den Stab bequem befestigen und durch Streichen eines der beiden zwischen den Brettchen hervorragenden Enden zum Tönen bringen. Um die Enden legt man dann ähnliche Drahtösen, wie ich sie für die Stimmgabel beschrieben habe und verfährt dann genau wie dort. Läßt man den Stab mit einer verschiedenen Zahl von Knoten schwingen, so läßt sich durch Messen der Wellenlängen auf dem gleichen, jedesmal gleich stark gespannten Faden wohl auch die Schwingungszahl der Obertöne annähernd bestimmen; ich habe mit meinem Stabe die Versuche nicht gemacht, weil die Abstände der Knoten, wahrscheinlich wegen der Durchbohrung in der Mitte nicht gleichmäßig waren; eine Vergleichung der Versuchsergebnisse mit den berechneten Werthen wäre also doch nicht möglich gewesen.]

Klemmt man mit einem geeignet gebogenen Messingblech gerade gestreckte Stücke einer dünnen Urfeder auf die Zinken einer Stimmgabel, so gerathen diese ebenfalls in Schwingungen. Am freien Ende liegt immer ein Bauch, an dem befestigten Ende, an der Stimmgabel, muß ein Knoten liegen, wenn das Maximum des Mitschwingens erreicht werden soll. Je nach der Länge des Stäbchens ist nur dieser eine Knoten oder mehrere vorhanden. Auch dünne Messing- oder Stahldrähte zeigen die Schwingungen. Da die Bäuche ziemlich klein sind, so projiciert man die Erscheinung mit dem Skoptikon.

5. Einfaches Elektroskop.

Ein recht brauchbares Elektroskop, das sich auch ein Schüler leicht anfertigen kann, stellt man folgendermaßen her:

Aus Paraffin von 70—80° Schmelzpunkt gießt oder schneidet man eine Platte von 1—2 cm Dicke und 5—6 cm Durchmesser. Sie darf rund oder eckig sein. Das Gießen erfolgt am besten in einer Blechform, die mit einem Gemisch von 1 Theil Glycerin und 8—10 Theilen Alkohol bestrichen ist, um das Ankleben zu verhüten. Der Alkoholzusatz bezweckt, daß die Form gleichmäßig beregt wird, reines Glycerin oder Glycerin mit Wasser verdünnt beregt nur unvollkommen.

In die Mitte der Platte bohrt man ein Loch, am bequemsten mit einem Drillbohrer, damit das Paraffin nicht springt. In das Loch steckt man einen stramm passenden Messingdraht von 6—8 cm Länge und 1 mm Dicke. Oben und unten biegt man eine Dese von 3—4 mm Durchmesser. Dann fertigt man auf ein geeignetes Glas (Einmachglas oder Batterieglas) mit Hilfe der Laubsäge einen Deckel aus Holz oder dicker Pappe. Derselbe besteht einfach aus einer kreisförmigen Scheibe, deren Durchmesser etwas größer ist, als der Durchmesser des Glases. In die Mitte der Scheibe kommt ein Loch von 4—5 cm Durchmesser. Auf die Unterseite des Deckels klebt man drei kleine Holzklötzchen, die, wenn der Deckel richtig auf dem Glase liegt, den Rand gerade von innen berühren; sie verhindern, daß der Deckel herabrutscht.

Das Loch in dem Deckel bedeckt man nun mit der Paraffinscheibe, so daß der Draht in die Mitte des Glases herabhängt. Die Paraffinplatte befestigt man durch drei kurze Nadeln, die man in vorgebohrte, etwas engere Löcher durch das Holz in die Paraffinscheibe hineinsticht.

Ist alles soweit vorbereitet, so befestigt man an der untern Dese die Goldblättchen in der üblichen Weise.

Ein solches einfaches Elektroskop hält seine Ladung mehrere Stunden. Will man die Goldblättchen projicieren, so benützt man statt des Glases eine viereckige Schachtel von Blech. Um die Goldblättchen einzuführen, sägt man in den Deckel der Schachtel ein viereckiges 4—5 cm großes Loch, auf dem man die Paraffinplatte wie auf dem Holzdeckel befestigt; in zwei einander gegenüberliegende Flächen sägt man noch zwei rechteckige Fenster, durch die man die Goldblättchen beobachten kann. Diese Fenster bedeckt man mit dünnen Glimmerplatten, die sich leicht mit Tischlerleim auf das erwärmte Blech aufkleben lassen. Man sägt das Blech mit einer Laubsäge; ist es ziemlich dick, so benetzt man die Säge mit Öl oder auch Wasser, dünnes Blech sägt man trocken gleichzeitig mit einem unter gelegten Stück Pappe, dann verbiegt es sich nicht. Am besten sägt sich Zinkblech.

Die Goldblättchen eines solchen Elektroskops lassen sich mit einem Skoptikon leicht auf eine Scala projicieren, auf der man die Ausschläge messen kann, man muß nur acht geben, daß das Instrument nicht zu nahe an die Lampe kommt, damit das Paraffin nicht warm wird.

6. Einfluß des Isolators auf die Capacität des Condensators.

Wenn man auch im elementaren Unterricht nicht auf das Verhalten der Isolatoren im elektrischen Felde eingehen wird, so empfiehlt es sich doch wohl, zu zeigen, daß das Glas der Leydener Flasche nicht nur die Rolle einer trennenden Schicht spielt. Man kann dazu die bekannte zerlegbare Flasche benutzen, die zum Nachweis dient, daß die Ladung größtentheils auf den Glasflächen sitzt.

Man stellt den äußeren Beleg auf eine Paraffinplatte und verbindet ihn durch einen Draht mit einem Elektroskop. Dann lädt man, bis das Elektroskop einen ziemlich beträchtlichen Ausschlag

zeigt. Man faßt nun den inneren Beleg an dem Knopf und senkt ihn vorsichtig, ohne den äußeren zu berühren, so tief ein, daß die oberen Enden beider Belege in einer Ebene liegen. Der Abstand der Belege ist dann gerade so groß wie bei der Einschaltung des Glases. Der Ausschlag der Goldblättchen sinkt dann, je nach Umständen, etwa auf ein Drittel. Entfernt man nun den inneren Beleg, so erreicht der Ausschlag wieder den alten Werth, ein Beweis, daß keine Elektrizität weggegangen ist. Nun faßt man das gut getrocknete und erwärmte Glas ganz am oberen Rand und stellt es in den äußeren Beleg. Isolirt das Glas gut, so wird man kaum ein Zusammengehen der Goldblättchen bemerken. Senkt man nun wieder den inneren Beleg, den man am Knopf faßt, in das Glas hinein, so fallen diesmal die Goldblättchen weit stärker zusammen, obgleich beide Belege, wie das Zusammenfallen der oberen Ränder in eine Ebene zeigt, denselben Abstand wie vorhin haben. Bei gleicher Ladung ist also das Potential auf dem äußeren Beleg bei Glas kleiner als bei Luft, die Capacität also größer.

Etwas umständlicher, aber angenehmer für Jemand, der keine sichere Hand hat, läßt sich der Versuch auch so anstellen. Der äußere Beleg kommt einfach auf den Tisch, er wird am besten noch mit der Gas- oder Wasserleitung verbunden. In ihn hinein legt man auf den Boden drei kleine isolierende Stützen, auf die man den inneren Beleg so stellen kann, daß der Abstand beider Belege so groß ist, wie bei Benutzung des Glases. Man lädt nun den inneren, mit einem Elektroskop verbundenen Beleg durch den Deckel eines kleinen, schwach elektrisirten Elektrophors, und zählt die Ladungen, die nöthig sind, um ein bestimmtes Potential zu erzeugen. Dann entlädt man und wiederholt den Versuch, wenn beide Belege durch das Glas getrennt sind. Bei derselben Zahl von Ladungen erhält man einen kleineren Ausschlag und man muß länger laden, bis das Elektroskop denselben Ausschlag zeigt, wie vorhin.

7. Elektroden für die Projection elektrolytischer Versuche.

In zwei Glasröhrchen von ca. 5 cm Länge, 4 mm äußerem und 2—2,5 mm innerem Durchmesser werden 2 ca. 4 cm lange Platindrähte so eingeschmolzen, daß ihre Enden etwas in die Röhrchen hineinragen. Die Röhrchen werden 2—3 cm hoch mit Quecksilber gefüllt. Man steckt sie in zugeschnittene Korke, die sich in die obere Oeffnung einer kleinen Cuvette einklemmen lassen, sodaß die Drähte in die Flüssigkeit herabhängen.

Die Cuvette mit den Drähten und der Flüssigkeit stellt man auf den Tisch des Skioptikons, den Strom führt man zu zwei Kohleklemmen, die man an die beiden Schmalseiten des Tischchens anklammert und führt von diesen einen weichen, dünnen, spiralförmig aufgerollten Kupferdraht in das Quecksilber der Röhrchen. So können die Zuleitungsdrähte keinen Druck oder Zug auf die Elektroden ausüben.

Will man verdünnte Schwefelsäure zerlegen und die Gase einzeln auffangen, so schiebt man über die unteren Enden der Elektrodenröhrchen etwa 5 mm lange gut passende Stückchen Gummischlauch. Ihr unterer Rand soll mit dem unteren Rand der Glasröhrchen abschneiden; damit die Glasröhrchen unten ziemlich eben sind, thut man gut, die Drähte einzuschmelzen, ohne die Röhrchen in eine Spitze auszuziehen, was bei dem engen Lumen leicht geht. Ueber diese Schlauchstückchen schiebt man weitere Glasröhrchen von ca. 5 cm Länge, die also die Drähte einhüllen. Damit diese Röhrchen fest auf den Schläuchen sitzen, aber doch von ihnen nicht zersprengt werden, müssen die leeren Schlauchstückchen ganz leicht in die Röhre hineingehen. Diese Röhrchen füllt man mit einer kleinen Pipette mit verdünnter Schwefelsäure, das Ausfließen des Quecksilbers verhindert man dabei, indem man die Elektrodenröhrchen durch ein Stückchen Streichholz verschließt, das man mit Watte umwickelt. So verschlossen bewahrt man auch die Röhrchen auf. Setzt man die mit den Auffangröhrchen versehenen Elektroden in die Cuvette ein und schließt den Strom, so sammeln sich die Gase in den Glasröhrchen an. Ist in dem Wasserstoffröhrchen soviel Gas entwickelt, daß die Flüssigkeit bis zum unteren Ende des Platindrathes gesunken ist, so wird der Strom von selbst unterbrochen; das Sauerstoffröhrchen enthält dann nur die Hälfte an Gas. Die Auffangröhrchen und die Schlauchstückchen nimmt man vor der Aufbewahrung der Elektroden ab, damit sie nicht ankleben; vor dem Zusammensetzen befeuchtet man sie mit Wasser.

8. Projection der chemischen Vorgänge im Element.

Als Elementenglas dient die in Nr. 7 erwähnte Cuvette. Als positiver Pol dient ein 1—2 mm starker Kupferdraht, an dessen unteren Ende ein 4 cm langes Stück rechtwinklig umgebogen ist.

Es wird in einen passend zugeschnittenen Kork gesteckt, der sich wie die Korke der unter Nr. 7 beschriebenen Elektroden einklemmen läßt.

Den negativen Pol bildet ein Zinkflächchen von 5 mm Durchmesser und 5—6 cm Länge, oder ein entsprechend großer Streifen Zinkblech; das Zink steckt ebenfalls in einem passenden Kork. Der Zinkstab wird, soweit er in die Cuvette eintaucht, sorgfältig amalgamiert, an dem oberen Ende werden beide Electroden mit Smirgel blank gemacht.

Man klemmt nun zunächst den Kupferdraht so ein, daß der 4 cm lange Schenkel wagrecht nahe dem Boden der Cuvette liegt, den Zinkstab befestigt man so, daß sein unteres Ende ca. 1 $\frac{1}{2}$ cm über dem wagrechten Stück des Kupferdrahtes hängt. Die Cuvette füllt man nun mit soviel 10—15% Schwefelsäure, daß der Zinkstab 2—3 cm eintaucht und bringt das Ganze auf das Tischchen des Skioptikons. Man sieht dann auf dem Schirm die Schattenbilder der beiden Metalle, die leicht an ihrer Form zu unterscheiden sind. An dem Zink macht sich gewöhnlich nur eine sehr schwache Gasentwicklung bemerkbar. Verbindet man nun die blanken Enden der beiden Metalle durch einen blanken Kupferdraht oder streifen, so tritt eine stürmische Gasentwicklung an dem Kupfer auf, die in dem Bild sehr schön zu erkennen ist: es ist der bei der Auflösung des Zinks frei werdende Wasserstoff.

Nun schichtet man vorsichtig mit einer spitzen Pipette eine concentrirte Lösung von Kupfervitriol unter die Schwefelsäure, so daß der wagrechte Schenkel des Kupferdrahtes damit ca. 2 cm hoch bedeckt ist. Schließt man nun den Strom, so zeigt sich die Gasentwicklung nur noch an dem senkrechten, von der Schwefelsäure umgebenen Theil des Kupferdrahtes, an dem wagrechten, in der Kupfervitriollösung liegenden Theil dagegen scheidet sich kein Wasserstoff, sondern Kupfer ab. In dem projicirten Bilde ist dieser, der hohen Stromdichte wegen ziemlich schwammige Kupferrückschlag nicht besonders genau zu sehen, man zeigt ihn nach der Beendigung des Versuchs an dem herausgenommenen Kupferdraht. Ist die Stromstärke groß und die Kupfervitriollösung nicht concentrirt genug, so scheidet sich auch an dem unteren Theil des Kupferdrahtes etwas Wasserstoff ab, eine Erscheinung, die den Nutzen der Ballonelemente und ähnlicher Vorrichtungen bei Daniellelementen erläutert.

9. Einfaches Magnetometer mit Spiegelablesung.

Ein guter kreisrunder Spiegel — ich benutze dazu den Planispiegel eines kleinen Mikroskops von 35 mm Durchmesser — wird am Rand mit einer kleinen Drahtöse versehen. Dieselbe läßt sich leicht mit Leim auf die Rückseite des vorsichtig erwärmten Spiegels aufkleben. Ebenfalls auf die Rückseite des Spiegels klebt man mit drei Tropfen Leim einen rechteckigen Glimmerflügel von ca. 5 cm Breite und 10 cm Länge so auf, daß die kurze Rechteckseite ungefähr durch die Mitte des Spiegels geht und wagrecht liegt, wenn dieser frei aufgehängt wird. Den Magneten fertigt man aus einem Stück Uhrfeder von 5 mm Breite und 30 mm Länge; die Hälfte, die zum Südpol werden soll, schleift man, wie üblich, mit feinem Smirgelpapier blank, die andere läßt man blau. Nachdem man die Nadel magnetisirt hat, klebt man sie mit Canadabalsam (in Aylol gelöst, wie er zum Mikroskopieren gebraucht wird) dicht unter den Spiegel auf das Glimmerblatt. Das Ganze hängt man nun an einen Coconfaden in ein Gehäuse, dessen Seitenwände zugleich als Dämpferplatten dienen.

Das Gehäuse stellt man folgendermaßen her. Aus altem, trockenem Holz läßt man ein rechteckiges Brett von ca. 38 cm Länge und 10 cm Breite bei 2 cm Dicke anfertigen, das mit zwei Messingschrauben senkrecht auf ein passendes Fußbrett aufgeschraubt werden kann. Auf der einen Seite befestigt man nun einen Rahmen, den man aus drei einfachen Holzlinealen (30 cm lang, 1,1 cm \times 1,1 cm Querschnitt, per Stück ca. 10 S) herstellt. Ein solches Lineal zersägt man zunächst in zwei Stücke von 19 und zwei Stücke von 5 cm Länge. Das eine 10 cm lange Stück durchbohrt man genau in der Mitte mit dem Drillbohrer und glättet das Loch mit einer Stahlnadel, die etwas dicker als der Bohrer ist. Dies Stück schraubt man auf die eine Fläche des rechteckigen Bretts, dicht an die obere, kurze Kante. Unter der oberen Kante verstehe ich diejenige, die oben liegt, wenn das Instrument auf dem Fußbrett steht. An die beiden Längskanten schraubt man zunächst die beiden ganzen Lineale, läßt dann jederseits ein Stück von ca. 4 mm frei, dann kommen die beiden Stücke von 5 cm Länge. Das übrig bleibende 10 cm lange Stück schraubt man parallel der unteren schma-

len Kante dicht an die unteren Enden der 5 cm. langen Stücke. Zum Anschrauben dienen Messing-schrauben, deren Köpfe in die Lineale versenkt werden.

Auf diese Art entsteht ein aufrechtstehender, flacher Kasten von 11 mm Tiefe, 7,8 (= 10 — 2,1,1) cm lichter Breite und 35,4 (= 30 + 0,4 + 5) cm Höhe; der Boden wird von dem Brett, die Seitenwände werden von den Linealen gebildet. Die beiden kleinen 0,4 cm breiten Spalten verschließt man durch aufgeleimte Deckgläschen von 10 mm Kantenlänge.

Der Deckel dieser Schachtel wird nun von Glasplatten gebildet. Man kann dazu die Glasplatten unbrauchbarer Negative von 9×12 cm verwenden, denn eine einzige Glasplatte von der erforderlichen Länge ist nicht eben genug, und, wenn sie aus Spiegelglas hergestellt wird, zu theuer. Nur an der Stelle, wo der Spiegel hinkommt, stellt man zweckmäßig den Deckel aus einem Streifen Spiegelglas her. Um die Platten zurechtzuschneiden, legt man zunächst den Glimmerflügel mit Magnet und Spiegel so auf das Brett, daß die drei freien Ränder desselben etwa gleiche Abstände von dem unteren und den zwei seitlichen Rändern des Kastens haben. Die Mitte des Spiegels wird dann ca. 12 cm über der Oberseite des Fußbretts liegen, das die ganze Vorrichtung tragen soll. Die unterste Platte, die auf dem Fußbrett aufstehen soll, darf also etwa nur 9 cm hoch sein, damit keine Fuge vor den Spiegel oder nahe an denselben kommt. Vor den Spiegel kommt dann eine Platte aus Spiegelglas, die ca. 6 cm hoch ist. Für den oberen Theil des Deckels kann man wieder gewöhnliches Glas nehmen, entweder eine Platte oder auch zwei, die zusammen ca. 23 cm hoch sind. Die Breite sämtlicher Platten soll 9 cm betragen, so daß, wenn man dieselben auf den Kasten deckt, auf den die Seitenwände bildenden Linealen jederseits ein Rand von 5 mm frei bleibt. In diesen Rand kommen kleine Messinghaken, die man in vorgebohrte, etwas zu enge Löcher einsteckt, so daß sie über die Glasplatten übergreifen und sie so festhalten. Man stellt sie aus kleinen, im rechten Winkel gebogenen Stückchen Messingdraht her, derer längeren (etwa $1\frac{1}{2}$ cm großen) Schenkel man spitz feilt.

Jede Glasplatte wird von 4 solchen Stiften gehalten, die in der Nähe des oberen und des unteren Randes stehen. Auf die schmalen Seiten kommen keine Hälften, unten steht die unterste Glasplatte auf dem Fußbrett auf, und der obere Rand der obersten bleibt frei. Die Haken brauchen die Glasplatten nicht fest anzupressen; sind die unteren Platten etwas dünner als die oberen, so kann man leicht sämtliche Platten nacheinander nach oben herauschieben, wenn man den Kasten öffnen will.

Ist der Kasten soweit fertig, so kann man die Nadel aufhängen. Ein Coconfaden von 30 cm Länge wird in der Dese am Spiegel befestigt und dieser mit Magnet und Glimmerblatt wie oben beschrieben, in den geöffneten Kasten gelegt. Dann sädelst man das freie Ende des Coconfadens in eine feine Nadel und zieht ihn mit Hilfe derselben durch das Loch in der Mitte der oberen Schmalseite, bis der Faden sich straff anspannt. Dann steckt man von außen ein Stück einer dicken Stahl- oder Messingnadel in das Loch und klemmt so den Faden fest. Dann stellt man das Instrument mit dem Fußbrett auf eine annähernd horizontale Tischfläche, so daß das Brett und die Glasplatten der Ebene des magnetischen Meridians parallel laufen. Sollte der Spiegel nicht in der gewünschten Höhe hängen, so faßt man das herausragende Ende des Coconfadens, lockert die ihn einklemmende Nadel und corrigiert den Fehler.

Zur genauen Einstellung beim Gebrauch dienen 2 flache Holzkeile, wenn man nicht Stellschrauben anbringen will. Zunächst muß, wenn der Apparat in der Ebene des magnetischen Meridians steht, das Glimmerblatt völlig frei schweben. Man erreicht dies, indem man vorn oder hinten unter das Fußbrett den einen Keil einschleibt. Nun muß, wenn der Apparat richtig im Meridian aufgestellt war, das Glimmerblatt dem vertikalen Brett und der Glasplatte parallel genau in der Mitte zwischen beiden stehen. Man kontrolliert dies, in dem man den Rand des Glimmerblattes durch die beiden seitlichen Fensterchen betrachtet; beide Ränder müssen in der Mitte der Fensterchen stehen. Fehler corrigiert man durch geringes Drehen des Apparats um seine vertikale Achse. An der rechten oder linken Wand wird das Glimmerblatt bei dem großen Spielraum wohl kaum anliegen, will man ganz genau einstellen, so schiebt man rechts oder links einen kleinen Keil unter, man muß dann aber auch den anderen Keil etwas nachstellen.

Die Projection des Lichtzeigers auf die Scala geschieht wie gewöhnlich.

Das bewegliche System wiegt bei meinem Instrument etwas über 4 g, bei den angegebenen

Größenverhältnissen der Dämpfungsvoorrichtung ist die Einstellung nicht ganz aperiodisch, sondern die Nadel geht erst ein wenig über ihre neue Gleichgewichtslage hinaus. Durch teilweises Mitastieren mit einem genäherten Magneten kann man aber leicht eine aperiodische Einstellung bewirken. Der Magnet kann auch dazu dienen, um der Nadel eine bestimmte Ruhelage außerhalb des Meridians zu geben.

Bei der angegebenen Einrichtung sind nach beiden Seiten Ausschläge von 11° möglich, der Winkel den der Lichtzeiger beschreibt, ist also jederseits 22° . Dieser Ausschlag erfordert in 5 m Abstand eine 4 m lange Scala.

Man kann den Apparat vielfach anwenden; beispielsweise zu den von *R u h f a h l* in der Zeitschrift für physikalischen und chemischen Unterricht im 10. Jahrgang beschriebenen Versuchen; man kann ihn durch auf der Rückseite des Brettes anzubringende Rollen von ca. 10 cm Durchmesser mit einer oder mehreren Windungen leicht in eine *Gaugain-Helmholtzsche Tangentenbussole* mit Spiegelablesung und guter Dämpfung verwandeln, deren Ausschläge allen Schülern bequem sichtbar und für größere Versuche hinreichend genau den Stromstärken proportional sind.

Um die Ausschläge in den Grenzen von 11° zu halten, dienen die gewöhnlichen Mittel: stärkere Nichtmagnete, Spulen von verschiedenem Durchmesser mit verschiedener Windungszahl in größerem oder kleinerem Abstand, Widerstände im Stromkreis oder Nebenschlüsse.

10. Darstellung des Wegs von Lichtstrahlen.

Zur Veranschaulichung des Strahlengangs bei der Reflexion, Brechung etc. benutze ich einen Holzschirm, der mit weißer Farbe angestrichen ist und auf den die Strahlen in der schon mehrfach empfohlenen Weise streifend auffallen. Der Schirm kann quadratische Form haben, bei einer Länge der Kanten von etwa 40 cm. Die Farbe besteht aus Kreide, etwas gebrannter Magnesia und ganz dünner Gummilösung. Die Mengenverhältnisse wählt man so, daß die Farbe gut deckt (beim ersten Anstrich schon!) und nach dem Trocknen nicht abfärbt. Kreide und Magnesia gemischt geben ein schöneres Weiß als Kreide allein.

Man versteht das Skioptikon mit dem Spaltansatz, stellt den Spalt wagrecht und das Objektiv so ein, daß der Spalt sich im Brennpunkt befindet. Dann bringt man in den Weg des aus dem Objektiv heraustretenden Strahlenbündels den Schirm, zunächst senkrecht zur optischen Achse. Sein Abstand vom Skioptikon sei etwas über eine halbe Schirmbreite. Man bemerkt auf dem Schirm dann einen oben und unten scharf, an den beiden Seiten verwaschen begrenzten Lichtfleck. Der obere und untere Rand erscheint um so schärfer, je enger der Spalt ist. Man rückt den Schirm so, daß der Fleck in die Mitte fällt, und dreht ihn dann so, daß die Schirmfläche mit der Achse des Skioptikons einen sehr spitzen Winkel bildet. Dabei dehnt sich der Lichtfleck zu einem wagrechten Band aus, das oben und unten scharf begrenzt bleibt. Man drehe den Schirm nicht weiter, als bis das Band oben und unten parallele scharfe Ränder zeigt, dreht man zu weit, so nimmt die Helligkeit zu sehr ab.

Aus diesem Strahlenbündel lassen sich nun einzelne „Strahlen“ durch Pappblenden isolieren, die man vorn an dem Objektiv des Skioptikons anbringt. Je nach der Zahl von Strahlen, die man wünscht, tragen diese Blenden 1—5 etwa 3 mm breite parallele Spalten, die wie der Spalt des Spaltansatzes wagrecht gestellt werden. Man erhält dann auf dem Schirm einen oder mehrere unter einander parallele Strahlen, die durch dunkle Zwischenräume getrennt sind. Je näher der Schirm am Skioptikon steht, desto schärfer sind sie begrenzt.

Hält man in den Weg der Strahlen, senkrecht auf den Schirm, einen Spiegel, so erscheint auf dem Schirm der reflectierte Strahl; eine ebenso angebrachte unbelegte Glasplatte zeigt den reflectierten und den durchgelassenen Strahl; bei passender Drehung der Glasplatte kann man deutlich das Wachsen der Intensität des reflectierten, und die Abnahme des durchgelassenen Lichts bei wachsendem Einfallswinkel beobachten. Dicker Platten zeigen gut die parallele Verschiebung des durchgelassenen Strahls, doch ist dies nur deutlich zu sehen, wenn man parallel zu den brechenden Flächen auf den Schirm blickt.

Ein Prisma zeigt die Brechung und das Minimum der Ablenkung, wenn man es mit der Grundfläche auf den Schirm hält.

Linse und sphärische Spiegel muß man an den dem Skioptikon zugewandten oder von ihm

abgewandten Rand des Schirms bringen, so daß ihre optische Achse etwa in die Schirmfläche fällt. Besonders Sammellinsen und Spiegel zeigen die Convergenz des Lichtes sehr schön. Man kann auf diese Art sogar ziemlich genau die Brennweite messen. Ich habe die Versuche bis jetzt nur mit Auerlicht ausgeführt, Lichtquellen von kleinerer Ausdehnung werden wahrscheinlich eine etwas andere Anordnung bedingen. Ich hoffe, bald in der Lage zu sein, die Versuche mit elektrischem Licht auszuführen, mit Hilfe dessen die Erscheinungen wohl wesentlich glänzender ausfallen werden.

11. Das Chermoskop mit Silberquecksilberjodid.

Zur Herstellung der Schirme mit Silberquecksilberjodid rühre ich das Pulver mit Alkohol an, der auf 10 ccm einige Tropfen Schellacklösung enthält. Die so hergestellte Farbe trage ich mit dem Pinsel auf dünne 0,02—0,03 mm dicke Glimmerplatten auf, die man mit dem Stiel eines Scalpells leicht von dickeren Platten abspalten kann, wie man sie zur Herstellung von Fenstern an Defen benutzt. Ein solches Glimmerblatt klebe ich vor dem Auftragen der Farbe mit Leim auf eine Papp- oder besser Zinkblechscheibe, die eine Oeffnung besitzt, welche etwas kleiner ist als das Glimmerblatt. Dieser Rahmen schützt das Glimmerblatt, und wenn man den Anstrich auf die dem Blech zugewandte Seite aufträgt, auch die Jodidschicht vor Beschädigungen. Die andere Seite des Glimmerblatts bestreiche ich mit Ruß, der wie das Jodid mit Alkohol und etwas Schellacklösung angerieben wird. Auf die berußte Seite läßt man die Wärmestrahlen fallen. Man erhält so einen Schirm von geringer Wärmecapazität und möglichst großem Absorptionsvermögen, dessen wärmeempfindliche Seite bequem während der Bestrahlung beobachtet werden kann.

Hält man diesen Schirm mit der berußten Seite gegen einen Ofen, so wird er in einer gewissen Entfernung roth, bringt man aber, ehe man den Schirm dem Ofen nähert, in geringem Abstand von der berußten Fläche einen Ring oder einen Schlüssel an, so erscheint bei genügender Annäherung an den Ofen ein gelber Schatten auf rothem Grund. Die Schatten sind nicht besonders scharf, da die strahlende Fläche groß ist, also ein breiter Halbschatten und nur ein kleiner Kernschatten entsteht, man muß deshalb den schattenwerfenden Körper nahe an den Schirm bringen.

Selbst geringe Temperaturdifferenzen lassen sich auf einem solchen Schirm nachweisen. Entwirft man mit dem Hohlspiegel eines Mikroskops — der von mir benutzte hatte 5 cm Durchmesser und 9 cm Brennweite — auf der geschwärtzten Rückseite des Schirms ein Bild einer mäßig weit entfernten Petroleumflamme, und nähert dann der Jodidseite des Schirms eine erwärmte Glasplatte — man wählt Glas, um den Schirm durch die Platte beobachten zu können —, so erscheint ein rother Fleck, der ungefähr die Form und Ausdehnung des Flammenbildes auf der Rückseite hat. Daß das Wärmebild nicht ganz scharf ist, rührt wahrscheinlich von der Wärmeleitung innerhalb der Schichten des Schirmes her.

Das Annähern der warmen Glasplatte hat den Zweck, das Jodid soweit zu erwärmen, daß die geringe, durch das Flammenbild erzeugte Temperaturerhöhung hinreicht, den Farbenumschlag hervorzurufen.

Versuche, die gewissermaßen eine Erweiterung des von Weinhold in seinen Demonstrationen pag 463 beschriebenen Versuchs darstellen, lassen sich leicht mit Stanniolstreifen machen, die man auf der matten Seite mit einem Jodidansrich versieht. Einen Theil der glatten Seite läßt man blank, auf einen andern trägt man mit Alkohol und etwas Schellack angeriebenen Ruß auf und auf einen dritten Alaunpulver, das man ebenso mit etwas Wasser anreibt. Liegt die blank gelassene Stelle in der Mitte des Schirmes, so wird diese gelb bleiben, wenn man den Streifen in die Nähe des Ofens bringt, während das obere und das untere, mit Alaun resp. Ruß bedeckte Drittel wegen der stärkeren Absorption sich röthen. Dies ist das Resultat, wenn die Jodidseite von der Wärmequelle abgewandt ist. Nähert man aber denselben Streifen der Wärmequelle so, daß die Jodidseite der Wärmequelle zugewandt ist, so ist offenbar das Absorptionsvermögen an allen Stellen des Streifens dasselbe, das Emissionsvermögen ist aber an der berußten und an der mit Alaun bedeckten Stelle größer als an der blanken und deshalb erwärmt sich die letztere am stärksten und der Streifen wird zuerst in der Mitte roth. Eine einfachere Veranschaulichung des Kirchhoff'schen Satzes von dem Verhältniß des Absorptions- und Emissionsvermögens ist wohl kaum denkbar.

Man kann diese Versuche natürlich vielfach variieren; wer im Besitz von Steinsalzpräparaten ist, wird wahrscheinlich noch einen oder den andern hübschen Versuch in der Art der von Tyndall in seinem Buch über die Wärme beschriebenen anstellen können, besonders wenn er in der oben angegebenen Weise die Glasplatte zur Erwärmung des Schirms bis nahe an die Temperatur des Farbenumschlags benutzte.

Man könnte vielleicht auf den Gedanken kommen, die Erwärmung des Schirms nahe an jene Temperaturgrenze ließe sich dadurch erreichen, daß man den Anstrich auf der Wand eines mit Wasser gefüllten Gefäßes anbringt, das man auf einer entsprechenden Temperatur erhält. Damit erreicht man aber nichts, denn die Wärmecapazität wird dann viel zu groß. Eben um diese möglichst klein zu machen, habe ich Glimmer gewählt, der sich leicht in dünne und doch ziemlich widerstandsfähige Platten spalten läßt. Der Rußanstrich ist bei den Glimmerschirmen ebenso vorteilhaft wie bei den Stannioleschirmen, weil die blanke Glimmeroberfläche auch die dunklen, von einem Ofen ausgehenden Wärmestrahlen merklich weniger absorbiert als Ruß oder Alaun, wenn mir auch der Unterschied bei einem Versuch mit einem Glimmerschirm nicht so groß zu sein schien, wie bei der Verwendung von Stannioleschirmen.

