

Zeitschrift

für den

Physikalischen und Chemischen Unterricht.

XXI. Jahrgang.

Fünftes Heft.

September 1908.

Über Schlierenbeobachtungen.

Von

A. Weinhold in Chemnitz.

Die Abhandlung von DVOŘÁK (ds. Zeitschr. XXI S. 17 ff.), die zusammen mit der in *Wied. Ann.* 1880, Bd. IX S. 502—511¹⁾ veröffentlichten eine sehr schätzenswerte Bereicherung unserer experimentellen und insbesondere auch demonstrativen Mittel liefert, scheint mir in der Beurteilung der TÖPLERSchen Schlierenmethode nicht ganz das Richtige zu treffen.

Die Frage, ob die TÖPLERSche Methode ein getreues Abbild der Schliere liefert, ist bedingungslos weder zu bejahen noch zu verneinen.

Daß die TÖPLERSche Methode mit geradlinig begrenzter, nahezu das halbe Objektiv des Analysators verdeckender Blende nicht jede vorhandene Schliere zu zeigen braucht, ist von TÖPLER gleich anfangs (*Beobachtungen nach einer neuen optischen Methode*, Bonn 1864, S. 5; *Ostwalds Klassiker* 157, S. 7) deutlich genug hervorgehoben worden. Bemerkbar machen sich unmittelbar nur diejenigen Abweichungen vom regelmäßigen Strahlengange, die eine Ablenkung in einer der Blendenkante nicht parallelen Ebene bewirken. Ist die Blende so eingestellt, daß das Bild der Illuminatoröffnung völlig verdeckt, das Gesichtsfeld also da, wo sich keine Schlieren befinden, völlig dunkel ist, so werden überdies nur die Schlierenteile als helle Stellen bemerklich, die die Strahlen nach der unabgeblendeten Seite des Analysatorobjektives hin ablenken. Ist dagegen die Blende nicht ganz so weit vorgeschoben, so daß das Gesichtsfeld noch schwach hell ist, so werden durch größere Dunkelheit auch die Schlierenteile sichtbar, die das Licht nach der abgeblendeten Objektivhälfte hin ablenken; deshalb ist es für viele Beobachtungen ratsam, auf nicht ganz völlige Dunkelheit einzustellen (TÖPLER, a. a. O. S. 11 bzw. 15); sollen bei Einstellung auf völlige Dunkelheit alle Schlierenteile sichtbar werden, so muß man der Blendenkante nacheinander verschiedene Stellungen geben (a. a. O. S. 5 bzw. 8).

Wichtig ist, daß die TÖPLERSche Schlierenmethode ihrer besonderen Art nach ganz vorwiegend zum Nachweis sehr geringfügiger Abweichungen vom normalen Strahlengange bestimmt ist. Will man bei der theoretischen Betrachtung der Methode eine schematische Schliere (sei sie in oder vor dem Kopfe des Apparates) von bestimmter Form (prismatisch, linsen- oder kugelförmig) annehmen, so darf ihr Brechungsindex immer nur sehr wenig verschieden von dem des umgebenden Mittels gedacht werden, wenn man nicht zu einer schiefen Beurteilung der Sache kommen will.

Bei Einstellung auf völlige Dunkelheit können nur diejenigen vom normalen Gange abweichenden Strahlen Veranlassung zum Sichtbarwerden von Schlierenteilen

¹⁾ Die Figurenummern im Texte der angeführten Abhandlung stimmen nicht mit denen der dazugehörigen Tafel überein; es gehören zu den Textnummern 8, 9, 10, 11, 12, 13 die Tafelnummern 7, 8, 9, 12, 10, 11.

geben, die noch den unverdeckten Teil des Analysatorobjektivs treffen. Bei der Beobachtung wirklicher Schlieren wird das fast immer der Fall sein; Ablenkungen um mehr als den Halbmesser des Analysatorobjektivs werden da kaum vorkommen. Je größere Abweichungen vom normalen Strahlengange man beobachten will, um so größer muß das Objektiv des Analysators sein. (Bei nicht ganz verdunkeltem Gesichtsfeld wirken Ablenkungen nach der Seite der unabgeblendeten Objektivhälfte, aber bis über sie hinaus natürlich ebenso wie Ablenkungen nach der abgeblendeten Seite; d. h. sie geben Veranlassung zur Entstehung dunkler Stellen.)

Setzt man als Schliere ein Prisma oder eine Linse von Glas in einer Umgebung von Luft, so erhält man viel stärkere Ablenkungen, als sie bei wirklichen Schlieren in der Regel vorkommen, selbst wenn man das Prisma sehr spitzwinklig, die Linse sehr schwach gekrümmt annimmt.

Dann kann es bei dem Prisma vorkommen, daß es alle Strahlen bis über den Rand des Analysatorobjektivs hinaus ablenkt, so daß es bei Einstellung auf völlige Dunkelheit gar keine bemerkbare Wirkung hervorbringt und nur bei Einstellung auf schwache Helligkeit dunkel erscheint. Bei der Linse wird nur ein Teil der abgelenkten Strahlen noch die freie Objektivhälfte treffen, wie es bei DVOŘÁK (ds. Zeitschr. XXI S. 18. u. 19) der Fall ist; dann erscheint bei Einstellung auf völlige Dunkelheit natürlich nur der Teil der Linse hell, von dem die Strahlen noch auf die freie Objektivhälfte treffen. Aber auch in diesem Falle ist der gesehene „Zerstreuungs(halb)kreis“ insofern noch ein richtiges Bild des fraglichen Objekts, als er genau erkennen läßt, welches die Teile der Linse sind, die durch ihre Ablenkung der Strahlen die Helligkeit hervorbringen — nur ist er natürlich nicht ein Bild der ganzen Linse.

Daß man von einer wirklichen Schliere kein scharf begrenztes Bild, sondern eines mit mehr oder weniger verwaschenen Rändern erhält, ist keineswegs ein Mangel der optischen Abbildung, sondern es ist eine einfache Folge der Beschaffenheit der Schliere, deren Brechungsindex sich nicht sprungweise ändert, sondern stetig in den des umgebenden, homogenen Mittels übergeht.

Von Schlieren in oder vor dem Kopfe des Apparates gibt die TÖPLERSche Methode vollkommen richtige optische Bilder, insoweit diese Schlieren die Strahlen nach der Seite der unabgeblendeten Hälfte des Analysatorobjektivs und (bei völlig dunklem Gesichtsfelde) nicht über den Rand dieser Hälfte hinaus ablenken.

Im Gegensatz zu den im eigentlichen Sinne optischen Bildern der TÖPLERSchen Methode liefert die von DVOŘÁK eine Art Schattenbilder (DVOŘÁK, *Wied. Ann.* 1880, Bd. IX S. 504). Von eigentlichen Schattenbildern unterscheiden sie sich dadurch, daß sie nicht wie diese durch geradlinigen Strahlengang, sondern durch geringe Abweichungen von diesem erzeugt werden¹⁾. Streng genommen können also die DVOŘÁKschen Bilder den erzeugenden Objekten nicht vollkommen geometrisch ähnlich sein. In manchen Fällen, so bei den schönen, in Fig. 6 und 8 der DVOŘÁKschen Abhandlung (ds. Zeitschr. XXI S. 22 u. 23) dargestellten Versuchen zeigt sich das ja sehr augenfällig; hier sind die Grenzen zwischen Dampf- oder Luftschliere und dem benachbarten starren Körper stark verschoben. (Eine ganz schwache Zerstreuungslinse — etwa $\frac{1}{2}$ Dioptrie — in den divergierenden Strahlenkegel gehalten, zeigt gleichzeitig das wirkliche, dunkle Schattenbild und das erheblich vergrößerte, helle Bild, das die abgelenkten Strahlen erzeugen.)

Ist die Entfernung des zu untersuchenden Objektes vom Schirme klein gegen die Entfernung der kleinen Öffnung, durch die die Lichtstrahlen austreten, wie bei

¹⁾ Beugungserscheinungen kommen bei TÖPLERSchen, bei DVOŘÁKschen Schlierenbildern und bei Schattenbildern vor und können hier unberücksichtigt bleiben.

den Untersuchungen von EMDEN (*Wied. Ann.* 1899, Bd. 69, S. 264), so kann die Abweichung von der geometrischen Ähnlichkeit praktisch vernachlässigt werden. Auch bei Gas- und Dampfstrahlen ist die Abweichung von der geometrischen Ähnlichkeit oft unerheblich, weil sich bei diesen, sie mögen stärker oder schwächer brechend sein als die umgebende Luft, im Bilde vorzugsweise die Randteile wegen der stärkeren Ablenkung infolge großen Einfallswinkels als dunkle Schatten bemerklich machen.

Nahezu planparallele Gläser lassen sich nach beiden Methoden gut untersuchen; passende Objekte sind dafür die besseren Rathenower planparallelen Brillengläser. Sind die Abweichungen vom Planparallelismus etwas stark, so macht sich bei der DVOŘÁK'schen Methode die Bildverzeichnung stark bemerklich; bei der TÖPLER'schen kann die zu starke Ablenkung bei Benutzung des ganz verdunkelten Gesichtsfeldes das untersuchte Glas ganz dunkel erscheinen lassen, so daß man besser mit mäßig verdunkeltem Feld arbeitet.

Für die genauere Prüfung guter Linsen auf kleine Fehler in der Beschaffenheit des Glasmateriales oder in der Form kann nur die TÖPLER'sche Methode in Betracht kommen; die von der Linse verursachte starke Lichtbrechung läßt die schwachen, von kleinen Fehlern bedingten Ablenkungen bei Verwendung der DVOŘÁK'schen Methode gar nicht hervortreten. Ein von mir als Kopf eines Schlierenapparates benutztes, sehr gutes STEINHEIL'sches Objektiv von 81 mm Öffnung und 125 cm Brennweite zeigt bei empfindlicher Einstellung des Apparates sehr deutlich eine äußerst feine, gekrümmte, etwa 12 mm lange, fadenförmige Schliere und eine etwa 2 qcm große, aber ganz zart wolkige; wegen der verschwindend kleinen Fläche der einen und der minimalen Abweichung im Brechungsindex der anderen beeinträchtigen sie die optische Wirkung beim Gebrauch der Linse als Fernobjektiv in keiner Weise — nach der DVOŘÁK'schen Methode sind sie nicht zu bemerken. (Von Linsen, die auf Schlieren zu prüfen sind, wird man solche von einigermaßen passender, positiver Brennweite selbst als Kopf des Schlierenapparates benutzen, solche von sehr großer, positiver oder negativer Brennweite mit einem vorhandenen Kopf zu einem System kombinieren, dann aber natürlich den Analysator so aufstellen, daß das von dem kombinierten System erzeugte Bild der Illuminatoröffnung auf der Analysatorblende scharf erscheint; ist die untersuchte Linse kleiner als der mit ihr kombinierte Kopf, so müssen natürlich die überragenden Teile abgeblendet werden.)

Für die Beobachtung von Schlieren in gasförmigen und tropfbaren Körpern nach der TÖPLER'schen Methode, insbesondere auch zur Beobachtung der Ausbreitung, Reflexion und Brechung der Schallwellen, läßt sich als Kopf des Apparates anstatt eines Kamera- oder Fernrohrobjektives sehr gut auch ein sphärischer Hohlspiegel benutzen. (TÖPLER [*Pogg. Ann.* 1866, Bd. 128, S. 136; *Ostw. Kl.* 158, S. 95] bezweifelt, daß sich seine „Beobachtungen“ mit einer katoptrischen Vorrichtung wiederholen lassen; für viele derselben aber ist das recht gut möglich.) Ich verwende einen auf der Vorderseite versilberten STEINHEIL'schen Glasspiegel von 162 mm freier Öffnung und 258 cm Krümmungshalbmesser; die Erscheinungen sind dabei so lichtstark, daß anzunehmen ist, es würde auch ein unversilberter Spiegel genügen, wenn dessen mattgeschliffene Rückseite mit schwarzem Lack gestrichen wird. Ein solcher Spiegel kostet $\frac{1}{2}$ — $\frac{1}{4}$ so viel als eine Linse und ist an sich völlig achromatisch; will man Schallwellen beobachten, so genügt bei exzentrischer Lage des schallerzeugenden Funks ein Spiegel von 70—80 mm Öffnung.

Die Empfindlichkeit der Methode ist bei Verwendung eines Spiegels für gleichen Abstand von Kopf (Spiegel) und Analysator noch größer als bei Benutzung einer Linse, weil die Strahlen das (immer möglichst nahe vor dem Spiegel anzubringende) Objekt zweimal durchsetzen. Illuminator und Analysator müssen allerdings vom Spiegel beide um dessen Krümmungshalbmesser abstehen, während bei einem Linsenkopf die Entfernung des ersteren kleiner, die des letzteren größer gemacht werden

kann als die doppelte Brennweite. Bei meinem Apparate ist der Illuminator 2 cm links, der Analysator 2 cm rechts vom Krümmungsmittelpunkte des Spiegels angebracht.

Der ganze Apparat läßt sich bei Verwendung eines Spiegels gut auf einem kräftigem Gestell aus starken Latten anbringen, wie in Fig. 1 im Grundriß angedeutet. Vier durch schräge Latten *a* versteifte Füße *b* sind so lang, daß die optische Achse des Analysatorfernrohres in die Augenhöhe des auf einem Stuhle sitzenden Beobachters kommt, wenn das Gestell auf dem Experimentiertisch steht. Ein vertikales Brett *c* trägt den Spiegel, ein horizontales *d* den Illuminator *e* und das Analysatorfernrohr *f*. Der breite, flache Rand der Spiegelfassung ist an drei um 120° voneinander abstehenden Stellen durchbohrt; durch diese Bohrungen gehen ziemlich

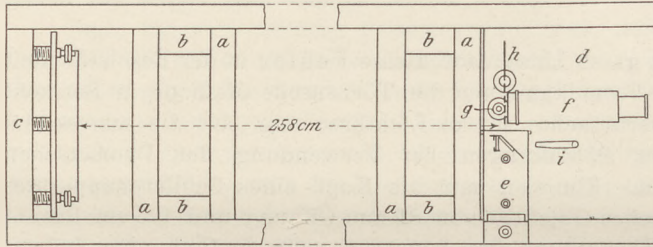


Fig. 1. $\frac{1}{10}$ nat. Gr.

lange Schraubenspindeln, die mit ihrem hintern Teile in dem vertikalen Brett *c* befestigt sind; zwischen Brett und Spiegelfassung liegen über die Schraubenspindeln geschobene Spiralfedern, die die Spiegelfassung von dem Brett abdrücken, während auf dem vorderen Teil der

Schraubenspindeln befindliche Muttern die Spiegelfassung gegen die Federn drücken; durch Drehung dieser Muttern läßt sich die Stellung des Spiegels leicht so regeln, daß das Bild der Illuminatoröffnung auf die Blende des Analysators fällt.

Das Analysatorfernrohr ist auf einem Vertikalsäulchen so angebracht, daß seine optische Achse in gleicher Höhe mit der Mitte des Spiegels liegt; es läßt sich um eine horizontale und eine vertikale Achse drehen, so daß man es genau auf die Mitte des Spiegels, beziehentlich auf das vor dem Spiegel befindliche Objekt einstellen kann. Etwa 1 cm vor dem Objektiv des Analysators ist ein Säulchen *g* angebracht, in dem sich die Träger der verschiedenen Blenden in vertikaler Richtung verstellen lassen. Die Träger sind Messingstäbchen, die nach unten eine lange, dünne Schraubenspindel tragen; eine unterhalb des Brettes *d* befindliche Schraubenmutter zieht beim Anziehen das Stäbchen mittels der Schraubenspindel nach unten, während eine in dem Säulchen *g* liegende, die Schraubenspindel umgebende Spiralfeder das Stäbchen nach oben drückt, wenn man die Schraubenmutter zurückdreht; das Stäbchen läßt sich also durch Drehen der Mutter in vertikaler Richtung fein verstellen. Durch eine passende Führung in dem Säulchen ist das Stäbchen gegen eine Drehung um seine Vertikalachse geschützt.

Etwas seitwärts vom Analysatorfernrohr steht ein anderes Säulchen, das an einem kurzen, um eine horizontale Achse drehbaren Arme einen flachen, kreisförmigen Schirm *h* trägt, der beim wirklichen Gebrauche des Apparates nach rechts geklappt ist, sich aber beim anfänglichen Einstellen des Spiegels nach links (in die punktiert angedeutete Lage) klappen läßt, so daß er zwischen Blende und Fernrohrobjektiv liegt; die dem Spiegel zugewendete Seite des Schirmes ist mattweiß gestrichen. Das vom Spiegel entworfene Bild der Illuminatoröffnung auf diesem weißen Schirm erleichtert die Justierung der Stellung des Spiegels außerordentlich.

Für Versuche mit Dauerbeleuchtung, also für die Beobachtung von Luft-, Gas- und Dampfschlieren oder von Schlieren in Planparallelgläsern¹⁾ benutze ich meist

¹⁾ Zur Beobachtung von Schlieren in schwach konvex oder konkav geschliffenen Gläsern ist der nur für Demonstrationen bestimmte Spiegelapparat nicht geeignet, weil die Entfernung des Spiegels von Illuminator und Analysator unveränderlich ist.

kreisförmige Illuminatoröffnungen von 4 bis 10 mm Durchmesser und Blenden in Form ganz kurzer, abgestumpfter Kegel, deren kreisförmige Basisfläche entweder genau gleich groß wie die Illuminatoröffnung (und ihr Bild) ist oder eine Spur kleiner — ersteres für Beobachtung im ganz, letzteres für Beobachtung im nicht ganz verdunkelten Feld. Diese Anordnung, die der von ABBE (*Ostw. Kl. 158, S. 102*) ganz ähnlich ist, bietet den Vorteil, daß nicht nur die nach einer Seite (wie bei geradlinig begrenzter Halbkreisblende), sondern die nach allen Richtungen hin abgelenkten Strahlen zur Erzeugung des Schlierenbildes beitragen.

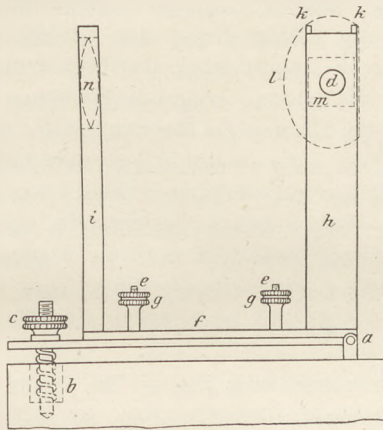


Fig. 2. $\frac{1}{3}$ nat. Gr.

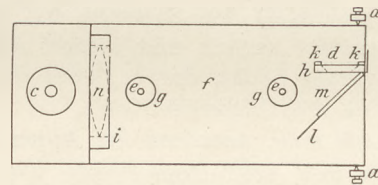


Fig. 3. $\frac{1}{3}$ nat. Gr.

Der in Fig. 1 bei *e* angedeutete Illuminator für Dauerbeleuchtung ist in Fig. 2 (Vorderansicht) und 3 (Grundriß) größer gezeichnet. Als Träger dieses und auch des Illuminators für Funkenbeleuchtung dient eine rechteckige Messingplatte, deren rechte Seite zwischen Schraubenspitzen *a* gelagert ist, deren linke durch eine, z. T. in einer Höhlung des Holzgestells liegende Spiralfeder *b* nach oben, durch eine Mutterschraube *c* nach unten gedrückt wird; beim Vor- und Rückwärtsdrehen von *c* bewegt sich die Illuminatoröffnung *d* um einige Millimeter nach links oder rechts, ihr Bild nach rechts oder links. Zwei Schraubenspindeln *ee* sitzen in der Messingplatte fest; eine zweite Messingplatte *f* ist mit passenden Durchbohrungen über diese Schrauben geschoben und wird durch die ziemlich langen Muttern *gg* festgehalten. Auf der Platte *f* sitzen zwei vertikale Platten *h* und *i*. In *h* ist die größte zur Verwendung kommende, nach dem Hohlspiegel zu konisch erweiterte Öffnung *d* von 10 mm Durchmesser unmittelbar angebracht; kleinere Öffnungen von 8, 6 und 4 mm Durchmesser befinden sich in kleinen, schüsselartig geformten Messingstücken, die mit einem konischen Teile in die Öffnung *d* passen, mit einem ebenen Rande sich an die dem Hohlspiegel zugewendete Seite von *h* anlegen; sie werden gehalten durch zwei schmale Stahlfedern *kk*, die den Rand der Schüsselchen gegen *h* drücken. Ein kreisförmiger Schirm *l* (in Fig. 2 nur punktiert angedeutet) bildet mit seinem größeren Teile mit *h* einen Winkel von 45° ; nur ein kleines Segment dieses Schirmes ist gegen *h* rechtwinklig. Der Schirm trägt einen kleinen, rechteckigen Spiegel *m* (in Fig. 2 auch punktiert). Die Platte *i* trägt eine Konvexlinse (Starbrillenglas) von 5 cm Brennweite (in beiden Figuren punktiert). Eine Gaslampe (Argand- oder Auerbrenner), deren Glaszylinder wie bei TÖPLER von einem runden, undurchsichtigen, nur mit einer passenden Öffnung versehenen Mantel umgeben ist, wird 10 cm links von *n* aufgestellt, so daß das aus der Öffnung des Mantels austretende Licht durch die Linse *n* und den Spiegel *m* auf die Illuminatoröffnung *d* konzentriert wird und durch diese auf den Hohlspiegel fällt.

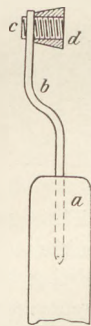


Fig. 4.

2-fach nat. Gr.

Fig. 4 zeigt in vergrößertem Maßstab die kleinste der bei Dauerbeleuchtung verwendeten Analysatorblenden. In das obere Ende des die Blende tragenden Messingstäbchens ist ein Stahldraht *b* von 1 mm Dicke eingesetzt; ein kleiner messingner Schraubenbolzen *c* ist mit einer

Durchbohrung auf diesen Draht aufgelötet; auf diesen Bolzen werden die Blenden d aufgeschraubt; die breitere Basisfläche der Blende ist natürlich dem Hohlspiegel zugewendet¹⁾.

Vor dem Gebrauch des Apparates klappt man den Schirm h (Fig. 1) vor das Analysatorobjektiv, richtet, wie oben angegeben, den Hohlspiegel mittels der drei Schrauben so, daß das Bild der Illuminatoröffnung zunächst auf den Schirm h und dann ziemlich genau auf die Analysatorblende fällt; dann stellt man das Öffnungsbild genau auf die Blende ein, indem man das die Blende tragende Stäbchen nach Bedarf hebt oder senkt und das Öffnungsbild durch Drehen an der Schraube c (Fig. 2 und 3) nach rechts oder links verschiebt. Nachdem man es dahin gebracht hat, daß bei der Blende für völlige Dunkelfeldbeleuchtung auf dem Schirm h kein Licht mehr zu erkennen ist, bei der Blende für nicht ganz verdunkeltes Gesichtsfeld ein ganz feiner Lichtkreis den Schatten der Analysatorblende auf dem Schirme h umsäumt, klappt man h zurück und justiert nun nötigenfalls noch genauer, indem man durch das Fernrohr blickt, durch Heben und Senken der Blende und durch seitliche Verschiebung des Öffnungsbildes²⁾.

Läßt man, nachdem der Apparat für Dauerbeleuchtung justiert ist, jemand mit ziemlich weit geöffnetem Munde vor dem Hohlspiegel vorbeihäuchen, so sieht man eine große Zahl schwach leuchtender Wellen das Gesichtsfeld durchlaufen; von einer vor den unteren Teil des Hohlspiegels gehaltenen Fingerspitze sieht man die warme Luft aufsteigen (im verkehrten Bilde des astronomischen Fernrohrs natürlich absteigen), und noch deutlicher beobachtet man die warme Luftströmung, wenn die Spitzen von Daumen und Zeigefinger unter kräftigem Druck gegeneinander gerieben werden. Ein mit Äthyläther befeuchtetes Stückchen Fließpapier, vor den oberen Rand des Spiegels gehalten, erscheint, als ob es mit großer Flamme brenne.

Zur raschen Vorführung vor einer größeren Zahl von Schülern eignet sich ganz besonders ein ganz schwacher Strom von Leuchtgas, den man aus der vor den unteren Rand des Hohlspiegels gebrachten Spitze eines Lötrohrs ausströmen läßt. Reguliert man den Gasstrom so, daß er angezündet ein Flämmchen von nur 8 mm Höhe und 4 mm Breite gibt, und bringt dieses dann zum Verlöschen, indem man es ausbläst oder den Zuführungsschlauch des Gases vorübergehend zudrückt, so sieht man den aufsteigenden Strom das ganze Gesichtsfeld durchziehen.

Zündet man das Flämmchen wieder an und verkleinert es durch weiteres Zudrehen des Gashahnes so sehr, daß es nur noch ein knapp 2 mm breites und knapp 1 mm hohes blaues Scheibchen bildet, so sieht man im Fernrohr den aufsteigenden Strom warmer Luft als einen sehr kräftigen, in der Mitte dunklen, an den Rändern hellen Streifen über den Spiegel wegziehen.

(Ist die Luft im Zimmer unruhig, so stellt man zweckmäßig hinter dem Hohlspiegel und zu beiden Seiten desselben Schirme — etwa Papptafeln — auf, damit der Strom von Gas oder warmer Luft nicht zu stark zur Seite geweht wird.)

Den Illuminator für Funkenbeleuchtung zeigen die Figuren 5 (Vorderansicht) und 6 (Grundriß). Die Messingplatte f wird wie die von Fig. 2 und 3 mittels der Schrauben ee und der Muttern gg auf die in Fig. 2 und 3 gezeichnete, um aa (Fig. 2 und 3) drehbare Platte aufgeschraubt; eine zweite Platte h (Fig. 5 und 6) ist um die auf der Platte f sitzenden Spitzenschrauben bb drehbar; sie wird nach unten ge-

¹⁾ Will man nach TÖPLER (*Pogg. Ann.* 1867, Bd. 131, S. 43 ff.; *Ostw. Kl.* 158, S. 33) mit halbkreisförmiger Illuminatoröffnung arbeiten, so kann man in d (Fig. 3) Schüsselchen mit halbkreisförmiger Öffnung einsetzen; dann muß das die Analysatorblende tragende Stäbchen einen vertikalen Kreisring bekommen, in dem sich ein zweiter Ring mit halbkreisförmiger Öffnung drehen läßt, deren Durchmesser gleich dem des Analysatorobjektivs ist.

²⁾ Bei Verwendung von halbkreisförmiger Illuminator- und Analysatorblende ist das Verfahren, wie oben beschrieben, nur kommt noch eine Drehung der Blenden in ihrer Ebene hinzu.

drückt durch eine Spiralfeder *i*, nach oben durch Anziehen der Schraube *d*, die ihr Muttergewinde in der Platte *h* hat und auf der Platte *f* stumpf aufsitzt. Zwei Glas-säulchen *k* und *l* sind mit ihren unteren Enden eingekittet in Messingfassungen *m* und *n*; *m* sitzt auf der Platte *h*, *n* aber, durch einen in Fig. 6 punktiert angedeuteten Ausschnitt von *h* hindurchgehend, auf der Platte *f*. Auf die Säulchen *k* und *l* sind zylindrische, oben und unten abgerundete Messingfassungen aufgekittet; nahezu kugelförmige Mutterschrauben *q* und *r* dienen, um die Zuleitungsdrähte *u* und *v* fest-zuklemmen; gegenüber *q* und *r* sind *o* und *p* abgeflacht. Die Fassungen *o* und *p* tragen, erstere mittels eines seitlichen Armes, letztere unmittelbar, senkrechte, konische Messingzapfen; auf diese sind die aus Zink bestehenden Kugeln *s* und *t* drehbar aufgesteckt. Beim Anziehen der Schraube *d* wird die linke Seite der Platte *h* etwas gehoben und dadurch die Kugel *s* der Kugel *t* genähert; beim Zurückdrehen der Schraube *d* drückt die Spiralfeder *i* die Platte *h* abwärts und vergrößert dadurch den Abstand von *s* und *t*. Es genügt, wenn sich der Abstand der Kugeln um etwa 1 mm (von 0,3 bis 1,3 mm) verändern läßt.

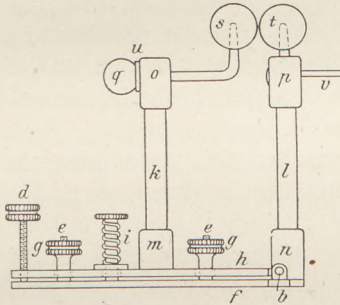


Fig. 5. $\frac{1}{3}$ nat. Gr.

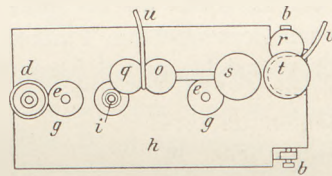


Fig. 6. $\frac{1}{3}$ nat. Gr.

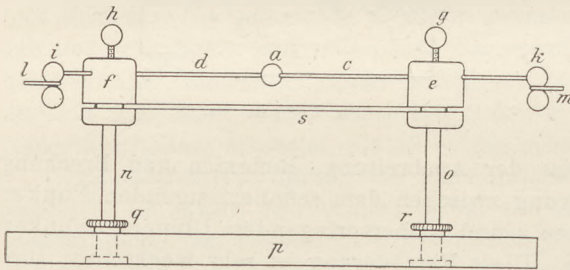
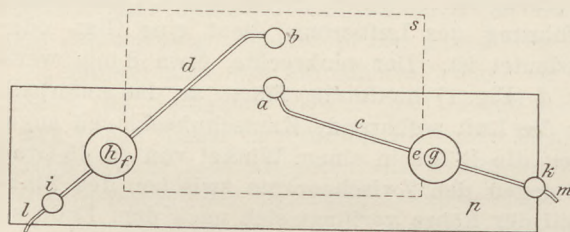
Bei den Versuchen zum Nachweis der Ausbreitung, Reflexion und Brechung der Schallwellen bedingt die Verzögerung zwischen dem schallerzeugenden Funken (siehe weiter unten) und dem zwischen *s* und *t* überspringenden Illuminatorfunken den Durchmesser der Wellensphäroide. Diese Verzögerung ist sehr wechselnd; ihre Veränderlichkeit läßt sich erheblich verringern dadurch, daß man andauernd einen mit Hilfe eines Wasserstrahlgebläses erzeugten Luftstrom gegen den Zwischenraum zwischen den Kugeln bläst; zur Zuführung des Luftstroms dient eine Glas- oder Messingröhre, die in Fig. 1 bei *i* angedeutet ist. Der senkrechte, etwa 8 mm weite Teil dieser Röhre ist durch das Brett *d* (Fig. 1) hindurchgeführt; an das unterhalb des Brettes befindliche Ende wird der die Luft zuführende Kautschukschlauch angesteckt; ca. 4 cm oberhalb des Brettes ist die Röhre in einem Winkel von ca. 45 Grad so abgebogen, daß sie den Luftstrom gegen den Zwischenraum zwischen den Zinkkugeln treibt; der schräg liegende Teil der Röhre verjüngt sich nach dem Ende zu auf etwa 3 mm Lichtweite.

Als Analysatorblende bei Funkenbeleuchtung dient eine mäßig starke Heftnadel mit schlank dreiseitig pyramidalen Spitze. Die Nadel wird in senkrechter Stellung mit dem Öhrende in ein Messingstäbchen der oben beschriebenen Art so eingelötet, daß sie beim Einsetzen des Stäbchens in das Säulchen *g* (Fig. 1) eine ihrer Pyramidenflächen dem Hohlspiegel zuwendet; diese Fläche dient zum Auffangen des Funkenbildes; da dieses Bild wegen des geringen Abstandes der Zinkkugeln nur sehr schmal ist, in senkrechter Richtung aber größere Ausdehnung hat und überdies von einem Funken zum anderen etwas auf- und abschwankt, so ist die schlank dreieckige Pyramidenfläche der Nadel zum Auffangen des Funkenbildes sehr gut geeignet.

Bei der Zusammenstellung des Apparates für Versuche mit Funkenbeleuchtung bringt man zunächst das die Nadelblende tragende Stäbchen in solche Höhe, daß die Mitte der Höhe des pyramidalen Nadelteils vor die Mitte des Analysatorobjektivs kommt, klappt den Schirm *h* (Fig. 1) vor das Objektiv und richtet den Hohlspiegel

mittels seiner drei Stellschrauben so, daß das Funkenbild auf die dem Spiegel zugewendete Nadelfläche fällt; dann klappt man den Schirm zurück und reguliert vorläufig mittels der Schraube *c* (Fig. 2 und 3) die Lage des Funkenbildes in seitlicher Richtung so, daß das Funkenbild genau auf die Nadel fällt, daß man also beim Durchblicken durch das Analysatorfernrohr das Gesichtsfeld ganz dunkel sieht. Bei den eigentlichen Versuchen kommt man dann in der Regel in die Lage, den Abstand der Zinkkugeln durch Drehen an der Schraube *d* (Fig. 5 und 6) noch etwas zu verändern; da sich dabei die Breite des Funkenbildes einseitig ändert, muß man durch Drehen an der Schraube *c* (Fig. 2 und 3) die seitliche Lage des Funkenbildes noch etwas korrigieren, um es richtig auf die Nadelblende einzustellen; dann kann man durch Veränderung der Höhenstellung der Nadel es dahin bringen, daß entweder das Funkenbild in seiner ganzen Breite von der Nadel aufgefangen wird, und das Gesichtsfeld völlig dunkel wird, oder — was meist empfehlenswerter ist — man senkt das die Nadel tragende Stäbchen so weit, daß das Funkenbild auf einen Teil der Nadel fällt, der eine Spur schmaler ist als die Breite des Funkenbildes, so daß eine Spur Licht zu beiden Seiten der Nadel neben dieser vorbei in das Fernrohr gelangt; die Wellensphäroide sind bei nicht ganz dunklem Gesichtsfelde in der Regel noch schöner zu sehen als bei ganz verdunkeltem.

Die schallerzeugenden Funken springen zwischen den Messingkugeln *a* und *b*, Fig. 7 (Vorderansicht) und 8 (Grundriß), über; die Kugeln sitzen an Stahlstäbchen *c*

Fig. 7. $\frac{1}{4}$ nat. Gr.Fig. 8. $\frac{1}{4}$ nat. Gr.

und *d*, die sich in runden Hornkugeln *e* und *f* verschieben und mittels der mit kugelförmigen Knöpfen versehenen Schrauben *g* und *h* festklemmen lassen. Nahe an den Kugeln sind die Stäbchen etwas gebogen; am anderen Ende tragen sie die Klemmen *i* und *k* zur Befestigung der Leitungsdrähte *l* und *m*. Die Hornkugeln *e* und *f* sind festgekittet auf Glasstülpchen *n* und *o*; diese sind eingekittet in Messingfassungen, die sich in dem Brettchen *p* drehen und durch Anziehen der Schraubenmutter *q* und *r* festklemmen lassen. Für den Nachweis der Reflexion der Schallwellen läßt sich eine Glasplatte *s* (in Fig. 8 punktiert angedeutet) in tiefe Nuten der

Hornkugeln *e* und *f* einschieben. Die Kugeln *a* und *b* liegen in der Höhe der Hohlspiegelmitte, wenn man das Brettchen *p* auf das Lattengestell des Apparates auflegt. Die Biegung der Stäbchen *c* und *d* ermöglicht es, die Kugeln *a* und *b* ziemlich nahe an den Hohlspiegel zu bringen, ohne daß man mit den anderen zur Leitung der Elektrizität dienenden Teilen zu nahe an die Spiegelfassung kommt.

Das Schema Fig. 9 gibt im Grundriß die Anordnung für die Sichtbarmachung der Schallwellen. *S* ist der Hohlspiegel; vor ihm befindet sich die Funkenstrecke (Fig. 8) für die schallerzeugenden Funken; *J* ist der Funkenilluminator (Fig. 6), *T* eine sechsplattige Töplersche Influenzmaschine¹⁾, *F* eine kleine Verstärkungsflasche (in der Figur viel zu groß gezeichnet), *E* eine Erdleitung.

¹⁾ Für die bequeme Sichtbarkeit der Wellensphäroide ist es sehr wesentlich, eine kräftige Elektrizitätsquelle zu haben; bei Verwendung einer schwächeren Influenzmaschine sind die Verzögerungen

Der eine Konduktor der Influenzmaschine, die äußere Belegung der Verstärkungsflasche und die eine Zinkkugel des Illuminators sind nach der Erde abgeleitet; die Schallfunkenstrecke ist einerseits mit dem zweiten Konduktor der Influenzmaschine, andererseits mit der inneren Belegung der Verstärkungsflasche und mit der zweiten Kugel des Illuminators verbunden. Die Leitungen dürfen nicht aus zu dünnem Drahte gemacht werden, damit sie nicht zuviel Elektrizität ausstrahlen; Aluminiumdraht von 2,5 mm Dicke ist dafür passend. Zur Unterstützung der langen, nach der Schallfunkenstrecke führenden Leitungen dienen Horngummistücke auf Glasstäben. Die Glasstäbe sind mit ihrem unteren Ende eingesteckt in Löcher des den Apparat tragenden Lattengestells; die Horngummistücke von der Form kleiner, senkrechter Zylinder mit abgerundeten Basiskanzen sind unten mit einer vertikalen Bohrung auf die Glasstäbe aufgesteckt; der Leitungsdraht ist durch eine horizontale Bohrung im oberen Teile der Zylinder geführt — in Fig. 9 sind die Horngummizylinder nur durch schwarze Punkte angedeutet.

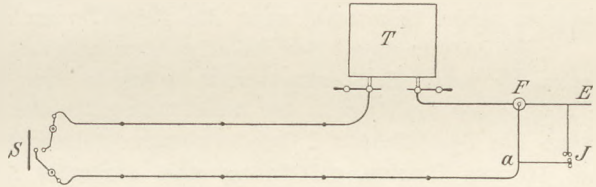


Fig. 9. $\frac{1}{30}$ nat. Gr.

Die Verstärkungsflasche besteht aus einem Probierglase von 20 cm Höhe, 17 mm äußerem Durchmesser und 0,35 mm Wandstärke¹⁾; sie ist vom unteren Ende bis zu 16,5 cm Höhe belegt, so daß oben ein 3,5 cm breiter Rand freibleibt. Der untere Teil des Glases ist eingesetzt in eine Bohrung eines schweren Metallfußes, der die erforderliche Standfestigkeit gibt; durch Umwickeln von etwas Stanniol um den unteren Teil des Glases erreicht man leicht, daß dieses mit mäßiger Reibung in der etwas weit hergestellten Bohrung festsetzt. An dem Metallfuß wird zweckmäßig eine Klemme zur Befestigung der Leitungsdrähte angebracht. Das obere Ende des Probierglases ist verschlossen durch einen mit Schellack oder dergl. eingekitteten Kork; ein 3 bis 4 mm weites, einige Zentimeter langes Messingröhrchen sitzt streng in einer Durchbohrung des Korkes. Nach unten sind in das Messingröhrchen zwei Messingdrähte eingelötet, die etwas auseinanderfedern und sich dadurch fest an die innere Belegung des Gläschens anlegen; die Verbindung mit der Leitung nach der Schallfunkenstrecke und dem Illuminator erfolgt einfach dadurch, daß der Leitungsdraht in die obere Öffnung des Messingröhrchens hineingesteckt wird. Man biegt den Draht zwischen der Stelle *a* (Fig. 9) und der Verstärkungsflasche *F* zu einem ungefähr halbkreisförmigen, senkrecht stehenden Bügel; gibt man dem abwärts nach *F* führenden Ende des Drahtes noch eine schwache Krümmung, so kann man leicht erreichen, daß es sich federnd in dem Messingröhrchen klemmt und so einen sicheren Kontakt gibt.

Die Kugeln der Schallfunkenstrecke werden so gerichtet, daß sie 14 bis 17 mm Abstand haben, und daß sie, durch das Analysatorfernrohr betrachtet, erscheinen wie in Fig. 7, daß also die Kugel *a* (Fig. 8) die andere gerade bedeckt. (Die Kugeln *a* und *b* sollen, wie oben angegeben, gerade vor der Mitte des Hohlspiegels stehen, wenn dieser ca. 16 cm Öffnung hat; ist er kleiner, so wird man die Kugeln zweckmäßig seitwärts von der Spiegelmitte, bei nur 8 cm Öffnung nahe am seitlichen Rande des Spiegels aufstellen, damit man bei etwas großem Durchmesser des Wellensphäroids wenigstens noch einen Teil davon zu sehen bekommt.)

rungen zwischen Schallfunken und Illuminatorfunken und demgemäß die Durchmesser der Wellensphäroide so wechselnd, daß man nur ab und zu einmal ein Sphäroid zu sehen bekommt, während bei Verwendung der Töplermaschine zwar nicht alle, aber doch sehr viele Sphäroide sichtbar werden.

¹⁾ Die Wandstärke muß sehr gering sein.

Die Entfernung der Zinkkugeln des Illuminators soll ungefähr 0,8 mm sein; je größer sie ist, um so stärker ladet sich die Verstärkungsflasche, um so heller wird der Illuminatorfunken, um so größer aber auch die Verzögerung zwischen Schallfunken und Illuminatorfunken.

Setzt man die Influenzmaschine in Gang, so tritt zwischen den Kugeln der Schallfunkenstrecke ein Strom rasch aufeinanderfolgender Funken auf, durch den sich die Verstärkungsflasche ladet; jedesmal, wenn diese bis zu der dem Abstände der Illuminatorkugeln entsprechenden Schlagweite geladen ist, erfolgt eine Entladung durch den Illuminatorfunken.

Der der Entladung der Verstärkungsflasche (dem Illuminatorfunken) unmittelbar vorhergehende Funke der Schallfunkenstrecke ist derjenige, dessen Wellensphäroid man zu sehen bekommt, wenn die Zeitdifferenz nicht zu klein oder zu groß ist.

Da entsprechend der Schallgeschwindigkeit in Luft der Halbmesser der Kugelle in jeder Hunderttausendstelsekunde um 3,4 mm wächst, so wird bei 12 mm Durchmesser der Kugeln der Schallfunkenstrecke das Sphäroid eben sichtbar werden, wenn die Zeitdifferenz 2 Hunderttausendstelsekunden beträgt (Durchmesser 13,6 mm); bei 160 mm Hohlspiegelöffnung und zentraler Aufstellung der Funkenstrecke wird das Sphäroid gerade noch sichtbar sein, wenn die Zeitdifferenz 23 Hunderttausendstelsekunden beträgt (Durchmesser 156 mm); recht gut sieht man die Sphäroide bei 1 bis 2 Zehntausendstelsekunden Verzögerung; ihr Durchmesser ist dann 68 bis 136 mm.

Durch Veränderung des Abstandes der Zinkkugeln des Illuminators mittels der Schraube d (Fig. 5 und 6) gelingt es, die Zeitdifferenz so zu regulieren, daß nur bei einzelnen Illuminatorfunken das Sphäroid unsichtbar bleibt, bei den meisten aber ein Sphäroid sichtbar wird. Außer den Sphäroiden sieht man noch aufsteigende (im verkehrten Bilde absteigende) Wölkchen, erzeugt durch Luft, die erwärmt worden ist durch Funken, die dem das Wellensphäroid erzeugenden unmittelbar vorhergingen.

Bringt man die Glasplatte s (Fig. 7 und 8) an ihre Stelle, so sieht man, da die obere Fläche der Platte 18 mm tiefer liegt als die Mitte der Kugeln a und b , den reflektierten Teil bei allen überhaupt sichtbaren Sphäroiden, deren Halbmesser merklich größer ist als 18 mm, also immer, wenn die Zeitdauer zwischen Schallfunken und Illuminatorfunken 6 Hunderttausendstelsekunden oder mehr beträgt.

In weniger vollkommener Weise, als es von TÖPLER geschehen ist (*Pogg. Ann.* 1867, Bd. 131, S. 191 ff.; *Ostw. Kl.* 158, S. 52 ff.), aber immer noch ganz deutlich, läßt sich die Brechung der Schallwellen beim Übergang aus Luft in Kohlensäure nachweisen mittels eines oben offenen, rechteckigen Kästchens von (im Lichten) 11 cm Länge, 4 cm Breite und ca. 9 cm Höhe, dessen Boden und schmale Seitenwände aus Holz, dessen breite Seitenwände aus Glimmer bestehen. Unmittelbar über dem Boden des Kästchens ist in die eine schmale Seitenwand eine etwa 8 mm weite Glasröhre eingelassen.

Man stellt das Kästchen so vor dem Hohlspiegel auf, daß sein oberer Rand etwa 12 mm unter der Mitte der Schallfunkenkugeln liegt, und leitet aus einem Kippschen Gasentwicklungsapparat einen mäßig starken Strom von Kohlensäure andauernd durch das Glasrohr in den Kasten.

Setzt man nun die Influenzmaschine in Gang, so kann man sehen, daß der in den mit Kohlensäure gefüllten Kasten fallende Teil des Wellensphäroids schwächer gekrümmt ist als der in Luft befindliche, daß also die Fortpflanzungsgeschwindigkeit beim Übergang aus Luft in Kohlensäure abnimmt.

Eine Reflexion beim Übergang aus Luft in Kohlensäure, die bei den Töplerschen Versuchen sehr schön hervortritt, ist hier nicht zu beobachten, weil die über den Rand des Kastens austretende Kohlensäure gegen die Luft diffundiert, und also keine scharfe Grenze da ist, die bei der Töplerschen Form des Versuchs durch das äußerst feine Kollodiumhäutchen gegeben ist. Dafür hat der Kasten mit Glimmer-

wänden den Vorzug des viel geringeren Preises gegenüber einem Kasten mit planparallelen Platten aus schlierenfreiem Glase. Die durch Spaltung leicht zu erhaltenden, ca. 0,2 mm starken Glimmerplatten sind so homogen und ihre Begrenzungsflächen zwar keineswegs eben, aber so vollkommen äquidistant, daß die Platten keine merkbare Ablenkung der durchgehenden Strahlen geben, während bei Glasplatten sich ganz geringe Unvollkommenheiten sehr störend bemerkbar machen. Die Unebenheit der Flächen stört deshalb nicht, weil die Strahlen mit so kleinem Einfallswinkel auftreffen, daß der Übergang aus Luft in Kohlensäure und umgekehrt ohne merkliche Ablenkung geschieht — die deutliche Sichtbarkeit von Gas- oder Dampfstrahlen im Schlierenapparate beruht ja wesentlich auf dem sehr schrägen Durchtritt der Lichtstrahlen durch die Grenzschichten der Gas- oder Dampfstrahlen.

(Bringt man den Glimmerkasten in umgekehrter Stellung so über die Schallfunkenstrecke, daß sich sein Rand etwa 20 mm über den Kugeln befindet, und leitet einen ziemlich kräftigen Strom von Wasserstoffgas hindurch, so sieht man ab und zu einmal den im Kasten befindlichen Teil des Sphäroids stärker gekrümmt als den in Luft befindlichen; der Versuch ist aber viel weniger deutlich als der mit Kohlensäure wegen der viel rascheren Diffusion des Wasserstoffgases und wegen des Aufsteigens der durch die Schallfunken erwärmten Luft — für Demonstrationen eignet er sich nicht.)

Zur Verwendung des Farbenthermoskopes. III.

Von

H. Rebestorff in Dresden.

1. Die Deutlichkeit, mit der die enantiomorphe Umwandlung des Silberquecksilberjodids bei 45° durch die gleichzeitige Farbänderung aus Gelb in Orangerot Temperaturerhöhungen erkennen läßt, hat zu mancherlei Anwendungen des Stoffes als einer Art Wärmefarbe geführt. So hat vor kurzem besonders H. LÜDTKE Papierblätter mit dem Farbanstrich auf dem für das „Farbengalvanoskop“ geeigneten Gebiete verwendet (ds. Zeitschr. 20, 345; 21, 101). Häufiger als die Papierblätter sind zu einzelnen Zwecken bestimmte Apparate mit dem Anstriche zur Anwendung gelangt. Gerade den Hauptnutzen des Farbenthermoskopes kann ich aber nur den Farbblättern zuerkennen, da sie, in einer Schublade neben dem Lehrer bereitliegend, in zahllosen Fällen den Nachteil des Klassenunterrichtes abschwächen können, daß die Schüler die Apparate zwar alle sehen, aber nicht befühlen. Regt man seine Schüler zum selbständigen Denken und Fragen an, so kann man nicht selten die Antwort von dem in geeigneter Weise verwendeten Farbblatte erteilen oder ergänzen lassen. Gerade wer die messenden Versuche nach Möglichkeit zur Geltung bringt, wird für die Darbietung eines Überblickes über ein Erscheinungsgebiet gern die allereinfachsten Mittel bevorzugen. Bezüglich der Sicherheit des Gelernten möchte ich den Umstand hervorheben, daß viele Versuche mit der Wärmefarbe leichter wieder vorstellbare Erinnerungsbilder liefern, als das bloße Sinken oder Steigen manometrischer Flüssigkeiten. Ist das Farbblatt schon auf der Unterstufe den Schülern bekannt geworden, so entfällt das Geheimnisvolle, das der Farbenänderung, wenn sie nur einmal an einem Apparate für einen besonderen Zweck benutzt wird, anhaftet. Alles Neue wird verständlich, sobald es seines Nutzens wegen häufig gebraucht wird. Außerdem hat die Physik die Pflicht, bei einem etwa fehlenden oder unzulänglichen Unterrichte in Chemie ergänzende Hinweise zu liefern. Das so verbreitete Bestehen eines Stoffes in mehreren Modifikationen kann man nicht bequemer und deutlicher als mit dem Farbblatte in der Hand zeigen.

2. Die früher (II.) mitgeteilte verkürzte Bereitungsvorschrift des Silberquecksilberjodids¹⁾ kann auch aus FRICK-LEHMANN, *Physikal. Technik*, 7. Aufl., I 1137 ersehen werden²⁾. Des schnelleren Lösens des Hg J_2 wegen setzt man dem Gemenge mit dem KJ zunächst nur ganz wenig Wasser zu. Erst nach völligem Lösen verdünnt man. Die fallende verdünnte Silbernitratlösung läßt man in dünnem Strahle unter beständigem starken Umrühren einfließen. Das gefällte Doppeljodid bleibt frei von körnigen Aggregaten, wenn man beim Trocknen des nicht zu lange ausgewaschenen Niederschlages die Umwandlungstemperatur nicht überschreitet. Ich verwende zum Trocknen ein konsolartiges Gerüst aus dickem Draht, dessen wagerechte Arme durch daran festgenähte Leinwand eine Tragfläche bilden; das Ganze wird hoch an die Wand gehängt. Das Filter kommt aus dem Trichter heraus auf einen Teller, den man täglich bis zur Gewichtskonstanz wägt. Um das in feuchtem Zustande schwach lichtempfindliche Präparat ohne gedunkelte Oberfläche zu erhalten, genügt es, einen Bogen Filtrierpapier darüber zu decken³⁾. Da der Farbstoff keine große Deckkraft besitzt, so ist rein weißes Papier für die Farbblätter zu benutzen; der Nutzen vorausgegangener Behandlung mit Zaponlack war bereits früher mitgeteilt.

3. Für den Anfangsunterricht ist die Umwandlung des Silberquecksilberjodids so gut etwas durch den Versuch Gegebenes, wie z. B. das Schmelzen oder irgend eine andere Wärmewirkung. Mancher hat hierbei wohl seine Bedenken, da man das der Jugend neu Erscheinende mit besonderer Vorsicht behandeln müsse. Mit den immer noch im Übermaß auch beim Anfangsunterricht gehandhabten sogenannten „Erklärungen“ mittels atomistischer Vorstellungen kann man freilich die Einführung des Farbenthermoskopes schlecht umrahmen. Mehr als wenige Worte sollte man darüber ebensowenig machen als über die theoretische Auffassung der Änderungen des Aggregatzustandes oder der Dimensionen beim Erwärmen. Beim Gebrauche wird die Wärmefarbe den Schülern bald so nahe bekannt wie das Zündholz oder die Gasflamme. Für den Unterrichtenden sei bemerkt, daß bei den Zustandsänderungen der Doppeljodide die mehr sprungweise auftretende Farbänderung die gleiche Richtung (beim Erwärmen von Weiß über Grün, Gelb nach Rot und Braun hin) besitzt, wie sie durch GLAN (1870) und HOUSTON (1871) für sehr zahlreiche Stoffe durch Vergleiche festgestellt wurde. Die theoretische Auffassung dieser unzweifelhaft vorhandenen, wenngleich nicht immer zutreffenden Regel, insbesondere der gleichartigen Verschiebung der Banden des Absorptionsspektrums, befindet sich erst in der Entwicklung. Das Rotwerden des Silberquecksilberjodids ist die Folge der Verbreitung der Lichtabsorption über das spektrale Grün. Im objektiven Sonnenspektrum kann man dies mit einem erwärmten Farbblatte sehr deutlich bemerkbar machen. In rein grünem Lichte ist der Helligkeitsunterschied der beiden Modifikationen des Silberquecksilberjodids am größten.

¹⁾ H. REBENSTORFF, Über Farbenthermoskope etc. Progr. Nr. 573, Ostern 1896 (L), ds. Zeitschr. 9, 227 (I.) und 15, 145 (II.). Die Zitate aus den beiden, kurz durch (I.) angedeuteten Arbeiten können bei der ungleichen Seitenzahl nicht verwechselt werden.

²⁾ Dasselbst ist in Anmerkung 3 bemerkt: „Siehe auch Lussana, Beibl. 20, 871; 1890“. Die Jahreszahl dieses Hinweises ist vielmehr 1896. Der betreffende Artikel von Silvio Lussana, Una Esperienza da scuola sulla diatermansita erschien im Maiheft 1896 des Nuovo Cimento IV 3. Ich trug in einer Fachversammlung 1895 zuerst über die von mir seit 1894 angestellten Demonstrationen mit dem Silberquecksilberjodid und thermoskopischen Farbblättern vor. Die letzteren lassen sich auch wohl nicht als „Heißes Farbenthermoskop“ bezeichnen, wie im erwähnten Werke geschieht.

³⁾ Die auch in neueren Auflagen verbreiteter Bücher verbliebene Ansicht, daß Silberquecksilberjodid etwas schwieriger darzustellen sei als die Kupferverbindung, wurde schon früher (II.) widerlegt. Die Zubereitung des ersteren erfordert 3 rohe Wägungen, 2 Lösungen und 1 Fällung; die des letzteren das gleiche 4, 4 und 2mal, außerdem aber die umständliche Behandlung des Kupferjodürs mit schwefliger Säure und das Vereinigen der beiden Niederschläge in der Siedehitze.

An den Kristallen des Silberquecksilberjodids¹⁾ konnte ich seinerzeit unter dem Mikroskope feststellen, daß die Zustandsänderung beim Erwärmen nur von der Wärmezufuhr abhängt (wie das Schmelzen des Eises oder die Umwandlung von rotem Quecksilberjodid in gelbes beim Erwärmen), daß hingegen die Rückverwandlung beim Erkalten mit dem Unterschreiten einer gewissen, etwas niedrigeren Temperatur noch nicht gleichzeitig eintritt. Ähnlich wie das Wasser unter 0° nicht stets sofort kristallisiert, erhalten sich zunächst die rötlichen Kristalle unverändert, bis dann spontan irgendwo am Kristalle die labile Anordnung der Teilchen sich aufhebt, und mit einer gerade noch mit dem Auge verfolgbaren Geschwindigkeit die Umwandlung durch den ganzen Kristall hindurchzuckt. Innerhalb des Temperaturintervalles von etwa 33—45° können die beiden Modifikationen lange nebeneinander bestehen (s. die Anordnungen unter 5). Darauf beruht der Nachweis der Temperatur von dieser Höhe durch Anlegen des Farbblattes und Beobachten des Gerötetbleibens nach Überstreichen mit der Bunsenflamme (*II., S. 145 unter 3; LÜDTKE, a. a. O. unter 4*).

Das für enantiomorphe Modifikationen typische Verhalten des Silberquecksilberjodids kann besonders eingehend an dem Kesselchen der Figur 1 beobachtet werden, das mit Wasser fast gefüllt und mit einem kurzen Thermometer im feststehenden Stopfen herumgegeben werden kann. Das Anwärmen geschieht durch Hineinhalten der geschwärzten Breitseite in eine Flamme. Zeigt das Thermometer fast 45° an, so ist die Anstrichseite nur wenig gerötet; sie hat nicht ganz die Temperatur des Inneren. Streicht man die Anstrichseite halb durch eine Flamme, so ist das Nebeneinander der beiden Modifikationen längere Zeit bemerkbar. Wird in gleicher Weise die halbe Farbseite gerötet, während das Kesselchen etwa 30° warm ist, so geht die Farbänderung zwar zunächst wieder zurück. Erwärmt man bald darauf aber das ganze Kesselchen, so wird die kurz vorher gerötete Hälfte früher etwas dunkler. Sehr starkes Abkühlen an einzelnen Punkten verzögert im Gegenteil die Farbänderung.

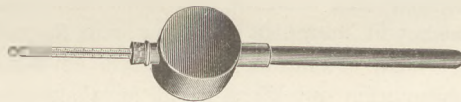


Fig. 1.

Näher als diese, einem eingehenderen physikalisch-chemischen Unterricht zugehörenden Hinweise liegt dem elementaren Beobachten die leicht ersichtliche Abkühlung der roten Farbfläche des mit ziemlich heißem Wasser versehenen Kesselchens durch einen kalten Wasserstrahl. Unterbricht man die Abkühlung, so wird der Anstrich jedesmal wieder rot.

4. Dem (a. a. O.) Mitgeteilten über die Sichtbarmachung des Entstehens von Wärme bei zahlreichen chemischen Prozessen sei einiges Weitere beigelegt. Die Wirkung des Mundhauches gegen das nach Verbrennen von Phosphor unter der Glocke niedergeschlagene und mit der Rückseite eines Farbblattes aufgetupfte Phosphorperoxyd (ds. Zeitschr. 18, 225) tritt natürlich auch über einem Schälchen mit lauwarmem Wasser ein. Sie zeigt zugleich die Absorption des Wasserdampfes aus der Luft. So wie man bei diesem Versuche auf der Farbseite genau die Stellen erkennt, hinter denen auf der Rückseite die Wärmeentwicklung stattfindet, kann auch in manchen anderen Fällen der genauere Ort eines Wärme liefernden Vorganges sofort ersehen werden. — Während das um ein Gefäß mit Wasser gelegte Farbblatt von derjenigen Tiefe an, bis zu der ein Ammoniakgas zuführendes Rohr

¹⁾ Silberquecksilberjodid kristallisiert aus heiß damit gesättigten Lösungen von Merkurinitrat. Sind diese Lösungen zu konzentriert, so scheiden sich rein oder mit obigen Kristallen vermischte Doppelsalze des Nitrates mit dem Doppeljodid aus (*I., S. 26*). Diese farblosen Salze werden durch Wasser gespalten. Ein anderes Lösungsmittel für Silberquecksilberjodid konnte nicht aufgefunden werden (s. auch Steger, Zeitschr. f. phys. Chemie 43, 595; 1903).

eintauchte, nach oben hin gerötet wird, breitet sich bei der Herstellung von Salzsäure von dem bis auf den Boden eingesenkten Zuführungsrohre mit der steigenden Konzentration die Wärmewirkung nur sehr langsam aufwärts aus. — Ähnlich so kennzeichnet sich die Wärmeentwicklung in der Tiefe einer Flasche mit Wasser, in das einige Stangen Ätzkali gebracht waren. Hängt man 2 etwa 6 cm lange Ätzkalistangen an einem Zwirnsfaden in ein wenigstens daumenstarkes Reagenzglas mit Wasser hinein, so daß sie dicht unter dessen Oberfläche sind, so ist nach der Auflösung die Flüssigkeit unten etwas wärmer als oben. Man legt ein Farbblatt um das Gläschen und hält dies mit dem hinten zusammengedrückten Farbblatte darin fest. Nur unten macht sich eine ganz schwache Rötung bemerkbar. Sehr deutlich wird in diesem Falle (wie in vielen anderen) die Wärmeverteilung, wenn man mit der Bunsenflamme die Farbseite schnell bestreicht. Während oben die Rötung fast sofort wieder verschwindet, bleibt sie unten bestehen, oder, wenn schon Abkühlung eingetreten war, so geht sie viel langsamer in Gelb über. — Über dem sich löschenden Kalke zeigt das Farbblatt die erhebliche Höhe an, in der die Hitze des aufsteigenden Dampfes einer hineingehaltenen Hand noch lästig würde. — Ein Reagenzglas mit einigen Gramm Kupfervitriol, das unter den chemischen Gerätschaften bereit steht, kann man immer wieder benutzen, indem man es nach Hineinbringen eines Fließpapierfidibus am Boden bis zum Aufhören der Dampfentwicklung erhitzt und nach Entfernen des Papiers sich abkühlen läßt. Einige Tropfen Wassers werden darauf von dem entfärbten Sulfat so begierig aufgenommen, daß ein Farbblatt am Glase über den gebläuten Stellen reagiert. — Stellt man in ein Reagenzglas ein Glasrohr und schüttet den Zwischenraum halb voll Natronkalk, so wird beim Hineinblasen von Atemluft das Glas vom Boden an aufsteigend heiß, wie ein herumgelegtes Farbblatt erkennen läßt; noch schneller wirkt reine Kohlensäure. — Die in ein Reagenzglas mit Wasserstoff hinabsteigende Flamme bleibt für die Ferne unsichtbar. Einige Schlüsse kann man aus der Verteilung der erhitzten Stellen des Glases ziehen, die ein hinterher um seine ganze Länge gelegtes Farbblatt erkennen läßt. Das Abbrennen ist je nach der Neigung des Glases verschieden. — Sehr augenscheinlich kann man die große Lebhaftigkeit der Wirkung von Leichtmetallen auf Säuren bzw. auf Wasser machen. Ein Zinkblechstreifen läßt das aus verdünnter Säure im Reagenzglas aufsteigende Gas nur langsam wärmer werden, bis man es rauchen sieht. Eine kleine Messerspitze Calcium zersetzt schon das Wasser so lebhaft, daß man Mühe hat, das Reagenzglas in den bloßen Fingern zu halten. Das Rauchen zeigt dem im Beobachten Geübten freilich allein schon die Hitze an. Eine Allen deutliche Sprache hat aber dann noch das Farbblatt, das beim Anlegen wie mit einem Schlage am ganzen Glase vom Wasser an aufwärts gerötet wird. Zugleich kann der findigere Schüler auf die Vermutung kommen, daß der Wärmegrad auch deshalb so groß erscheint, weil der Vorgang, wie das Farbblatt zeigt, sich fast nur an der Oberfläche des Wassers abspielt. So läßt denn das Farbblatt beim Klassenunterricht schon einige Erfahrungen gewinnen, die sonst nur Sache praktischer Übungen sind.

Angeschlossen sei hier der Versuch mit einer „Aluminiumpfanne für aktives Metall“. Bekanntlich geht der Schutz, den das Metall durch das oxydische Oberflächenhäutchen besitzt, und das über jeder Verletzung sofort hydraartig wieder ergänzt wird, völlig verloren, wenn das Aluminium amalgamiert wird. Nicht durch Oxydation seitens des Luftsauerstoffs, wohl aber durch lebhafteste Zersetzung der Luftfeuchtigkeit bilden sich reichliche Mengen von Oxydhydrat, wobei soviel Wärme auftritt, daß das Metall ganz heiß wird. Der stark elektropositive Charakter des Aluminiums tritt hierbei eigentlich noch kräftiger in Wirksamkeit, als dies an frischen, der Luft ausgesetzten Oberflächen von Kalium oder Natrium der Fall ist. Die trocken bleibenden Oxydmassen lassen wohl neue Mengen von Wasserdampf

immer wieder bis an das Aluminium selbst herantreten. Zur Ausführung des gefälligen Versuches gießt man die Pfanne halb voll Sublimatlösung. Auch schwache alkoholische Lösung ist sehr wirksam. Besonders nach längerem Nichtgebrauch empfiehlt es sich, während des erstmaligen Amalgamierens mit einem Läppchen die Metallfläche zu bestreichen, damit Fett und Staub fortbewegt werden. Nach etwa einer halben Minute gießt man die Lösung so fort, daß die letzten Tropfen nicht über die Unterseite rinnen, die mit den beiden Wärmefarben je zur Hälfte bedeckt ist (s. Fig. 2). Man tupft dann entweder sofort oder nach ebensolchem Aufbringen und Fortschütten von Spülwasser mit einem Tuche den Feuchtigkeitsrest fort.

Kurze Zeit nach dem Abtrocknen beginnt die Wärmeentwicklung. Nachdem sich die gelbe Wärmefarbe gerötet hatte, wird dann der Farbenunterschied durch Bräunung des Hessschen Farbenthermoskopes wieder bedeutender. Bei neuen Pfannen wurde das hierzu erforderliche stärkere Erhitzen meistens erst nach zweimaligem Amalgamieren erreicht. Dann aber war die Temperatursteigerung oft so hoch, daß die kleinen, an den Drahtbefestigungen der Pfanne versteckten Feuchtigkeitsmengen leise zischten. Ist beim Erkalten die Farbänderung wieder rückwärts geschritten, so wiederholt sich der Vorgang meistens noch mehrere Male, wenn man das flockige Oxydhydrat mit einem Tuche aus der Pfanne herausstreicht. Selbst Ausspülen mit Wasser beendet diese Wirkung nicht. Nach dem Abtrocknen tritt sie mehrmals wieder hervor¹⁾. Wie man durch Wägung vor und nach einem solchen Gebrauche der Pfanne leicht erkennt, verbraucht man jedesmal nur sehr wenig von dem Metalle, so daß die Aktivität mit derselben Pfanne zahllos oft demonstriert werden kann. Daß nicht, wie bisweilen gemeint wird, Luftsauerstoff das aktive Metall oxydiert, ergibt sich aus der ungeänderten Ausführbarkeit des Versuches in Kohlensäure.

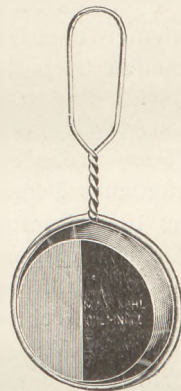


Fig. 2.

5. Abgesehen von denjenigen Abschnitten der Wärmelehre, in denen allein Thermometer und Kalorimeter Aufklärung geben, kann man die Wärmefarbe auf diesem ganzen Gebiete überall mit besonderem Nutzen verwenden. Manchem gelingt es, außer in der früher erwähnten Weise durch direktes Reiben mit dem aufgedrückten Finger oder Daumnagel, während die andere Hand die Farbseite des mit gutem Lack zubereiteten thermoskopischen Papiers gegen die ebene Tischplatte preßt, die Wärmewirkung nach schnellem Anheben deutlich zu machen. Sehr bequem rötet man die Anstriche nach Anwärmen der Unterlage. Recht brauchbar sind quadratische Brettchen von einigen Zentimetern Dicke, die nach dem Anwärmen mit einem Farbblatte bedeckt werden. Stellt man eine Bunsenflamme unter einem Asbestdrahtnetze auf, so strahlt ringsherum soviel Wärme gegen die Tischplatte, daß auf ihr selbst, sowie auf hingelegten Brettchen alle Wärmegrade bis über Handwärme auftreten. Nur blankes Blech bleibt ziemlich kalt. Man benutzt ein Brettchen, das die gelbe Wärmefarbe noch nicht rötet, aber ein gerötetes Blatt unverändert läßt. Streicht man mit einem Papier- oder Wattebüschchen unter geringem Andrücken einige Male über die Farbseite hin, so macht sich die Energieumwandlung durch rote Lapidarstriche kenntlich. Auch einen weichen Kork kann man hierbei zweckmäßig mit der Kante aufdrücken. Man erprobe aber vorher, ob der für den

¹⁾ Die Bemerkung eines wertgeschätzten Beobachters darüber war sehr treffend: „Wie im Zauberlehrling heißt es: Und die Geister, die ich rief, werd' ich nun nicht los“. Es sei noch hinzugefügt, daß man z. B. bei Vorträgen, wenn eine Bekanntheit der beiden Wärmefarben bei den Zuhörern noch nicht vorauszusetzen ist, während der Farbänderung auf der Pfanne die kalten Stoffmodifikationen auf einer ähnlichen Farbscheibe zweckmäßig daneben hält, z. B. die „Autogrammscheibe“, Fig. 6.

Farbanstrich benutzte Lack die erwärmende Reibung, ohne fortgestrichen zu werden, vertragen kann. Bequem vorzuwärmen sind Blechstücke, die dauerhaft mit dem Farbblatte überklebt sind. Man kann eine Zwischenlage dickeren Papiers benutzen, damit beim späteren Erhitzen die Wärme nicht zu schnell von der getroffenen Stelle aus sich der Metallunterlage mitteilt. Auf das Kesselchen der Fig. 1 schiebt man einen schmalen Blechring mit Rand, auf dem eine Farbblattscheibe befestigt ist, so daß ein schmaler Luftraum von dem warmen Metalle abtrennt. Ein lockeres Gewebe wie Sammet kann daruntergelegt werden. Die schwach warmbleibende Papierfläche wird mit dem Gegenstande bis zum Rotwerden berührt, dessen 45° übersteigende Temperatur gezeigt werden soll. Eine solche „Wärmesonde“ ist über einer Flamme schneller wieder anzuwärmen als das sonst recht zweckmäßige Brettchen.

Auch dicke Eisenscheiben, die mit dem Farbblatte auf einer Seite beklebt sind, können nach Anwärmen über einer Flamme die durch direktes Reiben geröteten Stellen lange Zeit neben dem Gelb der Grundfarbe erkennen lassen. Eine gleichdicke, ebenso beklebte Bleiplatte zeigt in ihrem schnelleren Warmwerden und Erkalten die geringere Wärmekapazität des Metalles von hohem Atomgewicht. Zwei gleich große Platten aus Eisen und Blei ($8 \times 6 \times 0,8$ cm) an Stielen liefern ein vorzügliches Demonstrationsmittel. In einer Bunsenflamme wird die beklebte Oberseite in 10, bzw. in 5 Sekunden gerötet. Bewegt man papierbeklebte Bleche mit der Anstrichseite nach unten hoch über einer Flamme, so wird diese bald gerötet; sie verblaßt aber auch wieder schnell. Hierbei zeigen Bleche mit abgehobenen Falten durch schnelleres Rotwerden und längeres Rotbleiben dieser Stellen die schlechte Wärmeleitung der Luft darunter. Auch Blechstreifen mit stufenweise an Zahl zunehmenden, übereinander geklebten Schichten dünnen Papiers, über die zuletzt der Farbanstrich gleichmäßig weggeführt ist, zeigen in den abgestuften Farbänderungen Erscheinungen, die von den Schülern sofort erklärt werden. Die auf einem geröteten Farbblatte beim Aufbringen einiger Tropfen Wasser entstehenden gelben Rinnsale zeigen die abkühlende Wirkung der Verdunstung. Auch über der Flamme bleiben die nassen Stellen lange gelb.

Versieht man ein Farbblatt mit nicht zu feinen Nadelstichen und hält es schräg hoch über eine wenig strahlende Flamme, so umrahmen sich die kleinen Löcher in roter Farbe. Besonders der abwärtsliegende Teil des Randes der Stiche wird durch die in die Öffnungen hinein aufwärtssteigende Luft mehr erwärmt als sonst die Papierfläche, an der die anliegende Luftschicht stagniert.

6. Geht man bei Behandlung der Fortpflanzung der Wärme wieder von den schon von der Jugend gemachten Erfahrungen aus, so kann man manches davon mit dem Farbblatt an Gerätschaften des Haushaltes allen vergegenwärtigen. Irgend ein erwärmter Metallgegenstand, am besten mit Holzgriff, dient zum Anknüpfen der Versuchsreihe, die dann zu den Geräten des Physikzimmers übergeht. Das Farbblatt zeigt, wie weit das Rohr des Bunsenbrenners oder die Teile eines Kochgestelles nach unten hin recht fühlbar warm werden. Eingeschaltet sei, daß, wenn zwei Bunsenbrenner unter einem größeren Gegenstande aufgestellt sind, z. B. einem Trockenschrank über Asbestdrahtnetz, von denen aber nur der eine heizt, daß dann dieser infolge der beständigen Gaszufuhr nicht sehr warm wird, während den anderen die Strahlung stark erhitzt, so daß ein angedrücktes Farbblatt auch am Fußteil gerötet wird.

7. Zur Trennung der Erscheinungsgruppen übergehend, möchte man wohl zunächst einen besonders einfachen Vergleichsversuch über Wärmeleitung bevorzugen (einige Drähte mit zusammengeneigten Spitzen, vgl. II. unter 9 oben). Auch die so häufige Frage eines zum ersten Male die Behandlung des Glases in der Flamme sehenden Schülers, ob denn das an einer Stelle erhitzte Glasrohr ohne Schmerz in der Hand zu halten sei, beantwortet ein am Rohre entlang geschobenes

Farbblatt und zeigt nach den Beobachtungen an den Drähten die schlechtere Wärmeleitung des Glases. Die weiter zu verwendenden Apparate für Wärmeleitung verschiedener Metalle benutzen jetzt vielfach die zweckmäßigere Dampfheizung (zuerst empfohlen von Heinze, ds. Zeitschr. II 134). Den zuerst von mir (II. unter 9) beschriebenen Apparat liefert ebenfalls M. Kohl in Chemnitz mit einigen weiteren Verbesserungen. Das wagerechte Rohr für den Dampftritt wird von den eingelöteten Metallstangen durchragt (Fig. 3), an denen zugleich das Aussehen der wichtigsten Metalle sich einprägt. Das blanke weiße Zinn sticht sehr vom angelaufenen Zink, vom grauen Eisen und vom gedunkelten Blei ab. Die nach unten längeren (ca. 18 cm) Stangen haben hier auf Stanniolgrundlage auf der einen Seite gelben Anstrich; die andere, mit dem Hessschen Farbenthermoskop überzogene Schauseite ergänzt die Beobachtung über die Wärmeleitung. Wie seit langem bekannt, wird der Gang der Temperatur nach Beginn des Heizens von der Wärmekapazität beeinflusst. Diese Komplikation tritt bei dem Apparate in keiner das Verständnis der Anfänger erschwerenden Weise in die Erscheinung. In etwa $1\frac{3}{4}$ Minuten ist bereits das Gleichgewicht zwischen Wärmezufuhr und Abkühlung (durch die Luft) erreicht. Tritt der Dampf von der Seite des Bleies herzu, so werden so lange, bis der Dampf auf der anderen Seite (durch einen Schlauch beseitigt) hervortritt, die schlechter leitenden Metalle zuerst erhitzt. Nachdem für ganz kurze Zeit dann alle Metalle einen gleich schnellen Fortschritt der Rötung aufweisen, holen die besserleitenden das Versäumte nach, und die im Buche verzeichnete Reihenfolge der Wärmeleitung tritt zutage.

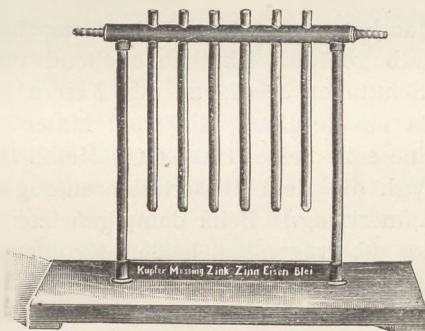


Fig. 3.

Falls es auf der betreffenden Lehrstufe verstanden wird, kann man durch einen Abkühlungsversuch die seinen Nachbarn Blei und Zinn gegenüber größere Wärmekapazität des Eisens nebenbei deutlich machen. Man schiebt den Dampfzuführungsschlauch auf einen Trichter und gießt etwa 1 l kaltes Wasser durch die Rohrverbindung. Bald werden Blei und Zinn wieder gelb; am Eisen bleibt für längere Zeit ein etwa 3 cm langes Stück noch rötlich. Mittels hoher, unter das Fußbrett des Apparates zu schiebender Holzklötze kann man denselben auch verkehrt aufstellen, so daß das Dampfheizrohr unten ist. Die von ihm erwärmt aufsteigende Luft hüllt dann die Metallstangen ein. Das Versuchsergebnis ist aber nicht erheblich anders. Für ganz große Auditorien könnte man empfehlen, dem Apparate noch größere Dimensionen geben zu lassen. In viel dickeren Metallstangen würde natürlich auch die Temperatur der Farbänderung bei allen Metallen um eine längere Strecke fortschreiten. Bei den Dimensionen des erwähnten Apparates bewirkt das Kupfer die Farbänderung an beiden Wärmefarben längs der ganzen Stange; Blei macht auf 5 cm rot, auf 1 cm braun. Vor dem Fortstellen des stabilen, nicht viel Platz beanspruchenden Apparates gießt man das Kondenswasser nach Abnehmen des einen, dicht anschließenden Metallstöpsels aus dem Heizrohre.

8. Für Wärmeleitung des Holzes kann man von folgenden Freihandversuchen ausgehen. Zwei gleiche Unterlegbretter (etwa $2 \times 10 \times 10$ cm) werden so aneinandergelagt, daß sich die Fasern kreuzen. Die eine Schmalseite des Brett-paares wird erwärmt, z. B. durch die Strahlung der nahen Bunsenflamme mit schrägbefestigtem Drahtnetz (s. unter 12). Nach 15 Sekunden legt man ein Farbblatt an die emporgehaltenen, gleichbestrahlten Schmalseiten; nur über dem Langholz wird es gerötet. Nach 45 Sekunden genau gleicher Bestrahlung sind zunächst beide Schmalseiten so heiß, daß sie das Farbblatt röteten. 10 Sekunden später ist aber

längs der Faser so viel Wärme in das Holz hineingeleitet worden, daß die erneut angebrückte Wärmefarbe gelb bleibt. Interessant ist die Verschiedenheit der Wärmeleitung auf solchen Langholzseiten, auf denen die Jahresringe in breiten Abständen hervortreten, weil die betreffende Holzfläche (gegenüber dem Baumstamm) ziemlich tangential ist. Bestrahlt man eine solche Fläche von weichem Holze, die also die bekannte, oft imitierte Streifung zeigt, so wird das nach einer kleinen Pause angebrückte Farbblatt über den dichteren Herbstholzstellen rot, diese sind mithin bezüglich der Wärmeleitung schwerfälliger als das lockere Frühjahrsholz.

Von den weiter zu verwendenden Apparaten sollte man die Holzpyramide mit axialem Dampfrohr (II. unter 10) bevorzugen. Die Schüler sehen daran den Leitungsunterschied in demselben Holzstücke. Das Verziehen der zuerst benutzten Holzkeile (I, S. 36; WEINHOLD, *Demonstrationen*, 4. Aufl. S. 570) geht freilich hinterher völlig zurück. An der beim Gebrauche angenehmeren Holzpyramide werden die Querholzseiten durch die Dampfheizung in $1\frac{1}{2}$ Minuten ganz, die anderen etwa halb gerötet. Ein entsprechend vorgerichteter Holzkegel (Fig. 4) gibt auch für die Richtungen schräg zu den Fasern in einer großen, guirlandenartig verlaufenden Isotherme Resultate, die wohl hinter Versuchen mit ebenen Platten, deren Mitte durch eine sehr heiße (300—400°) Metallstange erhitzt wird, mindestens nicht zurückstehen. (Vgl. die dem Dissertationsauszuge von O. Heß, ds. Zeitschr. 21, 100 nachgestellte Anmerkung.) Beim dampfgeheizten Holzkonus entfällt die Mitwirkung der Strahlung des überragenden heißen Metallstückes und des durch die Holzgefäße dringenden Dampfes der Feuchtigkeit im Holze. Für Schülerversuche ist ein Brettchen mit Anstrich und hindurchgestecktem heißen Draht (I, 36) verwendbar, wobei Meutzner zuerst das Heßsche Farbenthermoskop benutzte (Weinhold, *Demonstrationen*, 2. Aufl. 1887, S. 470). Der in der 3. Aufl. dieses Werkes S. 529 (1899) gemachte Zusatz bezüglich des Silberquecksilberjodids ist dadurch begründet, daß mit der seither aufgefundenen gelben Wärmefarbe die Isothermen größer ausfallen.

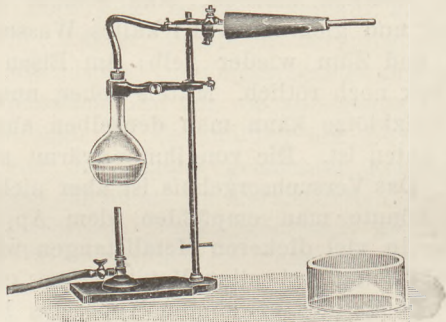


Fig. 4.

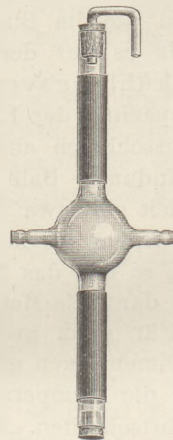


Fig. 5.

9. Die Übertragung der Wärme durch Strömung führt das Rohr mit Heizkugel (Fig. 5) vor. Nach festem Einsetzen eines Gummistopfens wird es ganz mit kaltem Wasser gefüllt. Oben wird statt eines Stopfens ein jetzt beizugebender Kork mit engem U-Rohr zum seitlichen Abtropfen des Wasserüberschusses aufgesetzt. Die beiden aus der Kugel herausragenden Rohrteile sind mit Farbblattzylindern umhüllt. Leitet man nun nach fast senkrechtem Einspannen des Rohres in einer Stativklemme, die ganz unten zugreift, Dampf durch die Heizkugel, so zeigt sich nach kurzer Zeit die fast nur aufwärts gerichtete Übertragung von Wärme. Am besten wird die Klemme in ihrer Muffe so eingestellt, daß der obere Rohrteil ein wenig von den Schülern fortgerichtet ist.

Zuerst erscheint dann vor der Mitte des oberen Rohrteiles ein roter Streifen, der an Breite zunimmt. Er bezeichnet den Weg des erhitzten Wassers. Die Volumenzunahme des Wassers treibt einige Tropfen aus dem U-Rohr. Während die obere Rohrhälfte bald ganz heiß ist, tritt eine Wärmeleitung nach unten hin kaum bemerkbar hervor. Mit einem losen, dicht an die Kugel gehaltenen Farbstreifen erkennt man die Grenze der ungleich warmen Schichten sehr deutlich. Dreht man nach Abstellen des Dampfes das Rohr in einer senkrechten Ebene ganz herum, und zwar recht langsam in der Nähe der horizontalen Lage, so strömen die verschieden temperierten Wasserschichten aufwärts und abwärts, über- und untereinander vorbei. Der bisher gelbe Rohrteil wird gerötet. Ein mehrmaliger Wechsel der beiden Farben nach wiederholtem Umkehren eines Rohres ist bei dem bequemeren Gebrauche dieses starkwandigen, dauerhaften Apparates nicht erreichbar. Hierzu muß man (*J.*, 35; 230) ein gewöhnliches großes Reagenzglas verwenden und das Erhitzen und in der Mitte langsame Umkehren (gegen das Licht halten) erst etwas einüben. Auch bei diesem, bei richtiger Ausführung sehr wirkungsvollen Versuche verschließt man das Glas oben durch einen Kork mit U-Rohr. Eine Denkfrage ergibt sich aus dem Eindringen von ein wenig Luft während des Umkehrens.

Wird das Heizkugelrohr zur größeren Hälfte mit einer schweren Salzlösung (Natriumnitratlösung) gefüllt und darüber Wasser aufgeschichtet, so gehen nach dem Anheizen Farbänderung und mithin Wärmekonvektion nur wenig über die Flüssigkeitsgrenze hinaus. Bei Füllung des Rohres mit Quecksilber überträgt die Wärmeleitung die Temperatur der Farbänderung um eine Anzahl von Zentimetern auch nach unten hin; unter der Mitwirkung der Strömung geht die Fortpflanzung der Wärme in dem flüssigen Metalle nach oben hin lebhafter vor sich. Vorrichtungen, bei denen das Thermoskop zur deutlichen Verfolgung der auch praktisch bedeutungslosen Abstufung der Wärmeleitung in wässrigen Flüssigkeiten und Ölen verwendet wird, seien nicht erneut beschrieben.

10. Die Übertragung großer Wärmemengen durch Wasserdampf wird auf der Unterstufe bei einem Destillationsversuch oder bei der Durchströmung langer Metallrohre zur Vorführung der Wärmeausdehnung durch Anlegen des Farbblattes wirksam veranschaulicht. Bringt man eine größere Farbblattscheibe mit der Farbseite schräg nach unten und nach den Schülern hingewendet in größerer Höhe über einem erhitzten massigen Metallgegenstande an (große Kugel, Gewichtsstück), so wird sie nicht gerötet. Sprüht man alsdann, etwa mit der Spritzflasche, Wasser auf den Gegenstand, oder senkt man ihn in ein Schälchen mit Wasser ein, so erhebt sich eine gewaltige Dampf Wolke, die mit ihrer Wärme das ganze Farbblatt, es schnell rötend, einhüllt. (Die großen, von geringeren Breiten her polwärts mit verwehten Wärmemengen kommen größtenteils auf die Rechnung der latenten Wärme des Wasserdampfes.) Bei diesem und ähnlichen Versuchen ist auch eine mit den beiden Wärmefarben je zur Hälfte bedeckte Kartonscheibe verwendbar, deren Transparenzausschnitte unter dem darüber geklebten Farbblatt die Temperaturen der Umwandlung 45° und 70° hervortreten lassen, wenn man die Rückseite vorsichtig in einen Strom heißer Luft oder in Wasserdampf bringt. Der obige Versuch wird natürlich mit der Vorderseite der Scheibe ausgeführt. (Fig. 6.)

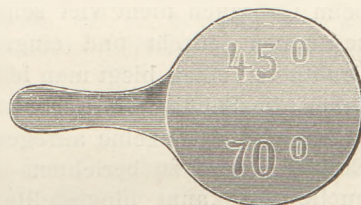


Fig. 6.

11. Die Übertragung von Wärme innerhalb verschiedener Gase läßt der in Fig. 7 dargestellte Apparat gründlicher vergleichen als die früheren. Zwischen den in den beiden Röhren gelegenen Dampfleitungen und den schlank kegelförmigen Farbblattmänteln nimmt die Dicke der Gasschichten nach unten

hin zu. Nach Anschluß an den Dampfwickler tritt der Dampf aus dem Gabelrohr gleichzeitig in die von den beiden Gasen umgebenen Heizrohre ein und bewirkt das verschiedene Fortschreiten der Rötung der Farbmäntel. Zunächst stellt man die Röhren mittels der auf der Rückseite des senkrechten Tragebrettes angebrachten Flügelschraube in senkrechter Lage fest und erprobt die Dichtheit der vielleicht beim

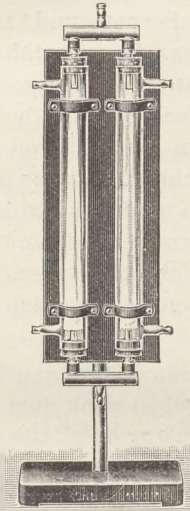


Fig. 7.

Transport gelockerten Korke der Röhren. Man kann hierzu an den einen der beiden Rohrstützen jedes Rohres einen Schlauch mit einem sich erweiternden Glasrohre ansetzen, das man in Wasser einsenkt; der andere Stutzen wird abgestöpselt. Wasserbelag der Röhren, der von etwaigem Einblasen mit dem Munde zurückblieb, entfernt man durch Hindurchtreiben trockner Luft mittels Gummigebläses unter leichtem Erwärmen des Rohres. Nach Anschluß des einen Rohrstützens an einen konstanten Wasserstoffentwickler, dem Füllen, sowie dem Abstöpseln der Abflußröhre läßt man den Dampf hinzutreten. Der Gleichheit wegen muß auch am anderen Wärmeleitungsrohre der obere Stutzen geschlossen sein. Die Rötung ist in Wasserstoff bis an das Ende des Farbmantels vorgeschritten, wenn sie in Luft etwa halb so weit gekommen ist. Nach dem Erkalten kann man den Versuch mit wagerecht eingestellten Röhren wiederholen. Man erkennt dabei die schon

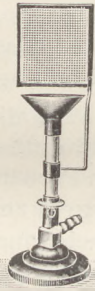


Fig. 8.

(II., 152) erwähnte, in Luft lebhaftere Wirkung der Wärmekonvektion, indem zu Anfang oberhalb des Heizrohres die Rötung in Luft schneller fortschreitet als in Wasserstoff. Eben die schnellere Ausbreitung der Wärme im letzteren Gase wärmt auch die entferntere Umgebung des Heizrohres mehr an, so daß der Auftrieb für die Konvektionsströme geringer ist als in Luft.

12. Auch bei der elementaren Behandlung der Wärmestrahlung ermöglicht das Farbblatt, die als Ausgang verwendeten Erfahrungen des täglichen Lebens zu vergegenwärtigen. Als Strahlungsquelle verwendet man zweckmäßig einen Bunsenbrenner mit Schlitzaufsatz (Fig. 8) und einem, noch besser von dessen verlängertem Rohr ausgehenden Drahtnetzrechteck. Dieses strahlt am reichlichsten, wenn es ziemlich steil von der Flamme gestreift wird. Die Richtung kräftigster Strahlung ist dann freilich auf der einen Seite schwach aufwärts, auf der anderen abwärts, was aber beim Gebrauch nicht viel schadet. Bequem ist, wenn Schlitzaufsatz mit Drahtnetz zusammen gedreht und eingestellt werden können (s. auch Fig. 11). Den Draht am Drahtnetzrahmen biegt man leicht mit der Flachzange zurecht bis zum hellsten Glühen. Sehen die Schüler ein Farbblatt im Abstände bis zu 20 cm vom Drahtnetz sich röten, so kann man einzelne anregen, von Erlebnissen, wie an einer Brandstätte oder im Eisenwalzwerk zu berichten. Auf ein in etwa 8 cm Entfernung von der Strahlungsquelle hochkant hingestelltes Unterlegbrettchen (wie unter 8. benutzt) legt man querüber ein Farbblatt. In wenigen Augenblicken ist dies vielfach mit einer hübschen, meistens symmetrischen Wärmezeichnung versehen. Die Grenze des Rot bildet eine Kurve mit drei spitzen Gipfeln. Die tief eingeschnittenen Schluchten dazwischen liegen über den Kanten des Brettchens. Das am weitesten vorspringende Maximum der Isotherme in der Mitte zeigt die geringere Abkühlung über der zwischen Holz und Papier stagnierenden Luft. Auch hierbei zeigt sich ein Unterschied der Wärmeleitung des Holzes in Richtung der Fasern und senkrecht dagegen. Ein weiter vorspringendes Maximum zeigt die Isotherme über dem Holze, wenn

dessen Fasern wagerecht, also parallel dem Papier liegen. Die Querholzseite kühlt schneller ab. Man verwendet hierbei am besten nicht zu schlaftes Thermopapier¹⁾.

Auch dem Versuch mit der zwischen zwei Glasplatten angebrachten Steinsalzplatte (Fig. 9) kommt die kräftige Wirkung der Strahlungsquelle zugute. Ein dahinter gebrachtes Farbblatt wird freilich bei jeder nicht zu schwachen Einstrahlung hinter dem Steinsalz fast sofort gerötet; aber der wirksame weitere Versuch, daß auf den infolge Absorption sich erwärmenden Glasplatten ein hinterher angebrücktes Farbblatt sich rötet, kann nach kürzerer Bestrahlung als sonst vorgenommen werden. Bleibt das Farbblatt hinter dem die Platten tragenden Karton mit eingeklemmt, so sieht man die Rötung von dem anfänglich scharf umschriebenen Steinsalzbilde aus sich nach oben hin konvektiv verbreiten. Die Glasplatten röteten einen angebrückten Farbstreifen bald mit beiden Seiten²⁾.

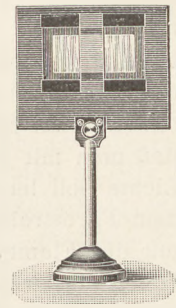


Fig. 9.

13. Die Reflexion an ebenem blanken Metall kann man sehr verschieden farbenthermoskopisch bemerkbar machen. Man stellt z. B. die Strahlungsquelle so auf, daß sie nach rechts und links hin wirkt. Auf einem Brettchen befestigt man ein Farbblatt und hält es so, daß die Strahlen streifend auftreffen, mit der Farbseite nach den Schülern hin. Bringt man dann ein rechteckiges Blechstück (Aluminium) schräg so davor, daß es reflektiert, so ist bald das Farbblatt gerötet, wenn der Einfallswinkel genügend groß gemacht war. In größeren Entfernungen von der Strahlungsquelle bekommt man leicht Wärmebilder, wenn man das Blech nach Flamme und Farbblatt hin etwas konkav biegt. Auch hierbei empfiehlt es sich, das Blech zunächst so zu halten, daß der Keil reflektierter Strahlen das Farbblatt noch nicht trifft, und alsdann das Blech für die Entstehung des Wärmebildes dem Farbblatte zuzuneigen. Ein auf Holz lose hingelegtes Farbblatt berührt seine Unterlage nur an wenigen Stellen. Es wird dann durch Strahlung sehr leicht gerötet. Gleichmäßiger, aber immerhin etwas größer sind die Wärmeverluste über der Unterlage, wenn das Farbblatt über einem Stück Flanell auf Holz mit Reißzwecken befestigt ist.

Die Versuche mit sphärischen oder parabolischen Metallspiegeln lassen sich bequemer vorbereiten, sowie auf größere Entfernungen durchführen, wenn man als

¹⁾ Mit einem Farbblatte kann der Schüler allerlei Scherzfragen lösen, z. B. die Anordnung und Zahl von Münzen hervortreten lassen, die ein anderer heimlich darunter gelegt hatte. Das Farbblatt wird durch Strahlung zunächst gerötet, wobei auch eine große nahegebrachte Papierflamme verwendbar ist. Es hebt sich dadurch in der Mitte etwas empor. Drückt man es dann, etwa mit einem Bleistift in der Mitte herunter, so erscheinen Bilder der Münzen gelb auf rotem Grunde. — Rollet man aus der beliebten „Knetmasse“ der Kinder dünne Zylinder, legt sie zu einer Figur auf ein Brett und darüber ein Farbblatt, das man mit einem zweiten Brette andrückt, so läßt die Bestrahlung der Farbseite die Figur darunter hervortreten.

²⁾ Der Gieselsche Calciumsulfid-Leuchtschirm läßt Strahlen dunkler Wärme durch die Auslöschung der Phosphoreszenz vorzüglich erkennen, aber nicht solche von größerer Wellenlänge, sondern diese nur, wenn sie von sehr heißen, dem Glühzustand ziemlich nahen Körpern ausgehen (vgl. die prächtigen Versuche von Danneberg, d. Zeitschr. 21, 157). Steinsalz- bzw. Glasplatten, die nebeneinander starker Wärmestrahlung ausgesetzt wurden, zeigten ihre verschiedene Erwärmung aber keineswegs, wenn sie meinem phosphoreszierenden Schirm hinterher nahegebracht wurden. So heiß, daß sie die wirksame Strahlung aussenden, konnte man die Platten ohne starkes Annähern an die Heizquelle und Gefahr des Springens nicht machen. Erwärmen die Platten den Leuchtschirm aus größter Nähe konvektiv, so strahlt die Blende hinter dem Glase nicht weniger stark, sondern — wie stets nach dem Erwärmen — für die nächste Zeit intensiver. Ein am Ende schwach glühender Draht, den man im Dunkeln mit seinen kälteren und heißeren Stellen über einem phosphoreszierenden Leuchtschirm wirken läßt, zeigt annähernd, von welcher Hitze an die Strahlung sich bemerkbar macht, indem sie das Leuchten abschwächt.

Wärmeindikator einen etwa 15 mm breiten Farbblattstreifen verwendet. Zunächst sei erwähnt, wie man bei fehlender Vorbereitung, etwa um bei der Wiederholung Vergessenes zu erklären, und zugleich, wie man mit ganz billigen Hohlspiegeln verfahren kann. Im Abstände der Brennweite (vom Versuch im Sonnenschein bekannt) klemmt man vor dem einen Spiegel den Farbstreifen fest, so daß er sich nach einer entfernt stehenden, mittels genügend langen Schlauches beweglichen Auerflamme hin öffnet. Man hält dann den anderen Spiegel frei in der Hand so hinter die Flamme, daß man mit dem neben ihm hinstehenden Auge den fernen Spiegel im reflektierten Lichte hell leuchten sieht. Zu gleicher Zeit entsteht auch schon das Wärmebild auf dem Farbstreifen. Selbstverständlich hatte man den Spiegel so aufgestellt, daß man mit der Flamme sich den Schülern auf der einen Seite des Zimmers nähern konnte. Hinter der wenig leuchtenden Flamme des Bunsenbrenners mit Drahtnetz findet man die dem Spiegel für den Versuch zu gebende Richtung auch nicht viel schwerer. Hinzugefügt sei, daß für die Entzündung einer Flocke berußter Schießwolle die ziemlich breite Strahlungsquelle besonders dann geeignet ist, wenn die Spiegel wenig vollkommen sind. Den Brenner befestigt man hierfür in einer Stativklemme.

Mit unseren älteren, recht unvollkommenen Wärmespiegeln kann die Strahlung in den größten bequem zugänglichen Entfernungen im Zimmer leicht nachgewiesen werden. Der Spiegel mit Farbstreifen im Brennpunkte wird im fernsten Winkel erhöht aufgestellt. Die Schüler wenden sich später dorthin. Die Strahlung geht vom entgegengesetzten Ende des Tisches aus, wo der andere Spiegel im bekannten Abstand (Brennweite) hinter der Strahlungsquelle steht. Bei der Vorbereitung stellt man denselben bald richtig ein, wenn man sich vor den anderen Spiegel begibt und ersteren durch Zurufe an den Gehilfen so nach rechts und links, sowie aufwärts oder abwärts drehen läßt, daß man ihn in ganzer Ausdehnung gleichsam glühen sieht. Entfernt man dann den Kopf vor dem Auffangespiegel, so erscheint auf dem Farbstreifen schnell ein Wärmebild auf über $8\frac{1}{2}$ m Entfernung.

14. Eine vorzügliche Wirkung geben zwei Zylinderspiegel (Fig. 10), die senkrecht über Holzplatten befestigt sind. Den Unterschied des Strahlenganges beim parabolischen und beim Kreiszyinderspiegel sieht man aus einiger Entfernung nach Beleuchtung mit parallelem Licht nur dann sehr deutlich, wenn dies besonders intensiv ist. Sonst wird das Auftreten eines Brennfleckes vor dem einen, das Entstehen einer hübschen Brennlinie vor dem anderen Spiegel weithin besser dadurch bemerkbar, daß man ein entsprechend konvex zugeschnittenes Farbblatt auf das Brett des einzelnen Spiegels bis an diesen heranlegt und dem Ganzen die Strahlungsquelle nähert. Natürlich ist der gerötete Bezirk vor beiden Spiegeln ziemlich ausgedehnt; der Brennfleck ist eine Art Dreieck von etwa 2 cm Seitenlänge, und

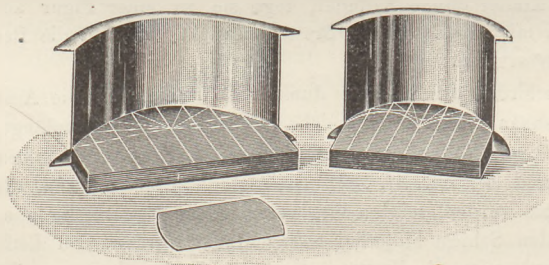


Fig. 10.

vor dem kreiszyndrischen Spiegel ist ein vorzüglich sichtbares breites Gebiet gerötet. Die vordere Kontur davon ist charakteristisch gestaltet. Man stellt am einfachsten den Spiegel in 10 bis 20 cm Entfernung der Flamme gegenüber auf die Tischplatte, damit die Strahlen auch genügend schräg von oben auf die Spiegel fallen. Ist nach wenigen Augenblicken die Wirkung eingetreten,

so hält man das Farbblatt schnell empor oder wendet es mit dem Spiegel zusammen den Schülern zu. Man kann ein Farbblatt benutzen, dessen beide Schmalseiten den Spiegelwölbungen entsprechend zugeschnitten sind. Auch bei diesen Spiegelversuchen wird schnell bemerkbar, daß senkrecht zur strahlenden Drahtnetzfläche die Strahlung

am schnellsten und weitesten wirkt. Man stelle den Spiegel in gleichen Abständen, einmal im spitzen, sodann im stumpfen Winkel der etwas schrägen Netzfläche auf.

15. Eine anregende Demonstration der Reflexion von Wärmestrahlen gestattet ein Rohr aus innen blankem Blech (Aluminium, vernickeltes Messing). Stellt man es in seiner Holzfassung mit der einen Öffnung nahe vor der Strahlungsquelle auf, so dringen die Strahlen so reichlich durch das lange Rohr, daß ein vor die andere Öffnung gehaltenes Farbblatt fast sofort gerötet wird. Mit aneinander gesetzten Rohren kann man Reichweiten für die Strahlung erhalten, von denen der Abstand, in dem die Strahlungsquelle sonst direkt rötet, nur ein geringer Bruchteil ist (Fig. 11 zeigt nur ein Stück Zylinderrohr). Schiebt man ein innen schwarzes Stück Papperohr in den Rohrumfang, so hört die Durchstrahlung größtenteils auf. Ein ebenfalls beigegebenes, auch für sich verwendbares konisches Strahlrohr konzentriert die Wirkung auf die kleine Öffnung. Die Strahlungsquelle wirkt dann in viel größerer Entfernung vor der weiten Öffnung. Das konische Strahlrohr gleicht dem Hörrohr.

Der durch die geringe Beugung der Wärmestrahlen (im Vergleiche zu Schallstrahlen) bedingte Unterschied wird ersichtlich, wenn man das Strahlrohr in etwa 50 cm Abstand vom Drahtnetz hält. Erst wenn die Rohrachse ziemlich genau auf die Heizfläche gerichtet wird, rötet sich ein Farbblatt hinter dem engen Strahlenaustritt plötzlich.

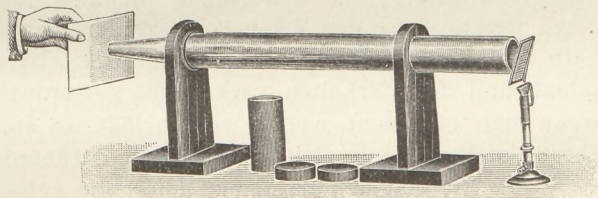


Fig. 11.

Die liefernde Firma gibt den Rohren Bretthalter mit entsprechenden Löchern bei. Ein drittes, mit den anderen durch Aufschieben ver- ein-tes Rohr wird hierbei ohne besonderen Halter getragen¹⁾.

16. Von sichtbarem Lichte befreite Wärmestrahlen werden in den folgenden Versuchen behandelt. Einfingerbreit hinter der bekannten faustgroßen Kugelflasche mit Jodschwefelkohlenstofflösung entsteht noch in etwa 40 cm Entfernung von der frei aufgestellten Strahlungsquelle ein feines Wärmefleckchen auf dem Farbblatte. Dieses wird am besten über einer Unterlage, bestehend aus einem vorgewärmten Brettchen, länger sichtbar erhalten. Ohne vorheriges Erproben erhält man besonders für große Klassen mehr geeignete, umfangreichere Wärmebilder, wenn der Abstand der Strahlungsquelle geringer gewählt wird. Ein etwa pfenniggroßer Heizfleck wird aus großen Entfernungen gesehen. Hinter dem ebenen Fläschchen mit der dunkel durchstrahlbaren Lösung sieht man meistens nur dort eine Wärmewirkung auf dem Farbblatte, wo schlierenartige Krümmungen der Glasflächen die Strahlung etwas konzentrieren. Gut verwendbar ist in ohne weiteres verständlicher Weise eine Linsenflasche (geblasen) mit der dunklen Lösung.

Einer Verwendung der dünnsten Ebonitplatten (0,3 mm) kann man vorauf- schicken, daß sie nur vom allerhellsten Lichte erkennbare Spuren hindurchlassen (WEINHOLD, *Demonstrationen*, 4. Aufl. S. 551). Man wird also solchem schwachen Schimmer eine Wärmewirkung nicht beimessen, wenn man mit dem Farbblatte den Nachweis sucht. Dieses ist ja auch im hellsten Lichte gelb. Stellt man die konische Strahlröhre etwa 8 cm vor der Strahlungsquelle auf und bedeckt die breite Ein- strahlungsöffnung mit einer dünnen Ebonitplatte, während man hinter die Rohrver-

¹⁾ Langgestreckte Strahlungskonusse mit weiter Öffnung sind viel billiger als große Hohlspiegel und haben den Vorteil, daß die konzentriert bestrahlten Gegenstände (z. B. Heizflächen von Wärmemotoren, wie sie in Amerika konstruiert wurden) nicht vor, sondern hinter den Spiegelflächen stehen können. Auch bei Bestrahlungen zu Heilzwecken können sie verwendet werden. In schlanken Kegeln wird das meiste Licht nur 1—2 mal reflektiert.

engung ein Farbblatt hält, so wird dies gerötet. Gegenüber den vorigen Versuchen tritt diese Wärmewirkung merklich langsamer hervor. Da die Ebonitplatte hierbei heiß wird, so trägt jedenfalls die eigene Ausstrahlung zu der erkennbaren Erwärmung des Farbblattes bei. Zu zeigen wäre aber wohl noch, daß ohne die hindurchdringenden dunklen Strahlen die Wärmefarbe nicht geändert wird. Man kann hierfür die Strahlungsquelle entfernen, während das Ebonit, durch Bestrahlung heiß geworden, vor dem Strahlrohre bleibt. Das Farbblatt wird zugleich ein wenig verschoben. Eine neue Rötung tritt nicht ein. Ebensowenig erfolgt eine solche, wenn eine geschwärzte, von Dampf durchströmte Metallkapsel die ganze breite Einstrahlungsöffnung bedeckt. Es ist bemerkenswert, daß eine über der Flamme erhitzte Schwarzblechplatte ebenfalls noch nicht hinreichende Strahlung aussendet, um durch den Konus hindurch das Farbblatt zu verändern, sobald nur bis zum beginnenden Zischen beim nassen Betupfen erhitzt wurde. Beim stärkeren Erhitzen nimmt die Strahlung mit der Temperatur schnell zu. Ein Eisenblech, auf dem ein Blättchen Papier mit Jodsilberanstrich¹⁾ die Erwärmung auf über 146° durch etwas dunkleres Gelb anzeigt, wirkte unter den Versuchsumständen erst auf das Farbblatt, wenn es bis oberhalb des Umwandlungspunktes erhitzt war. Es sei hinzugefügt, daß ein durch Hitze schlaff und beim Erkalten verkrümmt gewordenes Ebonitblatt wieder geebnet wird, wenn man es erneut weich werden läßt, es auf den Tisch wirft und ein hochkant bereitgestelltes Buch oder Brett schnell darüberdeckt und andrückt.

17. Mit blauen Farbstoffen liefert die gelbe Wärmefarbe grüne Mischungen, die ich bereits 1895 in z. Tl. noch vorhandenen Anstrichen erprobte. Eine Empfehlung derselben wurde damals unterlassen der Neuheit des gelben Farbthermoskopes wegen, und um Verwechslungen der Färbung des zugrunde liegenden Stoffes vorzubeugen. Ferner sind die grünen Mischungen nicht unzweifelhaft wirksamer als der reine Stoff mit seinen leuchtenden Farben. Von mehreren erprobten Farbstoffen lieferte Berlinerblau, zu $\frac{1}{10}$ des Gewichtes beigemischt, einen grünen Anstrichstoff, der beim Erwärmen dunkelrot wird. Liefernden Firmen möchte ich jetzt vorschlagen, ein Stück der Blätter des Sortimentes durch ein grünes zu ersetzen.

Nochmals sei es gestattet hervorzuheben, daß die Papierblätter mit der gelben Wärmefarbe, wie manches von dem Mitgeteilten wohl erkennen läßt, es besonders erleichtern, beim Eintritt in zahlreiche Erscheinungsgebiete vom Versuche auszugehen. Trotzdem z. B. der unvergeßliche B. SCHWALBE die ersten mitgeteilten Versuche sofort im Fortbildungskursus (1896) verwendete, ist so mancher Lehrer inzwischen erst durch eine Art Zufall davon überzeugt worden, ein wie einfaches und wirksames Hilfsmittel das Farbblatt ist.

Außer anderen Firmen liefern G. LORENZ. sowie M. KOHL in Chemnitz die Farbblätter; 10 Stück zu 3,50 M. Die in dieser Mitteilung erwähnten neuen Apparate sind von der letztgenannten Firma hergestellt und in ihre Sonderprospekte aufgenommen worden.

Über die Pole von Magneten.

Von

Prof. Dr. **Ruoff.**

(Tierärztliche Hochschule, Stuttgart.)

Bei der Fernwirkung von Strömen auf Magnete und der Wirkung von Magneten unter sich spielt die Lage der Pole eine wichtige Rolle, und zahlreichen in dieser Zeitschrift erschienenen Abhandlungen könnte eine fehlerhafte Annahme der Pole

¹⁾ Nach ERDMANN, Das älteste Farbthermoskop von 1839. Vgl. I., 29.

verhängnisvoll werden. Die Frage, ob das Coulombsche Gesetz für Magnete experimentell nachweisbar ist, hängt eng zusammen mit der Frage nach den Polen.

Da wir seit RIECKE¹⁾ wissen, daß bei der Einwirkung von 2 Magneten den Polen keine feststehende Lage zukommt, daß dieselben vielmehr ihre Lage ändern mit der Entfernung beider Magnete und sogar imaginär werden können, so scheint ein strenger, einwurfsfreier experimenteller Nachweis des Coulombschen Gesetzes ausgeschlossen.

Als Differentialgesetz: Zwei Punkte mit den magnetischen Mengen m und m_1 in der Entfernung r usw., ist es nicht nachweisbar, weil eben der Magnetismus sich über die ganze Fläche erstreckt; in Form eines Integralgesetzes verlangt es die genaue Kenntnis der Verteilung des freien Magnetismus in den Magneten, die zur Anwendung kommen. Nun kann aber in einem und demselben Stahl der freie Magnetismus in der verschiedensten Weise angeordnet sein dadurch, daß die Magnetisierung auf verschiedene Weise ausgeführt wurde; und selbst wenn es gelingt, sogenannte symmetrisch magnetisierte Stäbe anzuwenden, deren magnetische Verteilung durch die Formeln von BIOT und VAN REES wiedergegeben werden kann (die von 3 schwierig zu bestimmenden Konstanten abhängen), kommen wir bei der Berechnung der Fernwirkung auf Integrale, die allgemein nicht auflösbar sind, wodurch eine Vergleichung des theoretischen Ergebnisses mit dem experimentellen ausgeschlossen ist.

Man sieht daraus, daß die Bestätigung des Coulombschen Gesetzes nur darin zu suchen ist, daß die gesamte auf ihm aufgebaute Theorie des Magnetismus zu Ergebnissen geführt hat, welche mit der Erfahrung in Übereinstimmung stehen.

Da alle magnetischen Messungen das Coulombsche Gesetz zur Unterlage haben, so war und ist es stets ein Bedürfnis für den Unterricht, dieses Gesetz in der einfachsten Form durch Anschauung dem Verständnis des Anfängers näher zu bringen.

Statt des Flächenmagnetismus setzt man hierbei stillschweigend einen Punktmagnetismus, an einer Stelle, deren Lage recht zweifelhaft ist²⁾, worauf KOHLRAUSCH schon aufmerksam gemacht hat³⁾.

Bald sollen die mit Eisenfeile hergestellten Kraftlinien rückwärts verlängert sich in Punkten schneiden, deren Verbindungslinie die magnetische Achse in den Polen trifft, bald soll ein Magnetstäbchen, das mit einem Kork verbunden auf Wasser schwimmt, bei einem darübergehaltenen Stabmagneten den Pol anzeigen, bald eine kleine Kompaßnadel in der Nähe eines Stabmagnets bei senkrechter Stellung zum Magnet den Pol anzeigen u. dgl.; schließlich begnügt man sich auch einfach damit, daß man die Pole in Punkten annimmt, die $\frac{1}{12}$ der Stablänge von den Enden entfernt sind; die Vereinfachung geht dann noch weiter, man ignoriert die Einwirkung von einem der Pole mit der willkürlichen Annahme, daß er zu weit abliege, um Einfluß auf die Messungen zu haben.

Solange nur der Zweck verfolgt wird, das Coulombsche Gesetz dem Verständnis näher zu rücken, kann man solche Demonstrationen mit weniger kritischen Augen betrachten; man braucht sie eben, und je einfacher, desto besser; anders ist es aber, wenn man mit solchen Demonstrationen genaue absolute Messungen verbinden will.

COULOMB selbst hat sein Gesetz mit der Drehwage nachgewiesen, er hat die Lage der Pole unberücksichtigt gelassen und die Wirkung der abgewandten vernachlässigt.

In MACHS „Grundriß der Physik“ und anderen Lehrbüchern sehen wir einen

¹⁾ E. RIECKE, Über die Polpunkte eines Magnets. Pogg. Ann. 149, S. 62. Wied. Ann. 8, S. 300.

²⁾ Die folgenden Angaben über Polbestimmungen beziehen sich auf Abhandlungen, die in verschiedenen Jahrgängen dieser Zeitschrift erschienen sind.

³⁾ FR. KOHLRAUSCH, Über die Berechnung der Fernwirkung eines Magneten. Wied. Ann. 31, S. 614, Anmerkung 1.

Stabmagnet vertikal an den Arm einer Wage gehängt. Darunter wird in bestimmter Entfernung ein zweiter gehalten. Die Kräfte werden mit Gegengewichten bestimmt; bei der Berechnung wird Pollage und Wirkung der abstoßenden Pole vernachlässigt. (Ich nehme an, daß es sich hier nur um ideelle Messungen, nicht um wirkliche handelt.)

Dieselben Vernachlässigungen werden sogar im physikalischen Praktikum der Hochschulen gemacht, einzig und allein aber, um den Begriff von magnetischer Polstärke zu erläutern. (Vgl. das Physikal. Praktikum von WIEDEMANN und EBERT, S. 491, Übung 4.)

Alle derartigen Messungen, darüber muß man sich klar sein, können nie als Beweise des Coulombschen Gesetzes angesehen werden.

Es haben nun einige Physiker (z. B. ds. Zeitschr. XX 373) durch recht übertriebene Dimensionen: 2 m langer bleistiftsdicker Stabmagnet und Entfernungen 40 und 80 cm, die Zulässigkeit obiger Vernachlässigungen konstatieren wollen; was ist aber damit erreicht? Offenbar dasselbe wie mit einem 20 cm langen Stabmagnet in den Entfernungen 4 und 8 cm, wobei das Vorhandensein von Polen noch recht fraglich ist. GAUSS hat wohl am meisten empfunden, daß die vorhandenen Beweise für das Gesetz von COULOMB sehr mangelhaft sind. Er hat uns einen Beweis gegeben, dessen Vorbild ihm aus der Lehre der Elektrizität bekannt war. Hier, in der Elektrizität, haben wir einen untrüglichen, unzweideutigen Beweis für das Gesetz von COULOMB, und zwar lediglich deshalb, weil — im Gegensatz zur Verteilung des Magnetismus — die Verteilung der Elektrizität auf einem Konduktor eindeutig bestimmt ist. Diese Verteilung muß, welches auch das Kraftgesetz zwischen den kleinsten Teilchen sein mag, derart sein, daß die Oberfläche eine Niveaufläche ist. Im Innern einer solchen Niveaufläche ist aber nach den Gesetzen der Funktionentheorie die Feldstärke einzig und allein Null, wenn das Kraftgesetz das des umgekehrten Quadrates der Entfernung ist. Da aber im Innern aller geladenen Konduktoren, welche Form sie auch haben mögen, nie Induktion nachgewiesen wurde, also die Feldstärke Null ist, so muß das letztgenannte Kraftgesetz vorliegen.

In dieser Allgemeinheit konnte GAUSS das magnetische Gesetz nicht beweisen. Er ging aus von der Funktion $m m_1 / r^n$, machte also die Voraussetzung, die Fernwirkung sei umgekehrt proportional der n^{ten} Potenz der Entfernung.

Unter der Annahme fester Pole und großer Entfernungen (1—4 Meter) ergab dann die mathematische Berechnung:

Bringt man einen Magnetstab in die erste und dann in die zweite Gaußsche Hauptlage von einer kleinen Magnetnadel, so daß die Entfernung der Mitte des Stabes von der Mitte der Nadel beidemal dieselbe ist, so hat man für die Ausschläge φ und φ_1 der Nadel $n = \text{tg } \varphi / \text{tg } \varphi_1$. Die Beobachtung lieferte aber $\text{tg } \varphi / \text{tg } \varphi_1 = 2$, so daß sich das Kraftgesetz $m \cdot m_1 / r^2$ ergab.

Bestimmt man die Kräfte der Fernwirkung zweier Stabmagnete mittels der Wagen (Drehwage, gleicharmige Hebelwage, Dynenmesser, Magnetische Zeigerwage, Polwage), indem man die Stäbe in der Entfernung x in senkrecht gekreuzter oder paralleler Lage einander gegenüberstellt, so erhebt sich bei diesen Versuchen überhaupt die Frage:

Können die in den Entfernungen x und x_1 gemessenen Kräfte sich wie $1/x^2 : 2/x_1^2$ verhalten?

In Figur 1 sei NS ein Stabmagnet, der Pol N stehe gegenüber dem Pol N_0 eines Stabmagnets $N_0 S_0$, der mit der Drehwage oder Zeigerwage oder gleicharmigen Hebelwage fest verbunden sei, so daß S_0 zugleich Umdrehungspunkt ist. NS sei parallel $N_0 S_0$ oder, was für unsere Berechnungen unwesentlich ist, senkrecht gekreuzt zu $N_0 S_0$. Die Wage gestattet dann, die senkrecht $N_0 S_0$ auf N_0 ausgeübte magnetische Kraft k zu messen.

Bei der Polwage (ds. Zeitschr. XVI 335) haben wir z. B. eine gleicharmige Hebelwage, der rechte Wagebalken besteht aus der magnetischen Stricknadel N_0S_0 , der linke aus einem Messingdraht. Der magnetische Pol S_0 ist Umdrehungspunkt, die vertikalen magnetischen Kräfte auf N_0 werden durch Reitergewichte erhalten, die man auf den Messingdraht aufsetzt in einer Entfernung vom Drehpunkt, die gleich dem Polabstand N_0S_0 ist. Der abstoßende Magnet NS wird parallel mit sich vertikal verschoben, die Entfernung x der parallelen Stabmagnete N_0S_0 und NS wird an einer vertikalen Skala abgelesen.

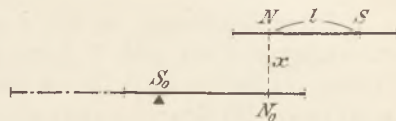


Fig. 1.

Es seien die Polstärken m_0 und m ; $NS = N_0S_0 = l$; wir unterscheiden dann:

Fall 1. Die Verbindungslinie der zugewandten Pole steht senkrecht zu beiden Stäben.

Es ist jetzt

$$k = \frac{m m_0}{x^2} - \frac{m m_0 x}{\sqrt{x^2 + l^2}^3}$$

Bringt man den festen Stab NS in eine andere parallele Lage mit der Entfernung λx , so ist

$$k_1 = \frac{m m_0}{\lambda^2 x^2} - \frac{m m_0 \lambda x}{\sqrt{\lambda^2 x^2 + l^2}^3}$$

Zur Demonstration des Coulombschen Gesetzes wünscht man aber, daß

$$k_1 = \frac{k}{\lambda^2}, \text{ somit } \frac{1}{x^2} - \frac{\lambda^3 x}{\sqrt{\lambda^2 x^2 + l^2}^3} = \frac{1}{x^2} - \frac{x}{\sqrt{x^2 + l^2}^3},$$

woraus $\lambda = 1$. Die gewünschte Demonstration ist also unmöglich, und man ist erstaunt, daß die messenden Versuche mit der Drehwage, Polwage, den Dynenmessern usw., die alle den Fall 1 zur Voraussetzung haben, dennoch Kräfte ergeben, annähernd umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung x , wenigstens in einem gewissen Meßbereich.

Es wird sich gleich zeigen, daß eben bei diesen Versuchen die Verbindungslinie N_0N nicht senkrecht zu den Stäben ist, oder, was dasselbe ist, daß die Pole falsch angenommen wurden.

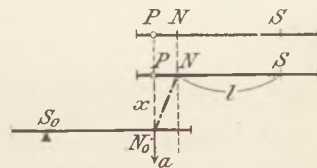


Fig. 2.

Fall 2. (Figur 2.) NS wieder $\parallel N_0S_0$; aber die Verbindungslinie N_0N der zugewandten Pole nicht senkrecht, sondern schief zu NS . Die auf $N_0 \perp N_0S_0$ wirkende Kraft ist in der gemessenen Entfernung x

$$(1) \dots \dots \dots k = \frac{m m_0 x}{\sqrt{x^2 + a^2}^3} - \frac{m m_0 x}{\sqrt{(a+l)^2 + x^2}^3}$$

wo a die Projektion von NN_0 auf N_0S_0 .

In der gemessenen Entfernung λx ist

$$k_1 = \frac{m m_0 \lambda x}{\sqrt{\lambda^2 x^2 + a^2}^3} - \frac{m m_0 \lambda x}{\sqrt{(a+l)^2 + \lambda^2 x^2}^3}$$

Sollen die gemessenen Kräfte k und k_1 umgekehrt wie die Quadrate der gemessenen Entfernungen sich verhalten, so muß $k = \lambda^2 k_1$ sein, woraus:

$$(2) \dots \frac{1}{\sqrt{a^2 + x^2}^3} - \frac{1}{\sqrt{(a+l)^2 + x^2}^3} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{a}{\lambda}\right)^2 + x^2}^3} - \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{a+l}{\lambda}\right)^2 + x^2}^3}$$

Zum Beispiel $l = 17$ cm, $a = 1,5$ cm (einem Stab von etwa 20 cm Länge entsprechend, dessen Pole je 1,5 cm vom Ende entfernt wären):

$$\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1,5}{\lambda}\right)^2 + x^2}} - \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{18,5}{\lambda}\right)^2 + x^2}} = \frac{1}{\sqrt{1,5^2 + x^2}} - \frac{1}{\sqrt{18,5^2 + x^2}}$$

Diese Gleichung ist für $\lambda = 2$ befriedigt durch $x = 5$; d. h. die in den Stabentfernungen 5 cm und 2.5 cm gemessenen Kräfte verhalten sich wie 4:1; in den Entfernungen 5 und 10 cm ist also der Magnet *NS* mit seinen **beiden** Polen in seiner Wirkung äquivalent mit nur **einem einzigen Pol P**, der nahe an seinem Ende liegt, 1,5 cm von *N* nach außen entfernt; daß diese Äquivalenz annähernd im ganzen Meßbereich 5–10 cm gilt, läßt sich vermuten.

Aus (1) folgt für $a = 1,5$; $l = 17$ cm und Entfernungen $x = 5$ bis $x = 10$:

| x | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 |
|-----------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| k in Dynen | $34,44 \cdot 10^{-3} \cdot m m_0$ | $24,55 \cdot 10^{-3}$ | $18,18 \cdot 10^{-3}$ | $13,86 \cdot 10^{-3}$ | $10,82 \cdot 10^{-3}$ | $8,61 \cdot 10^{-3}$ | $5,67 \cdot 10^{-3}$ |

Man sieht, daß in der Tat in der doppelten Entfernung 10 cm die Kraft $8,61 \cdot 10^{-3} \cdot m m_0$ der 4. Teil von der Kraft bei 5 cm ist. Ist *M* die Stärke des äquivalenten Pols, der *N* und *S* im Meßbereich 5–10 cm ersetzt, so ergibt sich für die Kraft in 5 cm Entfernung:

$$\frac{M m_0}{25} = k, \text{ für } x = 5;$$

also

$$M = 25 \cdot 34,44 \cdot 10^{-3} \cdot m = 0,861 m.$$

Dieser äquivalente Pol gibt dann in der Entfernung $x = 5$ bis 10 cm vom Pol m_0 :

$$k' = \frac{M m_0}{x^2},$$

also

| x | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 |
|--------------------|-----------------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| k' | $34,44 \cdot 10^{-3} \cdot m m_0$ | $23,91 \cdot 10^{-3}$ | $17,5 \cdot 10^{-3}$ | $13,46 \cdot 10^{-3}$ | $10,63 \cdot 10^{-3}$ | $8,61 \cdot 10^{-3}$ | $5,98 \cdot 10^{-3}$ |
| Fehler $k - k'$ | 0 | - 0,0261 | - 0,0335 | - 0,0289 | - 0,0176 | + 0,00116 | + 0,0547 |
| $\frac{k - k'}{k}$ | 0 % | 2,6 % | 3,3 % | 2,9 % | 1,76 % | 0 % | 5,5 % |

Die ausgerechneten Fehler zeigen, daß die größte Abweichung im Meßraum 5–10 cm $\frac{3}{100}$ der gemessenen Kraft beträgt, und daß der mittlere Fehler etwa die Hälfte hiervon ist. Man kann also in der Tat für die beiden Pole einen einzigen setzen. Hieraus:

Ist bei der Demonstration des Coulombschen Gesetzes mittels der Wagen die Verbindungslinie der zugewandten Pole schief zu den Stabmagneten, so können in einem gewissen Meßbereich die beiden Pole des ablenkenden Magnets durch einen einzigen Pol ersetzt werden.

Das eben berechnete Meßbereich kann ohne Kenntnis von a und l , also ohne Kenntnis der Pole, auf experimentellem Wege bestimmt werden und hieraus auch die Stärke des äquivalenten Poles. Die Möglichkeit, in diesem Meßbereich mit einem Pol statt mit zweien zu rechnen, dürfte den Messungen des Herrn GRIMSEHL gegen die von Herrn FR. C. G. MÜLLER erhobenen Einwendungen (*diese Zeitschr.* 20, S. 372) sehr zustatten kommen. Diese Möglichkeit gibt auch das denkbar einfachste Mittel an die Hand, Polstärken und Feldstärken auf wenige Prozent genau zu bestimmen. Im folgenden möge an den durch Wägung erhaltenen abstoßenden Kräften des Herrn GRIMSEHL (16, 335) das Ganze erläutert werden. Für die Entfernungen

| | | | | | |
|---------|------------|--------------|-------------------|-----------------|--------|
| $x = 2$ | resp. 4 cm | war $k = 40$ | resp. 16,5 Dynen, | also Verhältnis | 1:0,41 |
| $x = 3$ | - 6 - - | $k = 24,5$ | - 10 - - | - - - | 1:0,41 |
| $x = 4$ | - 8 - - | $k = 16,5$ | - 5,8 - - | - - - | 1:0,35 |
| $x = 5$ | - 10 - - | $k = 12$ | - 3,8 - - | - - - | 1:0,32 |
| $x = 6$ | - 12 - - | $k = 10$ | - 2,6 - - | - - - | 1:0,26 |
| $x = 7$ | - 14 - - | $k = 7,5$ | - 1,9 - - | - - - | 1:0,25 |
| $x = 8$ | - 16 - - | $k = 5,8$ | - 1,2 - - | - - - | 1:0,21 |

Hieraus folgert man, daß nur für 7 und 14 die Kräfte sich wie 1:¼ verhalten, der Meßraum ist also 7 bis 14 cm.

Ein einziger Pol, der in 14 cm Polentfernung 1,9 Dynen Abstoßung liefert, würde in x cm nach dem Coulombschen Gesetz

$$k' = \frac{1,9 \cdot 14^2}{x^2} \text{ Dynen}$$

ergeben, woraus für

$$x = 7, \quad 8, \quad 9, \quad 10, \quad 11, \quad 12, \quad 13, \quad 14$$

$$k' = 7,6; \quad 5,8; \quad 4,6; \quad 3,7; \quad 3,1; \quad 2,6; \quad 2,2; \quad 1,9.$$

Durch Wägung wurde aber gefunden

$$k = 7,5; \quad 5,8; \quad 4,7; \quad 3,8; \quad 3,1; \quad 2,6; \quad 2,2; \quad 1,9.$$

Bedenkt man, daß in den vorliegenden Zahlen des Herrn GRIMSEHL die Zehntel der Abwägung schon abgerundete Zahlen sind, so ist die Übereinstimmung von k und k' eine sehr günstige. Für die Größe M des äquivalenten Pols, welcher die beiden Pole der auf 14 cm genäherten Stricknadel ersetzen soll, folgt:

$$\frac{M m_0}{14^2} = \frac{m m_0 \cdot 14}{\sqrt{14^2 + a^2}^3} = \frac{m m_0 \cdot 14}{\sqrt{(a+20)^2 + 14^2}},$$

wo m_0 die Polstärke der Wage, m die Stärke der Pole der Stricknadel und nach GRIMSEHL 20 cm die Entfernung dieser Pole. Die Projektion a von N_0N wird gegen 14 und 20 zu vernachlässigen sein, so daß man erhält:

$$M = 0,811 \cdot m.$$

Der äquivalente Pol hat also ca. $\frac{4}{5}$ der Stärke der vorhandenen. Die Verwendung gleichstarker Stricknadeln ergab nun ($x = 10$, $k = 3,8$):

$$\frac{m^2 \cdot 0,811}{10^2} = 3,8,$$

woraus

$$m = 10 \sqrt{\frac{3800}{811}} = 21,64 \text{ M.E. (Magnetische Einheiten);}$$

also der äquivalente Pol $21,6 \cdot 0,811 = 17,6$ M.E.; und hiemit die horizontale Feldstärke

$$H = \frac{17,6}{10,1^2} = 0,1721.$$

Nimmt man, was sich für Vorlesungen empfiehlt, die Stärke des äquivalenten Pols ebenfalls gleich m , so gibt ($x = 14$, $k = 1,9$):

$$\frac{m^2}{14^2} = 1,9; \quad m = 19,3 \text{ M.E. und } H = \frac{19,3}{10,1^2} = 0,189,$$

eine Zahl, die um $\frac{1}{10}$ größer ist als die vorige.

Bei der magnetischen Zeigerwage (diese Zeitschr. 19, S. 89—95) läßt sich experimentell das Gebiet, in dem die beiden Pole des Schlittenmagnets durch einen einzigen äquivalenten Pol ersetzt werden können, in wenigen Minuten bestimmen. In diesem Gebiet können die Pole des Schlittenmagnets durch einen einzigen, am Ende des Magnets auf der Skala liegenden Pol ersetzt werden, so daß die abgelesene Entfernung gleich dem Polabstand. In doppelter Entfernung ist hier die Kraft $\frac{1}{4}$ so groß als in einfacher und im ganzen Gebiet

$$(\text{Polabstand})^2 \times \text{Ausschlag} = \text{Konstante},$$

was dem Coulombschen Gesetz der zwei einander gegenüberstehenden Pole entspricht. Zur Bestimmung der Polstärke m des Pendelmagnets mit dem gleichstarken Schlittenmagnet (über Herstellung gleichstarker Magnetstäbe vergleiche *diese Zeitschr.* 19, S. 90) setzt man ebenfalls die Polstärke des äquivalenten Pols $= m$. Ist dann im Polabstand 5 cm die Abstoßung 100 Dynen, so hat man $m^2/5^2 = 100$, $m = 50$ M.E.

(Für die Stärke des äquivalenten Pols wäre $M = 0,818 \cdot m$, denn für $x = 12$ ist a ca. 1 und $l = 17$.)

Ist die Stärke des äquivalenten Poles bestimmt, so findet man die Horizontalkomponente des Erdmagnetismus, indem man den Stabmagnet **vertikal aufstellt**, in einer solchen Entfernung x östlich (senkrecht zum magnetischen Meridian) vom Drehpunkt einer kleinen Magnetnadel, daß die Nadel um 45° abgelenkt wird.

Es ist dann:

$$H = \frac{\text{Polstärke}}{x^2}.$$

Für diese wie für die späteren magnetischen Messungen zur Polbestimmung bedient man sich mit Vorteil eines großen Millimeterpapiers (ca. 1 qm). Auf ein dünnes Brettchen 12×12 cm wird ein Stück weißes Papier 15×15 cm aufgeklebt, durch dessen Mitte M zwei senkrechte Achsen bis an den Papierrand durchgezogen sind. In M wird die Spitze einer Nähnadel befestigt. Teilkreis und Spiegel einer Tangentenbussole werden nun mit Klebwachs so befestigt, daß das Achsenkreuz des Papiers auf dasjenige des Millimeterpapiers paßt (der Rand des weißen Papiers mit den eingezeichneten Achsen gestattet ein äußerst genaues und sehr schnelles Einstellen).

Nun setzt man die Magnetnadel mit Zeigernadel auf die Spitze M und dreht das Millimeterpapier so lange, bis die Zeigernadel auf Null steht.

Messungen in der ersten und zweiten Gaußischen Hauptlage lassen sich nun durch Auflegen der Stabmagnete auf die Geraden des Millimeterpapiers vollziehen und die Entfernungen vom Mittelpunkt der Nadel sofort ablesen, ohne nachzumessen.

Im obigen erhält man für x vier Werte, zwei östliche und zwei westliche.

Die weiter oben angeführten Messungen, bei denen man eine Anordnung traf, die das Coulombsche Gesetz einfach zu demonstrieren gestattete, können keinen sehr großen Anspruch auf Genauigkeit haben; die Unsicherheit der Lage der Pole trägt hieran die Hauptschuld. Ist die Polentfernung unrichtig angenommen, so ist z. B. der Reiter bei der Polwage an unrichtiger Stelle aufgesetzt, und damit sind die Resultate aller Wägungen unrichtig; außerdem ist wohl zu berücksichtigen, daß zur Elimination einer Unsymmetrie der Magnetisierung und zur Elimination etwaiger Induktion (die Induktion vermindert die Abstoßung gleichnamiger und vergrößert die Anziehung ungleichnamiger Pole) auch Messungen mit anziehenden Polen ausgeführt werden müssen.

Bestimmt man die Pole genau, etwa nach KOHLRAUSCH, *Lehrbuch der praktischen Physik* (9. Aufl.), S. 338, und zwar für die vorkommenden kleinen Entfernungen, und stellt nun bei den Messungen wie in Figur 1 die Pole N und N_0 einander tatsächlich senkrecht gegenüber, so gibt es keinen äquivalenten Pol mehr; die Wirkung des abliegenden Poles S ist jeweils mit

$$\frac{x \cdot m \cdot m_1}{\sqrt{x^2 + l^2}^3}$$

in Rechnung zu ziehen, und die Messungen erlangen einen großen Grad von Exaktheit¹⁾. Was die Lage der Pole von Stabmagneten anlangt, so hat KOHLRAUSCH (*Wied.*

¹⁾ Ausführliches über diese Messungen behalte ich mir vor. Um die Versuchsanordnung für Fall I an der Zeigerwage zu ermöglichen, ist in der neuen Ausführung die Skala nach rückwärts parallel verschiebbar.

Ann. 22, S. 411) 14 Magnete untersucht, nach drei verschiedenen Methoden (der Magnet lenkt eine kleine Nadel ab, er wirkt auf 2 Magnetometer, er wird durch elektrische Ströme in konzentrischen Kreisen abgelenkt).

6 Rundstäbe: Durchmesser 0,4, Länge 5 cm, gaben $k = 0,82-0,86$, wo k nach KOHLRAUSCH der Polabstandsmodul, mit dem die wirkliche Länge zu multiplizieren ist, um den Polabstand des äquivalenten mathematischen (ideellen) Magnets zu erhalten.

Zwei Magnete mit den Dimensionen $44 \times 2,3 \times 1,0$ cm gaben $k = 0,82-0,83$.

3 Rundstäbe: Durchmesser 1,48, Länge 16, 30, 20 cm, gaben $k = 0,81; 0,82; 0,82$.

HELMHOLTZ (*Sitzungsberichte der Berliner Akademie 1883*) fand Werte zwischen 0,84 und 0,86. SCHNEEBELI (*Progr. des Polyt. Zürich 1872*) fand 0,84—0,86. Hieraus schließt FRIEDRICH KOHLRAUSCH: „Berücksichtigt man die verhältnismäßig großen Schwierigkeiten und Fehler solcher Messungen, ohne welche vielleicht die Unterschiede noch kleiner ausgefallen sein würden, so darf man mit einiger Bestimmtheit behaupten, daß der Wert $k = 0,83 = \frac{5}{6}$ für gewöhnliche gestreckte Magnete der Wahrheit immer ziemlich nahe kommt.“

Daß es sich aber für unsere Messungen um ein etwa um 5% größeres k handelt, und daß k selbst für ganz gewöhnliche Magnete größer sein kann, ergibt sich aus Messungen, die ich der praktischen Physik von Kohlrausch selbst entnehme, und aus denen ich k berechne. Nach Seite 323 und 324 ist für einen Stab $10 \times 1,25 \times 1,25$ cm in der ersten Gaußischen Hauptlage bei der Entfernung (Mitte des Stabes bis Bussolenmitte) $a = 30$ resp. 40 cm die Ablenkung $\varphi = 22,54^\circ$ resp. $9,77^\circ$; also nach Seite 338 $\eta = 36,3$, und da

$$\eta = \frac{1}{2}(L^2 - \frac{3}{2}l^2),$$

wo $l = \frac{5}{6} \cdot 2 = 1,7$, so folgt

$$L = \sqrt{76,77} = 8,76,$$

also $k = 0,88$.

Um nun zu zeigen, daß k bei einem und demselben Magnet eine veränderliche Größe ist, gehen wir auf die Verteilung des Magnetismus in einem Stab ein. Nach einer sehr anschaulichen Theorie von BIOT und VAN REES¹⁾ ist der innere Magnetismus x cm von der Mitte eines Stabmagnetes

$$J = a - b(\mu^{+x} + \mu^{-x}),$$

wo a , b und μ Konstante sind; und der freie Magnetismus

$$F = b \log \text{nat } \mu (\mu^{+x} - \mu^{-x}) = \frac{\partial J}{\partial x}.$$

Ist $2l$ die Stablänge, so folgt für den Magnetismus am Ende des Stabes

$$J_0 = a - b(\mu^{+l} + \mu^{-l}).$$

Für einen von VAN REES untersuchten Stab $50 \times 2 \times 2$ cm waren $a = 1,4865$; $b = 0,4805$; $\mu = 1,0372$; also

$$J = 1,49 - 0,49(1,04^x - 1,04^{-x}); F = 0,02(1,04^x - 1,04^{-x}); J_0 = 0,065.$$

In Figur 3 ist der freie Magnetismus durch die Ordinaten der Kurve

$$y = b \log \text{nat } \mu (\mu^x - \mu^{-x})$$

zur Anschauung gebracht, der Endmagnetismus durch die Ordinaten an den Enden. An der Stelle dx rings um den Magnet herum, also auf 4. dx qcm Oberfläche, wäre demnach die Zahl der magnetischen Einheiten gleich dem Inhalt des schraffierten Trapezes zu setzen. In Figur 4 ist dieser freie Magnetismus durch einen Rotationskörper dargestellt, indem man den freien Magnetismus gleichmäßig auf die Oberfläche

¹⁾ Biot, *Traité de physique*, Tom. III, p. 76; van Rees, *Pogg. Ann.* 70. Siehe auch Wüllner, *Lehrbuch der Experimentalphysik*, Bd. IV.

4 dx verteilte; ebenso wurde der Endmagnetismus in dieser Figur gleichmäßig auf das Ende verteilt. Der gestrichelte Rotationskörper gibt den inneren Magnetismus bei gleichmäßiger Oberflächenverteilung.

Denkt man sich in Figur 4 den Magnetstab ersetzt durch einen kongruenten hohlen Stab, auf dessen Oberfläche eine Masse niedergeschlagen wird gleich groß mit derjenigen des ausgezogenen Rotationskörpers, so kommt auf einen Oberflächenstreifen von der Länge dx in Figur 3 eine Masse gleich dem schraffierten Trapez, und jede Hälfte des Ersatzstabes wirkt auf 1 g an irgend einer Stelle des Raumes nach dem Newtonschen Gravitationsgesetz genau so anziehend wie die betreffende Hälfte des Magnetstabes auf ± 1 M.E. an der betreffenden Stelle des Raumes.

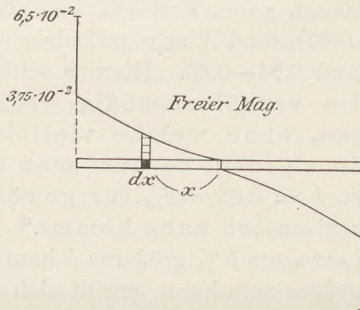


Fig. 3.

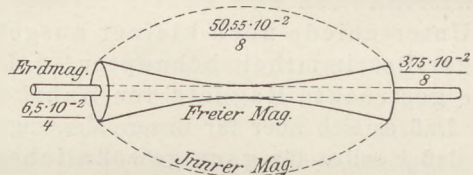


Fig. 4.

Dem durch obige Exponentialfunktion ausgedrückten Verteilungsgesetz des freien Magnetismus kommt nach FR. KOHLRAUSCH (Wied. Ann. 31, 609) am nächsten das weit einfachere Gesetz

$$y = f(x) = \pm c x^2,$$

ohne besondere Pole an den Enden.

Betrachten wir einen Linearmagnet von der Länge 2 L, so haben wir, x cm von der Mitte, auf eine Länge dx den freien Magnetismus $\mu = f(x) dx$. Der Gesamtmagnetismus jeder Hälfte ist

$$\sum_0^L \mu = \int_0^L f(x) dx;$$

das sogenannte magnetische Moment der einen Hälfte ist

$$\sum_{x=0}^{x=L} \mu x.$$

Denkt man sich an jeder Stelle des Linearmagnets eine Masse angebracht gleich dem vorhandenen freien Magnetismus, dem schraffierten Trapez, so erhält man für den Schwerpunktsabstand s der einen Hälfte dieser Massen von der Mitte

$$s \sum \mu = \sum \mu x; \text{ also } s = \frac{\sum \mu x}{\sum \mu}.$$

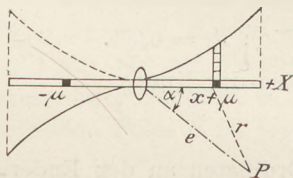


Fig. 5.

Diese so bestimmten Punkte heißen „Schwerpunkte des Magnetismus“.

Das Potential eines durch die Polarkoordinaten e und alpha bestimmten Punktes in bezug auf den Magnet ist für die eine Hälfte

$$\int \frac{\mu}{r} = \int_0^L \frac{f(x) dx}{\sqrt{e^2 + x^2 - 2 e x \cos \alpha}}.$$

Man pflegt dieses Integral durch Reihenentwicklung nach Potenzen von x/e zu lösen. Zur Vereinfachung¹⁾ nehmen wir alpha = 0 (1. Gaußsche Hauptlage); untersuchen

¹⁾ In meiner Abhandlung „Über eine neue Bestimmung der Pole von Stabmagneten“, Wied. Annalen 1908, ist diese Vereinfachung nicht vorausgesetzt.

also die Wirkung des Stabmagnets auf Punkte, die in der Verlängerung der Achse liegen, bemerken aber ausdrücklich, daß sowohl die Lage als auch die Eigenschaften der Schwerpunkte und äquivalenten Pole durch diese spezielle Annahme nicht die geringste Änderung erfahren.

Das Potential der einen Hälfte ist dann:

$$w = \int_0^L \frac{\mu}{e-x} = \int_0^L \frac{\mu}{e} \left(1 + \frac{x}{e} + \frac{x^2}{e^2} + \frac{x^3}{e^3} + \dots \right) = \frac{1}{e} \Sigma \mu + \frac{1}{e^2} \Sigma \mu x + \frac{1}{e^3} \Sigma \mu x^2 \dots$$

Ein einziger Pol von der Stärke M_0 in der Entfernung l_0 von 0 gibt das Potential:

$$w_0 = \frac{M_0}{e-l_0} = \frac{M_0}{e} \left(1 + \frac{l_0}{e} + \frac{l_0^2}{e^2} + \frac{l_0^3}{e^3} + \dots \right).$$

Beide Potentiale werden für großes e gleich, wenn

$$\begin{cases} (1) & M_0 = \Sigma \mu = \text{Gesamtmagnetismus} \\ (2) & M_0 l_0 = \Sigma \mu x = \text{magnetisches Moment der einen Hälfte.} \end{cases}$$

Hieraus

$$l_0 = \frac{\Sigma \mu x}{\Sigma \mu} = \text{Abstand des magnetischen Schwerpunkts;}$$

in Worten:

Der Stabmagnet¹⁾ kann für Fernwirkungen durch einen mathematischen Magnet²⁾ ersetzt werden, dessen 2 Pole die magnetischen Schwerpunkte sind, und dessen Polstärke gleich dem Gesamtmagnetismus.

Das Potential für den ganzen Magnet wird:

$$W = \int_0^L \frac{-\mu}{e-x} + \int_0^L \frac{\mu}{e+x} = \frac{1}{e} \Sigma \mu + \frac{1}{e^2} \Sigma \mu x + \frac{1}{e^3} \Sigma \mu x^2 + \dots - \frac{1}{e} \Sigma \mu + \frac{1}{e^2} \Sigma \mu x - \frac{1}{e^3} \Sigma \mu x^2 + \dots$$

$$(I) \dots \dots \dots W = \frac{2}{e^2} \Sigma \mu x + \frac{2}{e^4} \Sigma \mu x^3 + \frac{2}{e^6} \Sigma \mu x^5 + \dots$$

Der mathematische Magnet mit Polstärke $\pm M_0$ und dem Polabstand $\pm l_0$ gibt das Potential

$$W_0 = \frac{M_0}{e-l_0} - \frac{M_0}{e+l_0} = \frac{2 M_0 l_0}{e^2 - l_0^2},$$

nach Potenzen entwickelt:

$$(II) \dots \dots \dots W_0 = \frac{2}{e^2} M_0 l_0 + \frac{2}{e^4} M_0 l_0^3 + \frac{2}{e^6} M_0 l_0^5 + \dots$$

Hieraus Fehler

$$\Delta W_0 = W - W_0 = \frac{2}{e^4} (\Sigma \mu x^3 - M_0 l_0^3) + \frac{2}{e^6} (\Sigma \mu x^5 - M_0 l_0^5) + \dots$$

¹⁾ Riecke (Pogg. Ann. 149, S. 62; Wied. Ann. 8, S. 300) gelangt durch Vergleichung der Potentiale nicht auf die magnetischen Schwerpunkte, ebenso auch nicht Fr. Kohlrausch (Wied. Ann. 31, S. 609). Es hat dies seinen Grund darin, daß beide sich nicht mit dem Ersatz von nur einer Hälfte des Stabmagnets befassen. Riecke führt den Schwerpunkt nur ein, um nachzuweisen, daß die äquivalenten Pole nicht mit den Schwerpunkten zusammenfallen. Unsere Darstellung hat den Vorzug, daß sich zahlengemäß der Meßraum für die äquivalenten Pole ermitteln läßt, und daß Kugelfunktionen vermieden werden.

²⁾ Mathematischer oder ideeller Magnet ist ein Magnet mit nur 2 Polpunkten, zum Unterschied von einem natürlichen, physischen Magnet mit Polflächen. (Vergleiche: Physisches Pendel und mathematisches Pendel.)

Äquivalente Pole.

Wir nehmen einen mathematischen Magnet mit Polstärke $\pm M_1$ und Polabstand l_1 ; sein Potential ist analog obigem:

$$(III) \dots\dots\dots W_1 = \frac{2}{e^2} M_1 l_1 + \frac{2}{e^4} M_1 l_1^3 + \frac{2}{e^6} M_1 l_1^5 + \dots$$

Für großes e wird $W = W_1$, wenn

$$\begin{cases} (1) M_1 l_1 = \Sigma \mu x = \text{magnetischem Moment der einen Stabhälfte,} \\ (2) M_1 l_1^3 = \Sigma \mu x^3; \end{cases}$$

also $l_1^2 = \frac{\Sigma \mu x^2}{\Sigma \mu x}$ und, da auch für die Schwerpunkte $M_0 l_0 = \Sigma \mu x$, so folgt:

Die Polstärke M_1 ist $\pm \frac{l_0}{l_1}$ des Gesamtmagnetismus; also nicht gleich dem Gesamtmagnetismus, wie bei den Schwerpunkten. $\pm M_1$ und $\pm l_1$ bestimmen die sogenannten äquivalenten Pole. Der Fehler ist:

$$\Delta W_1 = W - W_1 = \frac{2}{e^6} (\Sigma \mu x^5 - M_1 l_1^5) + \frac{2}{e^8} (\Sigma \mu x^7 - M_1 l_1^7) + \dots$$

Dieser Fehler ist geringer als der frühere. Die Übereinstimmung mit dem eigentlichen W ist in der Reihenentwicklung um ein Glied vorgeschritten, mit wachsendem e werden beide Fehler gleich, und zwar 0.

Anwendung. $f(x) = \pm cx^2$.

Es ist $\mu = \pm cx^2 dx$, also vorhandener Magnetismus $\frac{cL^3}{3}$; magnetisches Moment der einen Hälfte $\frac{cL^4}{4}$.

Schwerpunkte.

Es wird $M_0 = \frac{cL^3}{3} =$ vorhandenem Magnetismus.

$$l_0 = \frac{3}{4} L$$

$$W_0 = \frac{1}{2} \frac{L^4}{e^2 - \frac{9}{16} L^2}$$

Äquivalente Pole.

$$M_1 = \frac{c}{8} L^3 \sqrt{6} = \frac{3}{8} \sqrt{6} \left(\frac{cL^3}{3} \right) = 9,19 \text{ des vorhandenen Magnetismus.}$$

$$l_1 = \frac{1}{3} \sqrt{6} L = 0,817 L$$

$$W_1 = \frac{9cL^4}{2(e^2 - \frac{2}{3} L^2)}$$

Mit dem natürlichen Magnet genau gleich wirkende mathematische Magnete.

Das Potential des natürlichen Magnets wird:

$$W = ce^2 \left[\frac{1}{2} \frac{L^4}{e^4} + \frac{1}{3} \frac{L^6}{e^6} + \frac{1}{4} \frac{L^8}{e^8} + \dots \right]^1.$$

Für einen mathematischen Magnet mit Polstärke $\pm M$ und Polabstand $\pm l$ ist das Potential

$$W' = \frac{2lM}{e^2 - l^2}.$$

¹⁾ Der Klammerausdruck ist auch gleich $-\frac{L^2}{e^2} - \log \text{nat} \left(1 - \frac{L^2}{e^2} \right)$.

Stellt man noch die Bedingung, daß die beiden Pole gleiches magnetisches Moment mit dem Stab haben, so muß

$$lM = \frac{cL^4}{4}$$

sein, und wenn ihre Wirkung genau dieselbe sein soll wie die des Stabmagnets, so muß $W' = W$ sein, also

$$\frac{cL^4}{2(e^2 - l^2)} = ce^2 \left[\frac{1}{2} \frac{L^4}{e^4} + \frac{1}{3} \frac{L^6}{e^6} + \frac{1}{4} \frac{L^8}{e^8} + \dots \right],$$

woraus

$$l^{21)} = L^2 \frac{\frac{1}{3} + \frac{1}{4} \frac{L^2}{e^2} + \frac{1}{5} \frac{L^4}{e^4} + \dots}{\frac{1}{2} + \frac{1}{3} \frac{L^2}{e^2} + \frac{1}{4} \frac{L^4}{e^4} + \dots}$$

oder nach Division

$$l^2 = L^2 \left(\frac{2}{3} + \frac{1}{18} \frac{L^2}{e^2} + \frac{4}{135} \frac{L^4}{e^4} + \frac{31}{3240} \frac{L^6}{e^6} + \dots \right).$$

Für einen Magnetstab von 10 cm Länge ist $L = 5$ cm und damit:

| | | |
|-----------------|---------------|--|
| Bei $e = 10$ cm | $l/L = 0,826$ | } $l/L =$ Verhältnis des Polabstands eines genau gleichwirkenden mathematischen Magnets zur äußeren Länge des natürlichen Magnets. |
| 20 - | 0,819 | |
| 30 - | 0,817 | |
| 40 - | 0,817 | |
| 50 - | 0,817 | |
| 100 - | 0,817 | |

Die berechneten Pole rücken also mit wachsendem e zusammen nach zwei festen Punkten, für welche $l/L = 1/3\sqrt{6}$, diese sind nichts anderes als die äquivalenten Pole.

Es sei noch bemerkt, daß es sich für $e = 10$ cm um die magnetische Wirkung auf einen Punkt handelt, der nur 5 cm (= halber Stablänge) vom Ende des Magnets entfernt ist. Mit $L = 5$ geben überdies die obigen Formeln:

Für $e = 10$ ist $W = 3,7682 c$; $W_1 = 3,7500 c$ ($1/2$ % zu klein); $W_0 = 3,6363 c$ (3 % zu klein).
 20 - $W = 0,8154 c$; $W_1 = 0,8152 c$ ($1/40$ - - -); $W_0 = 0,8097 c$ ($3/4$ - - -).
 30 - $W = 0,3538 c$; $W_1 = 0,3578 c$ ($1/400$ - - -); $W_0 = 0,3528 c$ ($1/4$ - - -).
 40 - $W = 0,1974 c$; $W_1 = 0,1974 c$ (0 - - -); $W_0 = 0,1971 c$ ($1/6$ - - -).

Den natürlichen Magnet von 10 cm Länge und $\pm M_0$ magnetischen Einheiten auf den beiden Hälften können wir also auf zwei Arten durch einen mathematischen Magnet ersetzt denken:

I. In den äquivalenten Polen, also 8,17 cm voneinander entfernt bringen wir nur $\frac{7,5}{8,17} = 0,917 M_0$ magnetische Einheiten an. Dieser ideelle Magnet übt auf Punkte in den Entfernungen 15 cm $-\infty$ dieselbe Wirkung aus wie der natürliche Magnet.

II. In den Schwerpunkten, die 7,5 cm auseinander liegen, bringen wir den ganzen freien Magnetismus $\pm M_0$ an. Dieser ideelle Magnet bildet einen Ersatz für den natürlichen Magnet für Entfernungen 50 cm $-\infty$.

Für Entfernungen > 50 cm sind die Wirkungen der beiden magnetischen Magnete nahezu gleich und gleich der des natürlichen Magnets, d. h. die Resultante der magnetischen Kräfte auf 1 M.E. in Entfernungen > 50 cm ist für I dieselbe wie für II. Diese größeren Entfernungen (5 mal der Stablänge) sind daher für Polbestimmungen ungeeignet.

1) Ohne Reihen: $\frac{l^2}{L^2} = \frac{e^2}{L^2} + \frac{1}{2} \left[1 + \frac{e^2}{L^2} \log \text{nat} \left(1 - \frac{L^2}{e^2} \right) \right]^{-1}$.

Bringt man den Stabmagneten in ein homogenes Feld mit Feldstärke H , so wirken in den einzelnen Punkten des Stabes parallele Kräfte μH proportional dem freien Magnetismus dieser Punkte. Für die eine Stabhälfte geben diese parallelen Kräfte eine Resultante $H \Sigma \mu$, angreifend im magnetischen Schwerpunkt dieser Hälfte; für den ganzen Magnet also ein Kräftepaar $\pm H \Sigma \mu$ mit den zwei Schwerpunkten als Angriffspunkte. Die Wirkung ist also dieselbe wie die auf den mathematischen Magnet II. Da nun ein Kräftepaar durch jedes andere von gleichem Moment ersetzt werden kann, so ist die Wirkung auf den natürlichen Magnet auch gleich der auf den mathematischen Magnet I, d. h. die Einführung der magnetischen Schwerpunkte erscheint auch im homogenen Felde überflüssig. Sprechen wir also von Polen eines natürlichen Magnets, so verstehen wir darunter immer die äquivalenten Pole und unter Polstärke des natürlichen Magnets die Stärke des äquivalenten mathematischen Magnetes, dem diese äquivalenten Pole angehören.

Experimentelle Bestimmung der äquivalenten Pole¹⁾.

1. Nach KOHLRAUSCH (*Lehrbuch der prakt. Physik*, S. 338).

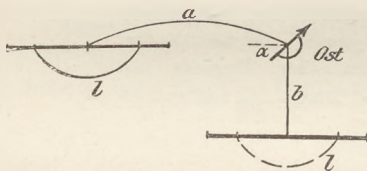


Fig. 6.

Für die erste Gaußsche Hauptlage ist (Fig. 6)

$$M/H = \frac{1}{2} a^3 \operatorname{tg} \alpha \left(1 - \frac{l^2}{4 a^2} \right)^2,$$

für eine zweite Lage

$$M/H = \frac{1}{2} a_1^3 \operatorname{tg} \alpha_1 \left(1 - \frac{l^2}{4 a_1^2} \right)^2.$$

Elimination von M/H aus beiden Gleichungen gibt eine Gleichung für l^2 .

Beispiel. Stab 10 cm lang.

$$\begin{aligned} a = 30 & \text{ gab } \alpha = 22,54^\circ \\ a_1 = 40 & - \alpha_1 = 9,77^\circ. \end{aligned}$$

Man findet rechnerisch $l^2 = 76,94$; $l = 8,77$ cm.

Diese Methode erfordert, wie schon oben hervorgehoben, daß a und a_1 nicht größer als das Fünffache der ganzen Stablänge; auch zeigen die Messungen, daß man brauchbare Werte nur erhält, wenn a beträchtlich von a_1 verschieden ist.

Weit bessere Resultate habe ich mit folgender Methode, die neu sein dürfte, gefunden.

2. Methode der kombinierten 1. und 2. Hauptlage.

Für die Messung in erster Hauptlage ist:

$$M/H = \frac{1}{2} a^3 \operatorname{tg} \alpha \left(1 - \frac{l^2}{4 a^2} \right)^2.$$

Für die zweite Hauptlage:

$$M/H = b^3 \operatorname{tg} \beta \left(1 + \frac{l^2}{4 b^2} \right)^{3/2}.$$

Die Elimination von M/H gibt eine Gleichung für l^2 vom 4. Grad; doch läßt sich hieraus l^2 auf beliebig viele Dezimalen, sogar einfacher als bei 1, ermitteln; da man einen Näherungswert $l^2 = 0,7 L^2$ kennt ($l = 0,837 L$) und nach einem Verfahren von Newton die Korrektur des Näherungswerts ermitteln kann. Das Resultat dieser mathematischen Betrachtungen ist:

Bezeichnet man die ganze Stablänge mit L , und drückt man alle Längen in L aus, also

$$a/L = a_1, \quad b/L = b_1, \quad l/L = x;$$

¹⁾ Auf ausführliche Entwicklung der Formeln wird hier verzichtet, diese finden sich bei H. Ruoss, „Über eine neue Bestimmung der Pole von Stabmagneten“, Wied. Annalen 1908.

setzt ferner

$$c = \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha},$$

so erhält man als Korrektion $\Delta(x_1^2)$, die an $x_1^2 = 0,7$ vorzunehmen ist, um den richtigen Wert x^2 zu liefern:

$$\Delta(x_1^2) = \frac{1}{2} \frac{(4a_1 - 0,7)^2 - 4a_1 c (4b_1^2 + 0,7)^{3/2}}{(4a_1 - 0,7) + 3a_1 c (4b_1^2 + 0,7)^{1/2}}$$

und

$$x = \sqrt{0,7 + \Delta(x_1^2)}.$$

Um mit gleichen Genauigkeiten der Messung zu arbeiten (bei Methode 1 ist dies ganz ausgeschlossen), nimmt man a und b so, daß α und β annähernd gleich. Stellt man die Messungen immer so an, daß $a = \frac{3}{2}$ der Stablänge¹⁾, $b =$ der ganzen Stablänge, so hat man für alle Polmessungen, welches auch die Stablänge sein mag

$$\Delta(x_1^2) = \frac{1}{2} \frac{68,99 - 61,136 c}{8,3 + 9,7558 c}.$$

Beispiel: Ein Stab mit den Dimensionen $20 \times 0,2 \times 0,4$ cm gab für

$$\left. \begin{array}{ll} a = 30 \text{ cm,} & \alpha = 26,04^\circ \\ b = 20 \text{ -} & \beta = 28,3^\circ \end{array} \right\} \text{ (Mittel aus 4 Beobachtungen)}$$

Hieraus

$$c = \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha} = 1,102; \quad \Delta(x_1^2) = 0,04278; \quad x = \sqrt{0,7 + 0,0428} = 0,862.$$

Dieses Beispiel zeigt, daß bei schlanken Stäben die Pole weit mehr als bisher angenommen (bisher $x = \frac{5}{6}$) ans Ende des Stabes rücken, was man auch schon aus dem van Reesschen Magnetstab III im Vergleich zu den beiden andern vermuten kann. (Über diese Stäbe siehe Wied. Ann., S. 612.)

Im magnetischen Feld eines natürlichen Magnets können durch die eben beschriebenen Methoden die äquivalenten Pole und damit der äquivalente mathematische Magnet ermittelt werden.

Führt man in den Punkten $P_1, P_2, P_3 \dots$ magnetische Messungen aus, und stehen sie im Einklang mit den Resultaten, welche die Rechnung mit den 2 äquivalenten Polen liefert, so können diese 2 Pole an Stelle des natürlichen Magnets treten.²⁾ Stehen Rechnung und Messung nicht in Einklang, so läßt sich der natürliche Magnet nicht durch einen mathematischen ersetzen. Das letztere rührt dann daher, daß z. B. (vgl. S. 315) für den einen Punkt P_1 die Pole $0,817 L$, für den andern P_2 $0,826 L$ entfernt sein sollten.

Zum Schluß sei noch bemerkt, daß ich durch zahlreiche Beispiele nachweisen könnte, daß in unsern besten Werken über Elektrizität und Magnetismus in bezug auf die Pole noch größte Unklarheit herrscht. Ein Beispiel aus den Vorlesungen von S. P. THOMPSON (übersetzt von HIMSTEDT 1895) möge hier angeführt werden.

In Art. 134 wird ein Magnetstab vertikal aufgestellt. Um den freien Magnetismus in den verschiedenen horizontalen Schichten des Magnets kennen zu lernen, läßt man, dem Stab benachbart, eine Magnetnadel horizontal schwingen (wie schon COULOMB es ausführte). Die Schichten vom Ende bis zur Mitte des Stabes ergaben: 14, 12, 10, 8, 6, 5, 4, 3 Schwingungen, woraus die Anziehungen in den Schichten $14^2 - 3^2 = 187$ resp. 135, 91, 55, 27, 16, 7, 0. Die Zahlen werden graphisch als Abszissen dargestellt.

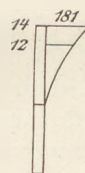


Fig. 7.

¹⁾ $a = \frac{3}{2}$ würde im Beispiel S. 72 entsprechen $e = 15$ cm, für welches bis auf zwei Dezimalen genau l/L gleich dem gesuchten Polabstandsmodul.

²⁾ Dabei ist nicht ausgeschlossen, daß einzelne der Punkte P dem natürlichen Magnet sehr nahe kommen. Messung und Rechnung müssen eben übereinstimmen.

Das so erhaltene krummlinig abgegrenzte Flächenstück soll dann einen Schwerpunkt liefern, dessen Horizontale durch den Pol des Stabmagnets geht. Nun macht aber — entgegen den angegebenen Zahlen — die Nadel am Ende weniger Schwingungen als 1 cm unterhalb, denn am Ende wirkt nur die Schichte unterhalb anziehend, 1 cm unterhalb dagegen die darüber und darunter liegenden Schichten, wodurch die ganze Darstellung fehlerhaft wird.

Über eine Abänderung des Simonschen Lochunterbrechers.

Von

Prof. Dr. H. Teege in Wilhelmshaven.

Bekanntlich besteht der SIMONSche Lochunterbrecher in seiner einfachsten Gestalt aus einem mit verdünnter Schwefelsäure vom spezifischen Gewicht 1,1—1,2 gefüllten Glasgefäß, in das ein anderes gleichfalls mit verdünnter Schwefelsäure gefülltes und mit einer kleinen Bohrung in der Wandung versehenes Glasgefäß eintaucht, so daß der mittels einer Bleielektrode eingeleitete und mittels einer zweiten Bleielektrode aus dem andern Gefäß abgeleitete Strom auf seinem Wege durch die enge Öffnung eine starke Einschnürung erleidet und nun hier infolge der entstehenden großen Jouleschen Wärme eine explosionsartige Dampfbildung hervorruft, wodurch der Strom fast momentan unterbrochen wird. In der Öffnung selbst beobachtet man im Augenblicke der Unterbrechung ein Aufleuchten, das jedenfalls vom Öffnungsextrastrom herrührt, der die Dampfschicht durchschlägt; durch den Extrastrom oder durch die intensive Erhitzung infolge der Jouleschen Wärme muß man auch die weitere Beobachtung erklären, daß während des Unterbrechens ein heftiger Strom von Knallgasbläschen nach beiden Seiten fortgetrieben wird: infolge der gewaltigen Wärmeentwicklung tritt eine Dissoziation des Wasserdampfes ein. Wahrscheinlich trägt dieser Gasstrom wesentlich zur Exaktheit der Unterbrechungen bei, wie sie am glänzendsten in dem bekannten Funkenstrom am Induktor zum Ausdruck kommt; jedenfalls ist aber der Unterbrechungsvorgang der Hauptsache nach thermischer und nicht elektrischer Natur.

Diese wohl zuerst von Herrn Prof. RICHARZ vertretene und dann später von Herrn Prof. SIMON ohne Kenntnis der früheren Arbeiten theoretisch weiter ausgebildete Ansicht ist in einer kürzlich veröffentlichten Göttinger Doktordissertation von Herrn P. LUDWIG einer eingehenden Experimentaluntersuchung unterzogen worden. Für den SIMONSchen Lochunterbrecher findet Herr LUDWIG die Theorie in vollkommener Übereinstimmung mit der Beobachtung; er gelangt zu der Schlußformel:

$$T = T_1 + T_2 = v_t \cdot (t_s - t) \cdot \frac{w_k^2}{0,24 E^2 w_u} + 1,5 \frac{L}{w_k} + T_2,$$

wo T die Zeit einer Unterbrechung in sec. und zwar T_1 die Zeit des Stromanstieges, T_2 die Zeit des Stromabfalles, v_t das zur Stromsperrung nötige Dampfvolumen, t_s die Siedetemperatur der verwandten Flüssigkeit, t die Temperatur der Flüssigkeit an der Öffnung, w_k der Gesamtwiderstand des Stromkreises in Ohm, w_u der Widerstand des Unterbrechers in Ohm, E die Betriebsspannung in Volt, L die Selbstinduktion des Stromkreises in Henry ist.

Ferner ist die Größenordnung von $v_t (t_s - t)$, die übrigens naturgemäß von der Größe der Öffnung abhängt, bei einigermaßen schnellen Unterbrechungen gleich 1. Immerhin ergibt sich auch bei gleicher Öffnungsgröße ein um das Mehrfache größerer Wert, je geringer die Zahl der Unterbrechungen ist, und erst bei schnelleren Unterbrechungen von ca. 60 pro sec. an kann der Wert als konstant angesehen werden.

Die Erklärung dieser Tatsache sucht Herr LUDEWIG in der bei geringerer Unterbrechungszahl eintretenden Wärmeableitung, da dann außer der Unterbrechungswärme auch noch die abgeleitete Wärme durch den Strom geliefert werden muß, wodurch naturgemäß die Unterbrechungszahl gegen die aus der obigen Theorie abgeleitete zu klein erscheinen muß. Ob das der einzige Grund der Erscheinung ist, mag dahingestellt bleiben, jedenfalls kann aber die obige Formel als so weit sichergestellt gelten, daß man mit ihrer Hilfe einen im wesentlichen richtigen Überblick über die Erscheinungen gewinnen kann.

Danach muß nun bei festgehaltener Konstanz der andern Größen die Zahl der Unterbrechungen um so größer werden, je kleiner w_u ist. w_u ist aber im wesentlichen der Widerstand einer Flüssigkeitssäule vom Querschnitt der Öffnung und einer Höhe, die gleich der Wandstärke ist; je dünner also die Wandung ist, um so größer muß die Zahl der Unterbrechungen werden.

Meine Versuche haben diese Schlußfolgerung durchaus bestätigt, und es wäre mit großem Danke zu begrüßen, wenn die obige Formel durch eine genaue Experimentaluntersuchung auch in der Weise bestätigt würde, daß unter Beibehaltung desselben Öffnungsdurchmessers die Wandstärke durch Abschleifen immer mehr verringert wird¹⁾. Denn da unter solchen Umständen das zur Stromabspernung nötige Dampfvolumen v_i sehr wahrscheinlich das gleiche bleiben wird, so gestattet die Beobachtung eine bequeme Prüfung der Theorie, indem man die infolge der Abänderung des Lochwiderstandes eintretende Änderung in der Zahl der Unterbrechungen mit der nach obiger Formel berechneten vergleicht.

Die größte Erniedrigung des Durchgangswiderstandes erhielt ich dadurch, daß ich zwei Glasplatten am Rande auf 1—2 cm Länge zu einem sehr spitzen Keil mit möglichst scharfen Rändern abschliiff und dann die beiden Stücke zu einem engen Spalt zusammenlegte. Die beiden Glasplatten konnten dann mittels Siegellacks über einer weiteren Öffnung des inneren Glasgefäßes des Lochunterbrechers befestigt werden. Bei Verwendung von verdünnter Schwefelsäure vom spezifischen Gewichte 1,08 erhielt ich die besten Resultate, nämlich 15 cm lange Funken bei ca. 15 Ampere Stromstärke und einer Betriebsspannung von ca. 115 Volt in einem Induktor mit 137 Primärwickelungen und 44 800 Sekundärwickelungen, wenn ich einen derartigen scharfrandigen Spalt von ca. 1 cm Länge und 0,9 mm Breite anwandte.

Es ist nicht zu befürchten, daß bei Glas die Ränder ausbrechen, denn selbst Kapillarröhren aus Glas, die ich der Länge nach durch den Spalt spannte, brachen, wenn sie nicht gar zu dünn waren, trotz des heftigen Gasstromes nicht ab. Es ist das aus der Wirkung der inneren Kräfte zu erklären, die zwar explosionsartig einen heftigen Gasstrom nach entgegengesetzten Seiten fortschleudern, den Schwerpunkt des Ganzen aber nicht ändern können und so an den Rändern nur mit verhältnismäßig geringer Gewalt rütteln. Allerdings zeigt sich Glimmer im Gegensatz zu Glas unerwartet wenig widerstandsfähig, so daß sich die Öffnungen bald erweitern.

Eine sehr präzise Regulierung des Lochunterbrechers erhält man in der Weise, daß man in einer Glasplatte stark konisch ein Loch von 3—4 mm Durchmesser mit sehr flach, aber scharf zulaufenden Rändern einschleift und nun die Öffnung durch einen durchgesteckten schwach konischen, in einer Führung konzentrisch auf und ab bewegbaren Glasstab einengt. Die Güte der Unterbrechung wird durch eine solche Anordnung eher günstig als ungünstig beeinflusst, und man kann durch Heben und

¹⁾ Übrigens kann man eine Änderung des Lochwiderstandes auch dadurch erreichen, daß man zur Füllung Schwefelsäure von verschieden starker Konzentration nimmt. Man kann dann mit einer an Sicherheit grenzenden Wahrscheinlichkeit annehmen, daß das zur Stromsperrung nötige Dampfvolumen v_i konstant ist. Die Erscheinungen am Unterbrecher fallen auch ganz so aus, wie die Theorie voraussehen läßt. Man vergleiche übrigens den Schluß dieser Abhandlung.

Senken des Glasstabes vermittelt einer Schraube eine so genaue Regulierung des Unterbrechers erreichen, daß nach dieser Richtung hin der Lochunterbrecher von keinem anderen übertroffen werden dürfte. Übrigens kann man einem Schlitzunterbrecher eine genügende Regulierfähigkeit auch dadurch geben, daß man Petroleum auf die verdünnte Schwefelsäure gießt und nun in dem senkrecht stehenden Spalt die Trennungsschicht tiefer oder höher einstellt.

Wie bekannt, besitzt der SIMONSche Lochunterbrecher vor dem WEHNELT-Unterbrecher den Vorzug einer größeren Betriebssicherheit, da er nicht so leicht versagt, und infolge dieser Eigenschaft wird man den Lochunterbrecher immer dann bevorzugen, wenn eine Versuchsanordnung erfahrungsgemäß leicht Störungen im Unterbrechungsvorgang zeigt; so sind z. B. die für die Teslaversuche nötigen Funken leichter mit einem Lochunterbrecher zu erhalten als mit dem empfindlicheren WEHNELT-Unterbrecher. Auch bedient man sich des Lochunterbrechers mit Vorteil beim Betrieb von Röntgenröhren, wobei man ein mildes gleichmäßiges Licht erhält.

Während so die thermische Theorie des Unterbrechungsvorganges die Erscheinungen am Lochunterbrecher im großen und ganzen richtig wiedergibt, versagt sie für die Platinanode des WEHNELT-Unterbrechers. Der Grund wird in der hier auftretenden elektrolytischen Wirkung und in der Polarisierung zu suchen sein. Wie groß die Einwirkung der durch diese Einflüsse erzeugten gegenelektromotorischen Kräfte ist, mag folgendes Beispiel zeigen.

Wenn nämlich der Strom auf seinem Wege ungehindert aus Flüssigkeit in Platin ein- und austreten könnte, so müßte die obige Theorie unverändert Anwendung finden, und man würde am SIMON-Unterbrecher eine große Verringerung des Lochwiderstandes und im Gefolge davon eine schnellere und bessere Unterbrechung beobachten müssen, wenn man die Öffnung mit Platin ausfüllt. Um die Richtigkeit dieser Überlegung zu prüfen, drückte ich kurze dünne Platindrähte zwischen den Fingern zu einem kleinen runden Klumpen zusammen und stopfte damit die mehr als 3 mm im Durchmesser haltende Bohrung eines Lochunterbrechers aus, der mit Flüssigkeit allein, nämlich verdünnter Schwefelsäure vom spezifischen Gewichte 1,08, zwar langsame, aber doch präzise Unterbrechungen gab, wenn auch bei einer Stromstärke von fast 20 Ampere, immer wie bei allen hier beschriebenen Versuchen unter Anwendung einer Betriebsspannung von ca. 115 Volt. Ich war daher sehr erstaunt, als bei Ausfüllung der Öffnung mit Platin die Unterbrechungen ganz und gar aufhörten, und die durchtretende Strommenge bei der sehr hohen Spannung nur einige wenige Ampere betrug. Wurde allerdings das System gegen Stromschwankungen empfindlicher und damit schwingungsfähiger gemacht, daß man in den Stromkreis einen sich zwischen Kohlenelektroden bildenden Lichtbogen einschaltete, so traten beim Schließen des Stromes kurzdauernde Unterbrechungen auf, etwa 3—5 an der Zahl, und dann versagte der Vorgang wieder. Dieselbe Erscheinung zeigte sich auch an einem Schlitzunterbrecher, als ich den Spalt mit einem schmalen dünnen Platinblech überklebte: der Unterbrechungsvorgang versagte fast vollkommen, konnte zwar bei Einschaltung eines Lichtbogens für einen Augenblick in Gang gebracht werden, aber schon im nächsten Augenblick setzte er wieder aus und konnte nur durch nachfolgendes Öffnen und Schließen des Stromkreises von neuem angeregt werden. Es zeigte sich dabei, daß schon nach einer ganz geringen Zahl von Unterbrechungen die Kathodenseite des Bleches, also die Seite, an welcher der Strom aus der Flüssigkeit in das Platinblech eintrat, angegriffen wurde. Alle Erscheinungen, namentlich auch die thermischen, deuten darauf hin, daß an Anode und Kathode ein starker Potentialfall und damit eine starke gegenelektromotorische Kraft auftritt, wodurch ein starker Stromdurchgang verhindert wird.

Jetzt versuchte ich eine andere Anordnung und hatte damit glänzenden Erfolg. Wenn nämlich durch Platin die durchtretende Strommenge herabgesetzt wird, so

müßte auch eine größere Öffnung für den Unterbrechungsvorgang nutzbar gemacht werden können, wenn man durch die Öffnung der Länge nach ein enges Netz oder Gitter von Platindrähten spannt. Denn der Lochunterbrecher versagt bei zu großen Öffnungen, indem dann die Zahl der Unterbrechungen gering wird, während die Stromstärke anwächst, zu gleicher Zeit aber die Güte der Unterbrechungswirkung, gemessen an der Funkenlänge des Induktors, immer mehr nachläßt. So gingen bei einer Spaltlänge von 25 mm und einer Spaltbreite von 0,9 mm in verdünnter Schwefelsäure vom spezifischen Gewichte 1,08 mehr als 20 Ampere durch den Unterbrecher, die Funkenlänge betrug aber nur noch wenige Zentimeter. Als ich aber durch den Spalt seiner ganzen Länge nach ein Bündel von dünnen Platindrähten (Durchmesser 0,1 mm) spannte, so daß die straffgezogenen Fäden den Spalt gleichmäßig und fast ganz ausfüllten, während die Enden unter zwei kleinen, durch Siegelack befestigten Glasplatten festgehalten wurden, fiel die Stromstärke auf etwa 15 Ampere, es trat aber am Induktor ein glänzender Funkenstrom von mehr als 16 cm Länge auf, von größerer Funkenzahl und größerer Schlagweite, als ich unter denselben Umständen mit einem regulierbaren Lochunterbrecher erzeugen konnte. Dabei zeigte die neue Anordnung denselben Vorteil wie der SIMON-Unterbrecher: niemals wurde auch bei längerem Betrieb ein Versagen des Unterbrechers beobachtet, solange nur der zum Befestigen verwandte Siegelack noch genügend hart war und nicht infolge der Erwärmung des Unterbrechers in die Öffnung geflossen war. Ob die Platindrähte angegriffen werden, kann ich bei den von mir verwandten mit etwas rauher Oberfläche nicht entscheiden, aber selbst nach minutenlangem Betriebe war eine Veränderung nicht zu erkennen, während dieselben Drähte, in einem WEHNELT-Unterbrecher als Kathode verwandt, in der gleichen Zeit sicher ganz und gar zerstört gewesen wären. Allerdings ist darauf zu achten, daß die Platindrähte der Länge nach straff durch den Schlitz gezogen werden und an keiner Stelle den Spalt vollkommen verstopfen, denn sonst treten helle Funken auf wie bei einem WEHNELT-Unterbrecher, in dem die Platinspitze als Kathode benutzt wird, unter gleichzeitiger schneller Zerstörung des Platinstiftes.

Der neue Unterbrecher ist also gewissermaßen ein Mittelding zwischen dem SIMONschen Lochunterbrecher und dem WEHNELT'schen Platinunterbrecher, da der Strom in der Öffnung teils durch die ausgespannten Platindrähte, teils durch die die Zwischenräume ausfüllende Flüssigkeit gehen muß, und tatsächlich steht der Unterbrecher in seinen Eigenschaften in der Mitte zwischen den beiden älteren Unterbrechern; mit dem Lochunterbrecher hat er die Eigenschaft gemeinsam, nicht so leicht zu versagen, während er dem Platinunterbrecher darin ähnelt, daß er reichere und längere Funkengarben gibt. Bei gleicher Anordnung, wenn also nur die Unterbrecher ausgewechselt werden, finde ich, daß bei passender Einstellung der WEHNELT-Unterbrecher die längsten und meisten Funken gibt, dann folgt der oben beschriebene Unterbrecher und dann der Lochunterbrecher. In bezug auf Sicherheit und Zuverlässigkeit des Unterbrechungsvorganges werden die Unterbrecher wahrscheinlich in umgekehrter Reihenfolge aufeinander folgen. Übrigens ist bei diesem Vergleiche gleiche Betriebsspannung und beste Regulierung des Durchtrittsquerschnittes vorausgesetzt: die Amperezahl ist dann bei dem WEHNELT-Unterbrecher entsprechend der größeren Schlagweite und dem stärkeren Funkenspiel etwas größer. Vergleiche bei gleicher Amperezahl habe ich nicht angestellt, da für die Praxis meistens nur die gleiche Spannung in Frage kommt. Jedenfalls wird der neue Unterbrecher bei seiner Mittelstellung in vielen Fällen mit Vorteil verwandt werden können.

Übrigens habe ich mich bemüht, ihn regulierbar einzurichten. Ich bin dabei so verfahren, daß ich in einem Lochunterbrecher, der in der früher beschriebenen Weise durch einen konisch zulaufenden Glasstab regulierbar gemacht war, einen aus

Platindrähten lose zusammengelegten Ring in die ringförmige Öffnung zwischen Glasstab und Lochrand zu bringen suchte, hatte damit aber nur geringen Erfolg, da der Ring, wenn er zu fest einsaß, den Strom allzustark sperrte, wenn er aber zu lose saß und die Öffnung frei ließ, überhaupt kaum Einfluß ausübte, da der Unterbrecher alsdann funktionierte, als ob nur die Öffnung allein vorhanden wäre.

Es ist schließlich noch zu bemerken, daß die Beschaffenheit der verwendeten Schwefelsäure von Wichtigkeit ist. Wurde statt der sonst benutzten Säure vom spezifischen Gewichte 1,08 solche vom spezifischen Gewichte 1,15 genommen, so hatten die oben beschriebenen Spaltunterbrecher schon eine viel zu große Öffnung; die durchtretende Strommenge betrug weit über 20 Ampere, während der Unterbrechungsvorgang ganz wesentlich an Güte eingebüßt hatte, so daß nur ganz kurze Funken am Induktor erhalten werden konnten. Am regulierbar eingerichteten einfachen Lochunterbrecher dagegen stieg mit zunehmender Leitfähigkeit der verdünnten Schwefelsäure infolge der hier möglichen passenden Einstellung die Zahl der Funken bedeutend und etwas auch die Funkenlänge, so daß jetzt die Erscheinungen ohne Frage glänzender waren als mit den anderen Unterbrechern bei Verwendung einer schwächeren Säure, mit welcher der Lochunterbrecher allerdings noch schlechter funktionierte hatte. Aber auch bei bestleitender Säure konnte mit diesem Unterbrecher trotz des glänzenderen Funkenspiels nicht ganz die Funkenlänge erreicht werden, die ein Spaltunterbrecher mit durchgezogenen Platindrähten schon in schlechter leitender Schwefelsäure gab.

Ein neuer Schul-Chronograph und die Bestimmung von „g“.¹⁾

Von

Harrison H. Brown,

Pratt Institute, Brooklyn, N. Y., U. S. A.

Der Autor trug sich schon lange mit dem Gedanken, das Studium der Fallgesetze, als eines einfachen Beispiels gleichmäßig beschleunigter Bewegung, für einen Anfänger-Physikkursus zu ermöglichen. Er war der Meinung, daß die beste Methode folgende sei: 1. Die Zeit des freien Falls für verschiedene Wege zu messen; 2. die mittlere Geschwindigkeit als s/t zu berechnen; weiter anzunehmen, daß die Beschleunigung gleichförmig ist (woraus folgt, daß die Endgeschwindigkeit doppelt so groß sein muß wie die mittlere Geschwindigkeit); und endlich die Beschleunigung selbst zu erhalten, indem die Geschwindigkeit durch die Zeit dividiert wird. Durch die Übereinstimmung der für die Beschleunigung aus verschiedenen Zeiten und Wegen abgeleiteten Werte wird die Richtigkeit dieser Annahme bestätigt.

Schiefe Ebenen oder Drähte geben uns die Werte von „g“ nicht direkt; dasselbe gilt von der Atwoodschen Fallmaschine. Alle diese Methoden vergrößern die Schwierigkeiten für die Schüler beträchtlich, auch wenn nur annähernde Werte erreicht werden sollen. Ferner geht die Elimination von Trägheitsmomentfehlern ganz über die Fähigkeit eines Schülers. Er versteht erst viel später die Vermeidung dieser Fehlerquelle: zu einer Zeit, wo ein Experiment über einfach beschleunigte Bewegung für ihn keinen Nutzen mehr hat.

Das, was man benötigte, war ein billiger und zu gleicher Zeit einfacher und starker Chronograph, mit dem man bis zu $1/1000$ Sekunden messen konnte. Der Weg, welcher im Laboratorium gemessen werden kann, wird kaum mehr als sehr wenige Fuß betragen.

¹⁾ Auch veröffentlicht in „School Science“, Chicago 1908.

Ein solcher Apparat wurde für Fallstrecken von 36, 64, 100 und 144 cm benutzt. Die berechneten Zeiten waren 0,271, 0,361, 0,452 und 0,542 Sekunden. Aus diesen Zahlen fallen die Fallgesetze ganz leicht heraus, und die Anzahl der Versuche genügt, um den Schüler von der Richtigkeit der Gesetze zu überzeugen.

Die Wege werden nicht direkt an einem Metermaßstab gemessen, sondern durch Holzstäbe mit Messingbeschlägen (Holzschrauben mit flachen Köpfen), die auf die gewünschten Längen eingestellt werden können. Auf diese Weise kann man bis $\frac{1}{10}$ mm messen. Natürlich kann man auch andere, in der Mitte liegende Abstände ganz nach Belieben verwenden: ein solcher könnte dann für jeden Schüler besonders bezeichnet werden, damit er seine eigene Aufgabe lösen kann. Da die Aufzeichnungen im Heft bewahrt und sehr leicht vom Lehrer berichtigt werden können, so ist es unmöglich, daß ein Schüler sich auf den anderen verläßt.

Der Chronograph besteht aus einer zweckmäßig unterstützten 12zölligen Rolle mit einer 3 Zoll breiten Randfläche. Auf dem Rand der Fläche befindet sich ein Stift, der an einen guten Stromunterbrecher anschlagen kann. Der Unterbrecher ist mit einem Elektromagneten und zwei Akkumulatorzellen verbunden. Der Kern des Elektromagneten ragt ein wenig heraus und trägt am unteren Ende einen gespaltenen Messingring, so daß durch die magnetische Kraft eine $\frac{3}{8}$ zöllige Stahlkugel eben getrennt vom Eisen festgehalten wird. Es ist ferner ein kleiner Rheostat eingeschaltet, um das Magnetfeld zum Minimum zu schwächen.

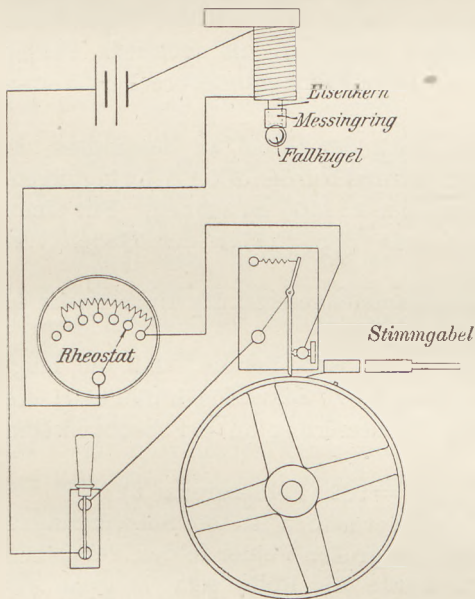


Fig. 1.

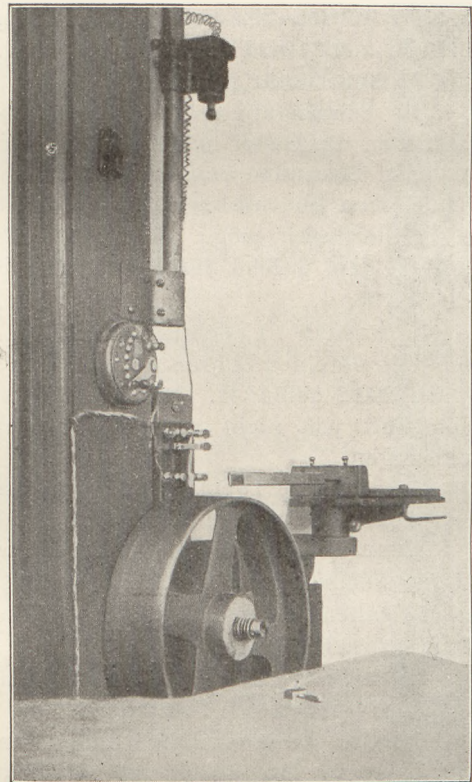


Fig. 2.

Papier, wie es an amerikanischen „Adding-machines“ gebraucht wird, wird aus einer Spule abgerollt, zur richtigen Länge abgeschnitten, um die Rolle herumgelegt, mit einem Ende über das andere geklebt und leicht beruht. Die Wärme bewirkt, daß das Papier sich dicht an die Rolle anlegt. Eine Stimmgabel von $\frac{1}{100}$ Sekunden Schwingungsdauer, in einem gußeisernen Griff befestigt, ist vorne an einer Zinke mit einem kleinen spitzen Papierstreifen versehen, der das beruhte Papier gerade berührt.

Die Gabel kann nach Belieben auf- und abwärts gekippt und in einer bestimmten Lage fixiert werden.

Die Kugel wird an ihren Platz gebracht und der Strom zum Minimum geschwächt. Die Rolle wird mit der Hand sehr langsam herumgedreht, bis beim Anschlagen des Kontaktstiftes die Kugel fällt und die „Null“-Lage durch eine Marke auf dem beruhten Papier bezeichnet. Dieser „Null“-Punkt kann sehr genau bestimmt werden. Um Fehler, die durch Schwingungen des Gebäudes verursacht werden, zu vermeiden, werden mehrere Versuche gemacht.

Die Kugel wird jetzt wieder in ihre Lage versetzt, die Rolle etwa um eine Viertel-Umdrehung zurückgedreht, die Stimmgabel in Schwingungen versetzt und soweit vorwärts geneigt, daß der Papierstreifen die Rolle berührt. Mit der anderen Hand wird die Rolle in schnelle Bewegung gesetzt, bis der Ball fällt. Man muß darauf achtgeben, daß die Schreibspitze in die Nähe des Fallpunktes gesetzt wird, und daß die Geschwindigkeit der Rolle ziemlich gleichmäßig ist. Dann kann man die Zeit direkt bis $\frac{1}{1000}$ Sekunden aus den Schwingungen der Gabel ablesen. Dies wird erleichtert, wenn man die Wellenlinie mit einer geraden Linie durchschneidet, die man mit der ruhigen Gabel zeichnet. Die Aufzeichnung wird mit einem Federmesser abgeschnitten, die Zeitangabe, die Länge der Wege und der Name des Beobachters werden dazu geschrieben. Indem man das beruhte Papier durch sehr dünnen Schellack zieht, wird der Versuch fixiert. Man kann die Berechnung ausführen, wenn man die Muße dafür hat.

Die Schwingungszahl der Stimmgabel wird folgendermaßen festgestellt: Man setzt neben die Gabel in denselben eisernen Halter einen Signal-Magnet, der leitend mit einem Sekundenpendelunterbrecher und einer Batteriezelle verbunden ist, dann zeichnet man gleichzeitig eine Wellenlinie mit der Gabel und mit der Normalzeit. Die Vergleichszeit möge zwei oder vier Sekunden betragen, um mögliche Fehler auszuschneiden, welche durch die Exzentrizität der Lage des Zeitunterbrechers verursacht werden¹⁾.

Es wurden 10 Versuche angestellt, um den Gang der Gabel zu bestimmen, in jedem Fall für einen Zeitraum von zwei Sekunden: fünfmal wurden 200,1 Schwingungen, fünfmal 200,2 gefunden. Die Gabel schwingt etwa um 1:1500 zu schnell. Für einen freien Fall von nicht mehr als 200 cm kann man den Fehler der Gabel vernachlässigen.

Die folgende Tabelle (S. 325) ist aus Daten zusammengesetzt, die Herr BLACK in 26 aufeinanderfolgenden Versuchen erhalten hat.

Wenn man die vierte Spalte betrachtet, so stellt sich heraus, daß die magnetische Nachwirkung den Fall der Kugel um etwa 0,001 Sekunden hintanhält; die letzten Spalten wurden berechnet, indem diese Verbesserung an der beobachteten Zeit angebracht wurde.

Als Resultat aller 26 Versuche ergibt sich „g“ = 982 (Fehlergrenze 6).

Es gibt indes eine Fehlerquelle, die schwer zu vermeiden ist: die Schwingungen des Gebäudes. Wahrscheinlich finden darin die relativ großen Fehler in den Versuchen 1, 2, 13 und 22 ihre Erklärung. Im Versuch 22 wurde die Rolle sehr langsam gedreht. Eine zweite Fehlerquelle liegt in einer verschiedenen Anfangs- und Endgeschwindigkeit der Rolle, die zumal dann in Erscheinung tritt, wenn die Schreibspitze der Stimmgabel weit von dem Punkt entfernt ist, wo die Kugel die Rolle trifft. Um ganz genaue Resultate zu erzielen, muß man anstatt die Zeit von Marke zu Marke zu lesen, von beiden Punkten mit einem Zirkel den Abstand zwischen

¹⁾ Die Stimmgabel kostet 1 Dollar, eine kleine Zwicke zum Anschlagen und Festhalten der Gabel 35 Cents, der Signal-Magnet 1 Dollar und 30 Cents. Alles wird nach Empfang des Geldes von der Harvard Apparatus Co., Medfield, Mass., U. S. A., geliefert. Die gesamten Kosten der Materialien für den ganzen Apparat betragen etwa 6 Dollar.

| Nummer der Beobach- tung | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------------------------------|----------------|------------------|-----------|---------|-----------------|--------------------|-----------------|
| | Fallraum cm | Zeit in Sekunden | | | g beobachtet | Zeit korrigiert | g korrigiert |
| | | beobachtet | berechnet | Fehler | | | |
| 1 | 36,00 | 0,277 | 0,271 | + 0,006 | 939 | 0,276 | 944 |
| 13 | | 0,275 | | 0,004 | 952 | 0,274 | 959 |
| 14 | | 0,273 | | 0,002 | 966 | 0,272 | 973 |
| 15 | | 0,272 | | 0,001 | 973 | 0,271 | 980 |
| 16 | | 0,272 | | 0,001 | 973 | 0,271 | 980 |
| 17 | | 0,272 | | 0,001 | 973 | 0,271 | 980 |
| 18 | | 0,272 | | 0,001 | 973 | 0,271 | 980 |
| 19 | | 0,273 | | 0,002 | 960 | 0,272 | 973 |
| 20 | | 0,272 | | 0,001 | 973 | 0,271 | 980 |
| 2 | | 64,00 | | 0,354 | 0,361 | - 0,007 | 1 020 |
| 8 | 0,363 | | + 0,002 | 968 | | 0,362 | 976 |
| 9 | 0,363 | | 0,002 | 968 | | 0,362 | 976 |
| 10 | 0,362 | | 0,001 | 976 | | 0,361 | 980 |
| 11 | 0,362 | | 0,001 | 976 | | 0,361 | 980 |
| 12 | 0,363 | | 0,002 | 968 | | 0,362 | 976 |
| 21 | 100,00 | 0,452 | 0,452 | 0,000 | 978 | 0,451 | 984 |
| 22 | | 0,440 | | - 0,012 | 1 034 | 0,439 | 1 038 |
| 23 | | 0,451 | | - 0,001 | 984 | 0,450 | 988 |
| 24 | | 0,453 | | + 0,001 | 974 | 0,452 | 978 |
| 25 | | 0,452 | | 0,000 | 978 | 0,451 | 984 |
| 26 | | 0,450 | | - 0,002 | 988 | 0,449 | 992 |
| 3 | 144,00 | 0,543 | 0,542 | + 0,001 | 976 | 0,542 | 979 |
| 4 | | 0,542 | | 0,000 | 979 | 0,541 | 984 |
| 5 | | 0,543 | | 0,001 | 976 | 0,542 | 979 |
| 6 | | 0,542 | | 0,000 | 979 | 0,541 | 984 |
| 7 | | 0,543 | | 0,001 | 976 | 0,542 | 979 |

Schreibspitze und Fallpunkt rückwärts abtragen und die Zeit zwischen den zwei neuen Punkten messen.

Ohne die Versuche 1, 2, 13 und 22, die augenscheinlich fehlerhaft sind, erhalten wir aus den übrigen 22 Versuchen „g“ = 980 (Fehlergrenze 2). Ohne die Nachwirkungs-Korrektion von 0,001 Sekunden und ohne die Versuche 1, 2, 13 und 22 folgt „g“ = 974 (Fehlergrenze 3).

Hängt man ein Gewicht an ein Seil, das über die Rolle geht und an dem Stift befestigt ist, so kann man den Apparat auch brauchen, um die Gesetze gleichmäßig beschleunigter Kreisbewegung zu studieren. Für die Reibung ist eine entsprechende Korrektion anzubringen.

In dem Signal-Magneten und der Gabel haben wir einen bis zu $\frac{1}{1000}$ Sekunden genau messenden Chronographen. Es können Zeiträume bis 5, ja 10 Sekunden gemessen werden. Der Apparat läßt sich anwenden, um jede Zeit zwischen irgend zwei Begebenheiten zu messen, deren Fixpunkte durch Unterbrechungen eines elektrischen Stroms festgestellt werden können. Eine zweite Wellenlinie kann über der ersten gezeichnet werden, ohne Verwirrung anzustiften.

Das beschriebene Modell wurde unter Mitwirkung des Herrn N. HENRY BLACK, Roxbury Latin School, Boston, zusammengesetzt. Herr BLACK hat sehr viel daran gearbeitet, die Schwierigkeiten zu überwinden, welche die Herstellung eines zuverlässigen Stromunterbrechers bietet. Der Apparat befindet sich in seinem Laboratorium.

Die Fig. 1 stellt die Anordnung des Apparates dar, Fig. 2 gibt eine photographische Ansicht. In Fig. 3 ist eine der Kurven für die Fallstrecke von 36 cm in natürlicher Größe wiedergegeben, die obere Marke ist die Nullmarke, $t = 0,272$ Sekunden.

Fig. 3.

Kleine Mitteilungen.

Das elektrische Flugrad.

Von **E. Grimschl** in Hamburg.

Vor einiger Zeit machte Herr Direktor STEINVORTH (Löwenberg in Schlesien) der Redaktion dieser Zeitschrift eine Mitteilung von einer eigentümlichen Umkehrung der Rotationsrichtung des elektrischen Flugrades: Herr STEINVORTH hatte sich ein kleines Flugrädchen in der Weise hergestellt, daß er an die Enden einer Magnetnadel seitlich zwei kleine dreieckige, aus Papier geschnittene Spitzen mit Klebwachs anklebte (Fig. 1). Als dieses Rädchen mit der Elektrisiermaschine verbunden wurde, bewegte es sich mit der Spitze voran, also entgegengesetzt der normalen Rotationsrichtung. Dieselbe Drehung trat ein, als er statt der Magnetnadel ein Blechstück von der Form der Magnetnadel benutzte und wieder dieselben Papierspitzen anklebte. Herr STEINVORTH ersuchte die Redaktion dieser Zeitschrift um Erklärung. Diese schickte mir den Brief zur Beantwortung zu, die hiermit erfolgen soll.

Ich habe den Versuch mit derselben Anordnung und mit demselben Erfolge mehrfach wiederholt und in mannigfaltiger Weise abgeändert. Dabei stellte sich heraus, daß der Versuch am sichersten gelingt, wenn man die Papierspitzen aus dünnem Schreibpapier oder aus Briefpapier schneidet; dickes Papier oder Karton zeigt die Erscheinung weniger sicher. Hier dreht sich das Rad oft im normalen Sinne. Es wechselt auch wohl die Drehrichtung, indem es kurz nach dem Ankleben im einen, dann nach einigen Minuten im entgegengesetzten Sinne rotiert und dann nach einiger Zeit wieder die Rotationsrichtung wechselt. Ein der Form nach genau mit den Papierspitzen übereinstimmendes Stückchen Stanniol führt immer normale Rotation aus. (Dies hat schon Herr STEINVORTH beobachtet, wie er mir brieflich und mündlich mitteilte.) Auch Spitzen aus anderen leitenden Stoffen, z. B. Schablonen-

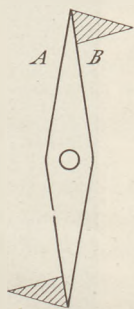


Fig. 1.

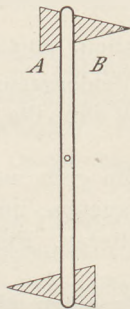


Fig. 2.

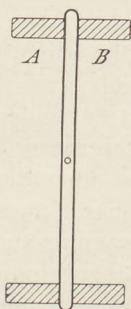


Fig. 3.

blech, zeigen immer normale Rotationsrichtung. Wenn man endlich das Papier, das abnorme Rotation hervorgerufen hat, ein klein wenig anfeuchtet, z. B. durch Anfassen mit den feuchten Fingern, durch starkes Anhauchen oder durch Anblasen mit Tabakrauch, so findet in der Regel sofort wieder normale Rotation statt. Ich habe endlich schmale rechteckige Streifen Papier an die Enden eines wohl abgerundeten Aluminiumdrahtes, in dessen Mitte mit dem Versenker eine kleine Vertiefung zum Aufhängen auf einer Nadelspitze angebracht war, von unten so mit Klebwachs angeklebt, daß beide Enden jedes Streifchens gleichweit überstanden (Fig. 3). Dann drehte sich das Flugrad natürlich nicht. Wenn ich nun aber eins der vorstehenden Papierenden mit dem etwas feuchten Finger anfaßte oder auch nur anhauchte, so drehte sich das Rädchen in dem Sinne, daß das feuchte Ende rückwärts ging.

Aus allen diesen Versuchen scheint hervorzugehen, daß das verschiedene Leitvermögen der Spitzen für die Drehung des Rädchens maßgebend ist.

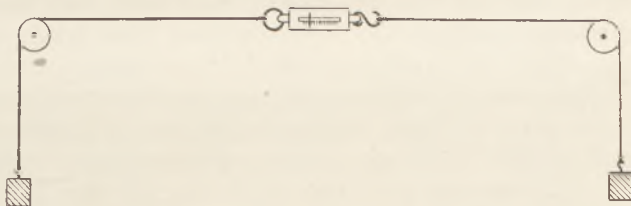
In Fig. 1 ist die Anordnung des Herrn STEINVORTH abgebildet. Es strömt hier aus allen Kanten der Magnetnadel elektrische Ladung aus. Durch den an der Seite B angeklebten Papierstreifen wird hier die Ausstrahlung vermindert, wenn das Papier dünn, trocken und daher schlecht leitend ist, daher ist die Ausstrahlung bei A stärker, infolgedessen dreht sich das Rädchen mit den Papierspitzen nach vorn. Ein an die eine Kante der sonst reinen Nadel angebrachtes Tröpfchen Wachs oder Siegellack ruft dieselbe Erscheinung hervor.

In Fig. 2 ist die Papierspitze unter den runden Draht geklebt. Infolge der größeren Breite und geringeren Länge leitet die Seite *A* besser als *B*; daher strömt aus der Kante *A* auch mehr Ladung aus als aus *B*: das Rädchen dreht sich wieder mit der Spitze nach vorn.

In Fig. 3 sind unter die runden Drähte an den Enden schmale rechteckige Papierstreifen geklebt. Sind die vorstehenden Papierenden gleich, so tritt keine Drehung ein. Wenn man aber die Seite *B* anraucht oder anhaucht, so wird dieses Ende besser leitend als das gegenüberliegende; daher findet auch bei *A* stärkere Nachfuhr, also auch stärkere Ausstrahlung der elektrischen Ladung statt: das Rädchen dreht sich mit der schlechter leitenden Seite voran.

Versuche mit einfachen Mitteln.

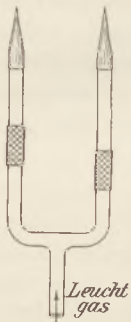
12. Ein Versuch zum Gegenwirkungsprinzip. Von A. Stroman in Friedberg (Hessen). Zu dem Versuche ist ein einfaches Dynamometer für Zug nötig, z. B. eine sog. englische Fischwaage, und das Weinholdsche Rahmengestell. Man klemmt an den senkrechten Rahmenstücken in etwa $\frac{2}{3}$ ihrer Höhe 2 Rollen fest (s. Fig.). Die beiden Angriffspunkte des Dynamometers versieht man mit je einer starken, gezwirnten Schnur von etwa 1 m Länge. Eine der beiden Schnüre knüpft man an das wagerechte Stück des einen Rollenhalters in solcher Abmessung, daß das Dynamometer etwa in die Mitte zwischen die beiden Rahmenpfeiler kommt. Die zweite Schnur führt man über die andere Rolle und belastet sie mit 1 kg. Dann hebt oder senkt man die Rolle so weit, daß die Haltepunkte der Schnüre in gleicher Höhe liegen. Während man das Dynamometer mit der einen Hand leicht unterstützt, so daß die gespannten Schnüre eine Gerade bilden, läßt man durch einen Schüler ablesen: 1 kg. Nun löst man die erste Schnur von dem Rollenhalter, führt sie über die Rolle selbst, belastet auch hier mit 1 kg und richtet die Schnüre wieder wagerecht. Wenn man dann vor der Ablesung fragt: Was muß das Dynamometer jetzt anzeigen? — so werden auch recht scharf überlegende Schüler antworten: 2 kg — und erstaunt sein, daß wieder nur 1 kg angezeigt wird. Jetzt erst setzt die Besprechung des Gegenwirkungsprinzips ein.



Wollte man das Dynamometer erst am oberen Rahmenstücke anknüpfen und das zweite Mal dieselbe Schnur über eine Rolle führen, die am oberen Rahmenstücke festgeklemmt wäre (wobei überdies das Gewicht des Dynamometers berücksichtigt werden müßte), so würde die ganz geläufige Vorstellung von einem Gleichgewichtszustande dem Eindringen in das Wesen der Sache hinderlich sein.

Wenn als Beispiel für Wirkung und Gegenwirkung der Druck gewählt wird, den ein Mensch gegen eine feste Wand übt, so wird von den Schülern auch die Frage nach der geleisteten Arbeit aufgeworfen mit der Begründung, daß ja doch Ermüdung eintrete. Hierzu läßt sich aus dem oben beschriebenen Versuche noch folgende Überlegung schöpfen: Bei dem ersten Versuche bewirken 2 Kräfte die Verkürzung oder Verlängerung der Feder, aber nur eine von ihnen arbeitet, d. h. sie wirkt längs einer Wegstrecke. Beim zweiten Versuche können wir uns die Mitte der Feder ruhend denken. Jede Kraft legt jetzt die Hälfte des Weges zurück. Die Arbeit ist also in beiden Fällen gleich. Daß als Kraft nur $\frac{1}{2}$ kg in Rechnung zu stellen wäre, kann unter Umständen unerörtert bleiben.

13. Versuche über die Saugwirkung strömenden Gases. Von A. Stroman in Friedberg (Hessen). Zu diesen Versuchen wurde eine vereinzelte Quinckesche Interferenzgabel von 7,5 mm lichter Weite benutzt (s. Fig.). Durch kurze Stückchen Glasrohr von nur 6,5 mm Weite, die mittels 3 cm langer Stückchen dickwandigen Schlauches aufgesetzt waren, war beiden Gabelröhren die gleiche Länge von 14 cm gegeben worden. Die Abmessungen sind von Einfluß auf das Gelingen der Versuche. Auch wenn Gabeln zu diesem Zwecke eigens herzustellen wären, so müßte man doch wie hier besondere Stückchen Glasrohr aufsetzen, um sie auszuwechseln zu können, wenn das Glas springen sollte.



Man schiebt einen Gasschlauch über das Ansatzstück der Gabel und spannt sie so in eine Klemme, daß beide Gabelrohre senkrecht nach oben gerichtet sind. Dann öffnet man den Hahn, zündet an und regelt die Gaszufuhr so, daß zwei Flämmchen von 5–6 cm Höhe brennen. Zum Wiederanzünden ausgelöschter Flammen kann man einen Bunsenschen Brenner mit kleiner Flamme bereithalten.

a) Man bläst schräg von oben her, fast hauchend, eins der beiden Flämmchen aus und zündet sofort wieder an.

b) Man bläst kurz, stoßweise, wagrecht über die eine Öffnung hinweg, jedoch ohne diese Flamme zu verlöschen. Infolge der Saugwirkung wird der anderen Flamme für einen Augenblick das Gas entzogen. Sie zuckt ins Rohr zurück und erlischt, läßt sich aber im selben Augenblicke schon wieder anzünden.

c) Man wiederholt den vorigen Versuch, bläst aber nach kurzer, fast unmerklicher und deshalb von den Schülern kaum beachteter Pause nochmals etwas länger scharf über dieselbe Öffnung, und zwar wiederum, ohne die Flamme zu verlöschen. Wenn man aufhört zu blasen, zeigt sich, daß die Flamme größer als früher und etwas entleuchtet ist. Jenseits kann jetzt nicht wieder angezündet werden. Das betreffende Gabelrohr hat sich mit Luft gefüllt, und alles Gas entweicht dort, wo die Flamme brennt. Wollte man von vornherein anhaltend, also ohne die oben betonte Pause, über die eine Öffnung wegblasen, so würde die Flamme leicht hinunterlaufen und an der Verzweigungsstelle weiterbrennen, wodurch das Rohr springen könnte.

d) Erwärmt man jetzt die Röhre, auf der keine Flamme brennt, von der Biegestelle an aufwärts mit dem bereitstehenden Bunsenbrenner, so steigen erwärmte Luft und Leuchtgas in ihr wieder auf, und man kann oben wieder anzünden. Der Augenblick, in dem dies erreicht ist, wird dadurch angezeigt, daß die ursprüngliche Flamme kleiner wird. Solange die eine Röhre heiß genug ist, ist es unmöglich, nur durch die andere Gas ausströmen zu lassen wie bei Versuch c.

e) Besteht der Zustand des Versuchs c, so kann man die volle Flamme des Bunsenschen Brenners schräg nach oben die Öffnung des Gabelrohres umspülen lassen, auf dem keine Flamme brennt, und so den Gasstrom des Brenners zum Ansaugen benutzen.

f) Wenn beide Flammen brennen, wird bei Verminderung der Gaszufuhr eine zuerst erlöschen. Im selben Augenblick fällt Luft in das andere Gabelrohr. Die noch vorhandene Flamme wächst und nimmt sofort wieder ab. Dreht man jetzt den Gashahn etwas weiter auf, bis etwa die Flammenhöhe von Versuch c erreicht ist, so kann man jenseits nicht wieder anzünden.

g) Schließlich kann man noch folgendermaßen verfahren: Man verschließt das eine Gabelrohr mit dem Finger, öffnet dann den Gashahn und stellt auf dem andern Gabelrohre eine Flamme von 6–8 cm Höhe her. Nimmt man jetzt den Finger weg, so läßt sich auf dem ursprünglich verschlossenen Rohre keine Flamme entzünden, da es von vornherein mit Luft gefüllt geblieben war.

Hiermit ist die Zahl der Versuche durchaus nicht erschöpft. Man wird natürlich so weit als möglich die Schüler die Erklärungen selbst finden lassen.

Berichte.

1. Apparate und Versuche.

Zwangläufiger Apparat zur Demonstration der Zusammensetzung beliebiger Schwingungen und Wellen. Von L. KANN. (*Physikal. Ztschr.* 9, Nr. 11, 1908.) Der Hauptwert eines solchen Apparates muß nach der Meinung des Verfassers gerade darin liegen, zu zeigen, wie die Verschiedenartigkeit der Erscheinungen sich aus den gleichen Elementen in verschiedenartigem Zusammenwirken ergibt; er muß es ermöglichen, auf die zur Vorführung kommende Erscheinung stets mühelos und verläßlich einzustellen und auch den Ablauf derselben in allen ihren Phasen beliebig festzuhalten und aufzuzeigen.

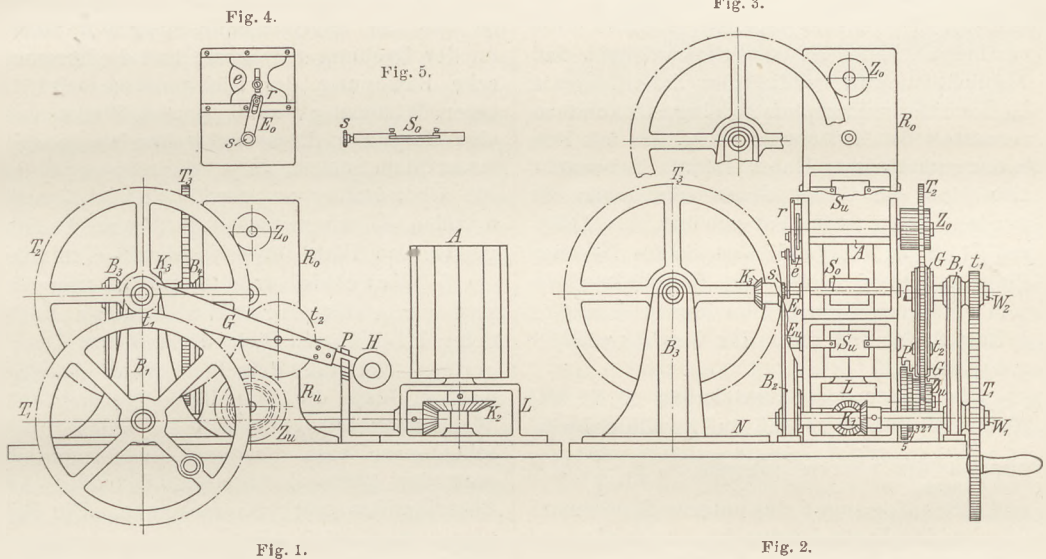
Der vorliegende Apparat gestattet, fast alle grundlegenden Demonstrationen der

Schwingungen in einer Ebene durch einen rotierenden Spiegel analysiert werden.

Die Spiegel S_o und S_u sind in Rahmen R_o und R_u gelagert, von denen der obere R_o zwei verschiedene um 90° gegeneinander versetzte Stellungen haben kann (Fig. 1 u. 2 und Fig. 3).

Der Antrieb der Exzenter E_o und E_u erfolgt durch die Zahnräder Z_o und Z_u , die bei der Demonstration von Schwingungen gleicher Richtung gemeinsam von dem Triebrad T_2 betätigt werden, während bei senkrecht zueinander stehenden Schwingungen Z_u von T_2 und Z_o von T_3 angetrieben wird (Fig. 3).

Das auf der Welle W_1 sitzende Kurbelrad T_1 treibt mittels des Zahnrades t_1 die



Wellenlehre auch dem größten Auditorium klar und sicher in beliebiger Größe zu ruhiger Betrachtung vorzuführen.

Die Anordnung besteht im wesentlichen aus 2 durch Exzenter so bewegten Spiegeln, daß ein von denselben reflektierter Lichtstrahl auf dem Projektionsschirm das Bild eines harmonisch schwingenden Punktes ergibt; und zwar können die Schwingungen der reflektierten Strahlen in derselben Ebene oder in 2 zueinander senkrechten Ebenen erfolgen, hierbei entweder gleiche oder verschiedene Schwingungszeit bei gleicher oder beliebig verschiedener Phase und Amplitude haben, und jede einzeln für sich oder in ihrem Zusammenwirken projiziert werden, wobei die

Welle W_2 und diese wieder direkt das auf ihr längs einer Feder verschiebbare Triebrad T_2 und mittels des Kegeleräderpaares K_3 das Triebrad T_3 , das in dem Gabelbock B_2-B_4 in den Nutleisten N verschoben und so in und außer Eingriff gebracht werden kann (Fig. 2 u. 3).

Von der Welle W_1 aus wird auch der analysierende Spiegel A mittels der Kegelerädergetriebe K_1 und K_2 in Rotation versetzt. Aus zeichnerischen Gründen ist dieser Spiegel in Fig. 2 symmetrisch zu den Rahmen angeordnet, während er in Wirklichkeit so weit nach links zu stehen kommt, daß ein von S_o z. B. horizontal nach rückwärts ausgehender Strahl von ihm um 90° nach rechts auf den Projektionsschirm reflektiert wird.

Die Übersetzungen sind so gewählt, daß die von den Strahlen auf den Schirm geworfenen Bilder so rasch einander folgen, daß das Auge einen kontinuierlichen Eindruck der Schwingungskurven gewinnt; für die Fälle also, in denen der rotierende Spiegel A mit seinen 12 Spiegelflächen zur Anwendung kommt, muß seine Umdrehung so reguliert sein, daß die Zeit, welche eine Facette braucht, um die Lage der ihr benachbarten einzunehmen, ein Vielfaches der vollen Schwingungszeit der Spiegel S beträgt.

So machen z. B. bei normalem Handbetrieb, bei einer Umdrehung von T_1 in der Sekunde, T_2 und T_3 6 Umdrehungen und Z_0 und Z_u^1 36; während A bloß eine halbe Tour ausführt, so daß auf eine Facette 6 ganze Schwingungen fallen, die unter einem Projektionswinkel von 60° auf den Schirm geworfen werden.

Um das Verhältnis der Schwingungszeiten der beiden Spiegel S ändern zu können, läßt sich die Tourenzahl des unteren Exzenters verringern. Dies ist dadurch ermöglicht, daß T_2 nicht unmittelbar in den Zahnrädersatz Z_u des unteren Exzenters L_u eingreift, sondern vermittels des Zwischenrades t_2 , das mit ihm in der gemeinsamen Gabel G sitzt. Es braucht also bloß die Gabel G so verschoben zu werden, daß t_2 mit dem gewünschten Zahnrad (1, 2, 3, 4 oder 5) des Satzes Z_u zum Eingriff kommt, wobei die Handhabe H in dem entsprechenden Schlitz der Schlitzplatte P Rast findet und durch ihr Gewicht niedergehalten wird.

Die Räder des Satzes haben 20, 21, 24, 30 und 40 Zähne, so daß auf 6 volle Schwingungen des oberen Spiegels S_0 6, $\frac{40}{7}$, 5, 4

und 3 Schwingungen des unteren S_u kommen können. Die Veränderung der Amplituden geschieht durch Versetzung des Schraubenstiftes in der Exzenterscheibe e oder im Exzenter-schieber. Die gewünschte Phasenverschiebung wird eingestellt, indem man die Gabel G hebt, dem Rad Z_u die entsprechende Verdrehung gibt und die Gabel wieder bis zum Eingriff senkt.

Fig. 5 zeigt die Befestigungsart der Spiegel S . Um dieselben zu verstellen, braucht bloß die randrierte Schraube s gelüftet und nach erfolgter Einstellung wieder festgezogen zu werden. —

Von den zahlreichen Demonstrationen, die mit diesem Apparat ohne weiteres durchgeführt werden können, sind folgende hervorzubehalten:

1. Bewegung eines harmonisch schwingenden Punktes und Darstel-

lung dieser Bewegung als Projektion einer Kreisbewegung. Die Rahmen stehen parallel (Fig. 1 und 2). T_3 ist außer Eingriff. Einer der Spiegel S steht senkrecht nach rückwärts gewendet, der andere ist abgekehrt. Der rotierende Spiegel A ist durch Lockern der Befestigungsschraube von der Drehung ausgeschaltet. Der Lichtstrahl fällt von rückwärts an A vorüber auf den Spiegel S , wird von diesem auf A reflektiert und von A aus, um ca. 90° nach rechts abgelenkt auf den Projektionsschirm geworfen. Bei der Drehung des Handrades T_1 beschreibt nun der vom Spiegel reflektierte Strahl — wie ein großer Zeiger — vergrößert dieselbe harmonische Bewegung, die sich am Schieber r ohne weiteres als Projektion der Zentralbewegung des Schraubenstiftes aufzeigen läßt.

2. Aufrollen dieser harmonischen Schwingung in eine Wellenlinie. Die Befestigungsschraube von A wird festgezogen, so daß der analysierende Spiegel nunmehr an der Drehung teilnimmt; und die harmonische Bewegung des Lichtpunktes wird in einen Wellenzug von 6 ganzen Wellen auseinandergelegt. Dieselben stehen bewegungslos auf dem Schirm, da ja, wie schon erwähnt, die Übersetzung so gewählt ist, daß nach 6 vollen Schwingungen von S eine Facette genau den Platz ihrer Nachbarin einnimmt.

3. Vergleichung zweier voneinander unabhängiger Wellenzüge. Beide Spiegel S sind nach rückwärts gekehrt. Durch geringe Neigung derselben kann bewirkt werden, daß die von ihnen gezeichneten Wellenzüge mit gleicher oder beliebig verschiedener Phase, Frequenz und Amplitude entweder getrennt untereinander oder aber übereinander gelagert erscheinen. Die Frequenz von S_u wird, wie oben gezeigt, geändert, indem man T_2 und t_2 mittels der Gabel G verschiebt, bis t_2 mit dem gewünschten Zahnrad des Satzes Z_u zum Eingriff kommt, wobei T_2 selbst mit Z_0 in Eingriff bleibt.

4. Addition zweier Schwingungen gleicher Richtung, und zwar gleicher oder verschiedener Phase, Frequenz und Amplitude. Es ändert sich nur die Stellung der Spiegel S (Fig. 2). S_u ist ca. 45° gegen die Horizontale geneigt und nach vorn gerichtet, S_0 ebenso nach rückwärts. Der Lichtstrahl fällt horizontal von vorn auf S_u , wird unter 90° nach oben auf S_0 und von da horizontal auf A reflektiert, von wo er, um ca. 90° nach rechts abgelenkt, wieder wie früher auf den Schirm geworfen wird. Auf diese Weise summieren sich in jedem Augen-

blick die Ablenkungen, welche die schwingenden Spiegel dem Strahl erteilen. Die Schwingungen der Spiegel S können zuerst jede für sich vorgeführt werden, indem bloß einer der Spiegel bewegt, der andere aber durch Ausrücken oder durch Lockern der Stellschraube s (unter 45° geneigt) ruhig gehalten wird; um dann in ihrem Zusammenwirken langsam Schritt für Schritt verfolgt zu werden — bis zur kontinuierlichen Erscheinung. (Anwendung zur Demonstration von schwingenden Saiten, Schwebungen, Interferenzen, Phasenverschiebungen und dergleichen mehr.)

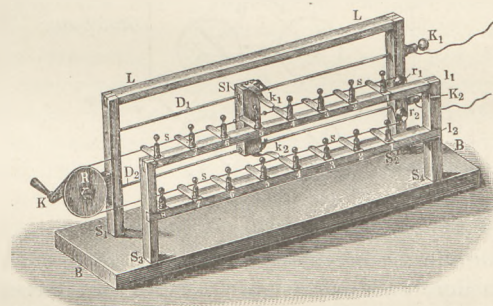
5. Darstellung der Bewegung eines Punktes, der gleichzeitig 2 zueinander senkrecht stehenden Schwingungen ausgesetzt ist; und zwar wieder gleicher oder verschiedener Phase, Frequenz und Amplitude. Die Rahmen sind gekreuzt (Fig. 3). Die Spiegel S bleiben so gestellt wie früher oder werden vielleicht besser jeder um 90° versetzt, so daß der Lichtstrahl, von rückwärts kommend (A ist aus seinem Lager gehoben worden) auf S_u nach oben und von S_o nach links reflektiert wird. Selbstverständlich kann auch der Strahl, von links kommend, von S_u nach rückwärts geworfen werden. T_3 wird zum Eingriff vorgeschoben. Auch hier können die Schwingungen wieder zuerst jede einzeln für sich und dann in ihrem Zusammenwirken demonstriert werden. (Anwendungen: Lissajousche Figuren, Addition von Wechselfeldern, Entstehung von Drehfeldern usw.)

Der Apparat wurde in den Schulwerkstätten der deutschen Staatsgewerbeschule in Pilsen unter Leitung des Werkmeisters V. HAJEK tadellos funktionierend hergestellt; die weitere Ausführung für den Handel hat die Firma E. LEYBOLD'S Nachfolger in Köln a. Rh. übernommen.

Schaltvorrichtung für Vakuumapparate zur Demonstration elektrischer Entladungserscheinungen.

Von W. BIEGON VON CZUDNOCHOWSKI¹⁾. Der Verf. beschreibt eine neue, verhältnismäßig leicht herzustellende Schaltvorrichtung für GEISSLERSche, CROOKESsche Röhren u. dgl., welche wegen verschiedener Vorzüge sich besonders zur Verwendung im Unterricht geeignet erweisen dürfte. Auf einem Brette B (siehe Figur), sind zwei Gerüste aus gefirniften oder paraffinierten Holzleisten errichtet, $S_1 L S_2$ bzw. $S_3 I_1 I_2 S_4$; in dem einen sind, eventuell

noch besonders isoliert, zwei starke Messingdrähte D_1, D_2 wagerecht befestigt, welche mit Klemmschrauben K_1, K_2 zum Anschlusse an die Sekundärspule des Induktors versehen und etwas weiter voneinander entfernt sind, als die Maximalschlagweite des in Frage kommenden oder, falls mehrere vorhanden, des größten zu verwendenden Induktorkiums beträgt. Parallel zu jedem Drahte ist auf dem zweiten Gerüst je eine Reihe äquidistanter Klemmen angebracht, deren jede mit einer nach dem betr. Draht gerichteten wagerechten und am freien Ende abgerundeten Metallzunge versehen ist; die Drähte D_1, D_2 dienen

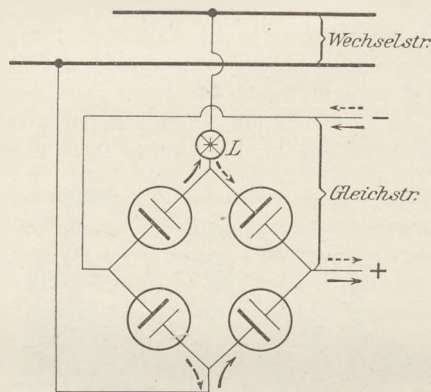


zugleich als Führung für einen Schlitten Sl , welcher zwei rechtwinklige Metallstücke k_1, k_2 trägt, deren eine Schenkel die Drähte berühren, während die anderen die Zungen der zugehörigen Reihe berühren. Vermittelst der Kurbel K und der über die Rollen R, r_1, r_2 gelegten Saite s kann der Schlitten rasch und leicht hin- und hergeschoben werden und damit in beliebigem Wechsel jedes Klemmenpaar mit D_1, D_2 in Verbindung gebracht werden, bei Vermeidung direkter Berührung von k_1, k_2 mit den betr. Zungen auch unter Vorschaltung von Funkenstrecken. Der Apparat gestattet rasch nacheinander in beliebiger Reihenfolge eine Anzahl von Vakuumröhren vorzuführen, ohne daß man dabei mit der Gefahr unvermuteter Berührung hochspannungsführender Teile zu rechnen hat. B. v. Cz.

Einfacher Gleichrichter nach Nodon. (CYRIL O. SMITH, *School Science and Mathematics VII. 663-664, 1907*; WILLIS E. TOWER, *ebenda VIII. 140-141, 1908*). Wo nur Wechselstrom zur Verfügung steht, also Versuche mit Gleichstrom zunächst nur mit Batterien angestellt werden können, ist es, um Gleichstrom zur Verfügung zu haben, nicht nötig, sich einen besonderen teuren Umformer anzuschaffen, sondern man kann für Zwecke des Unterrichts voll Befriedigendes erreichen durch folgende einfache und billige Einrichtung, die nur

¹⁾ Verhandl. d. Deutsch. physikal. Gesellsch. **9**, 186, 1907.

~ 4 M. (1 Doll.) Kosten verursacht. Man schneidet aus starkem Bleiblech und Aluminiumblech je 4 Tafeln solcher Größe, daß sie bequem paarweise in großen Batteriegläsern untergebracht werden können, versieht jede Platte mit einer Verbindungsklemme und füllt die Gläser mit einer gesättigten Lösung von Ammoniumphosphat in destilliertem Wasser;



die vier so beschickten Gläser werden dann in der durch nebenstehende Figur erläuterten Weise verbunden und ergeben ein Gleichrichtersystem nach A. B. NODON (1904). Um die Stromstärke verändern zu können, schaltet man eine Glühlampe *L* vor, und zwar hält man sich dafür zweckmäßig einen Satz etwa von bzw. 100, 50, 32 und 16 HK. vorrätig, von denen man je nach Bedarf eine in die

Fassung schraubt (zweckmäßiger erscheint ein Satz gleicher, einander parallel geschalteter Lampen, weil dies eine bequemere Regulierung zuläßt). Die Wirkung beruht darauf, daß bei Stromdurchgang $Al \rightarrow Pb$ sich an ersterem ein nichtleitendes Oxyd bildet, bei Wechselstrom also immer eine Phase unterdrückt wird; ordnet man vier solche Apparate wie hier gezeichnet an, so werden beide Phasen, jede durch ein Paar Zellen, nutzbar gemacht, und es resultiert ein pulsierender Gleichstrom, dem man seinen schwankenden Charakter aber durch Parallelschaltung eines Kondensators aus Aluminiumplatten in Aluminiumphosphatlösung zu der Anordnung fast völlig nehmen kann.

Der Wirkungsgrad des Apparates beträgt ~ 70 Proz. Er gestattet Versuche über Elektrolyse, Betrieb von Elektromotoren und Funkeninduktoren, Ladung von Akkumulatoren u. a. m. Damit er gut funktioniert, ist folgendes zu beachten: 1. Man verwende möglichst nur destilliertes oder Regenwasser; 2. Man fülle nach, was verdunstet; 3. Man Sorge durch Putzen, daß namentlich zu Anfang die Platten möglichst reine Oberflächen haben; 4. Man setze den Apparat zeitig an, lasse ihn ev. über Nacht stehen, da die Funktion besser einsetzt, wenn die Platten sich bereits einige Stunden in der Lösung befanden; 5. Tritt starkes Aufschäumen ein, so nehme man größere Gläser und Platten. *B. v. Cz.*

2. Forschungen und Ergebnisse.

Spektral - Untersuchungen. Über die Emissionsursachen der Spektren sprach C. FREDENHAGEN auf der Naturforscherversammlung in Dresden¹⁾. Alle Spektraluntersuchungen wurden bisher stets mit Sauerstoffflammen vorgenommen. Nimmt man nun Nichtsauerstoffflammen, z. B. Chlor- und Fluor- (auch Brom- und Jod-) Wasserstoffflammen, und läßt Metalle in diesen verdampfen, so zeigen die Alkalimetalle und Thallium keine charakteristischen Spektralerscheinungen; Ca, Ba, Sr und besonders Cu dagegen geben besondere und sehr charakteristische Spektren. Die D-Linien treten z. B. bei Natrium in einer solchen Flamme nicht auf, erscheinen aber sofort, wenn man Sauerstoff hineinbläst. Umgekehrt erhält man in einer Sauerstoffflamme das Chlorwasserstoffflammspektrum, wenn man Chlor in hinreichender Menge hineinbläst. Die Intensität des Emissionsspektrums wächst mit der Konzentration des Sauerstoffs

bzw. Chlors. Trennt man bei einem Bunsenbrenner durch ein hinübergeschobenes Glasrohr die innere, sauerstoffarme, von der äußeren, sauerstoffreichen, Zone, so läßt in den Gasstrom gebrachtes Kupfersalz die innere Zone farblos, färbt aber die äußere intensiv grün, während Lithiumsalz, das schon in der inneren Zone vollständig oxydiert wird, diese rot färbt, die äußere fast farblos erscheinen läßt. Daraus würde folgen, daß die spektrale Emission hier an eine Oxydierung, bei einer Halogenflamme an eine Halogenierung der betreffenden Metalle geknüpft ist. Da die Flammenfärbung unabhängig von den Temperaturverhältnissen nur dort eintritt, wo der betreffende chemische Prozeß erfolgt, so wären die Flammenspektren nicht auf Temperaturstrahlung, sondern auf Chemilumineszenz zurückzuführen. Diese Auffassung steht allerdings mit der Herleitung des Kirchhoffschen Gesetzes in Widerspruch; doch trifft dieser weniger den qualitativen Inhalt des Gesetzes, der sich für jede Strahlung als Folgerung der allgemeinen Resonanz-

¹⁾ Phys. Zeitschr. 8, 729 (1907).

prinzipien ergibt, als die quantitative Seite, deren Gültigkeit die reine Temperaturstrahlung voraussetzt, die aber bei Flammenspektren ohnehin nicht erfüllt ist. Als Beispiel für das letztere führt der Verfasser an, daß in einer mit Natriumdampf gespeisten Wasserstofflampe die Intensität der D-Linien durch Einblasen von Chlor herabgesetzt wird, obwohl die Temperatur dadurch erhöht wird.

Außer den gewöhnlichen Linien der „Hauptserien“ zeigen die Alkalimetalle bei hohen Temperaturen die weiteren Linien der „Nebenserien“. Um zu entscheiden, ob diese ebenfalls an die Gegenwart eines zweiten Elementes gebunden sind, wurden die Metalle in evakuierten Röhren auf 6–700° erwärmt; die Röhre waren mit Außenelektroden versehen, die zu einem Induktorium führten. Das emittierte Licht dieser Alkalivakuumlampen zeigte sowohl die Haupt- als die Nebenserien. Die Versuche machten es für Natrium und besonders für Kalium, Rubidium und Cäsium sehr wahrscheinlich, daß die Nebenserienlinien reine Metalllinien sind, zu deren Erzeugung die Gegenwart irgendeines anderen Elementes nicht erforderlich ist. Das würde mit der Beobachtung LENARDS übereinstimmen, daß im Alkaliflammbogen die Nebenserien vorzugsweise von dem Innern, die Hauptserie von dem (Sauerstoff enthaltenden) Mantel des Bogens emittiert werden¹⁾. Nach LENARD werden die Linien der ersten, zweiten oder höheren Nebenserie von 1, 2 oder mehrwertigen Metallatomen ausgesandt, wobei diese Wertigkeit darin besteht, daß ein Atom 1, 2 oder mehr negative Elementarquanten (Elektronen) abzugeben vermag. FREDENHAGEN nimmt hiernach an, daß die Emission der Nebenserien dadurch erfolgt, daß das Metallatom von einem Wertigkeitszustand in den andern übergeht.

Daß die Erreger jeder Linienserie bei den verschiedenen Metallen gleichartiger Natur sind, geht auch aus Beobachtungen ZEEMANS hervor, nach denen alle Linien derselben Serie im Magnetfelde die gleiche Ausbildung des Zeeman-Effekts zeigen²⁾. Bei den Alkalien ist jede Linie der Hauptserie doppelt, wofür die gelben Natriumlinien ein typisches Beispiel sind. Die Linien der in ihrem chemischen Verhalten so verschiedenen Substanzen wie Na, Cu, Ag, Ca werden in derselben Weise aufgelöst. Auch bei den drei Nebenserien von Zn, Cd, Hg, Ca ist der Betrag

der Auflösung in jeder Serie derselbe. ZEEMAN sucht dieses dadurch zu erklären, daß er annimmt, alle Linien einer Serie werden durch ein oszillierendes System von Elektronen hervorgerufen, und in dem Atom einer Substanz seien ebenso viele oszillierende Systeme enthalten, als ihr Spektrum Serien aufweist.

Daß die Elektronen oder Elektronensysteme, deren Vibrationen die einzelnen Linienserien hervorrufen, negative Ladungen besitzen, folgt sowohl aus der Theorie des Zeeman-Effekts als auch aus der (positiven) Richtung der magnetischen Drehung der Polarisationssebene für Wellen von sehr nahe derselben Schwingungszahl wie die einzelnen Spektrallinien. Wie R. W. WOOD bereits früher gezeigt hatte, besitzen einige der Linien, welche das kannelierte Absorptionsspektrum des Natriumdampfes bilden, die Fähigkeit, die Polarisationssebene zu drehen, wenn das Licht durch den magnetisierten Dampf in der Richtung der Kraftlinien hindurchgeschickt wird. WOOD erhitzte metallisches Natrium in einer zwischen den Polschuben eines großen Elektromagnets liegenden evakuierten Stahlröhre. Geht jetzt weißes Licht durch die Reihe: Nicol, Röhre, Nicol, Kondensorlinsen, Spektroskop, so erblickt man bei gekreuzten Nicols im Rot und Grünblau die magnetischen Rotationsspektren¹⁾. Für Wellenlängen in der Nähe der D-Linien läßt sich aus der Art der Drehung des Analysators leicht der Sinn der magnetischen Drehung feststellen, nicht aber bei den sehr schmalen Linien der kannelierten Spektren. WOOD brachte nun vor das vorige System noch eine zweite magnetisierte Natriumdampfröhre, ein drittes Nicol und ein zweites Spektroskop und hoffte aus der Drehung des dritten Nicols den Sinn der magnetischen Drehung zu erhalten²⁾. Es zeigte sich aber, daß eine Drehung des dritten Nicols ganz ohne Einfluß auf das Auftreten der Linien war, indem der magnetische Natriumdampf das Licht anscheinend völlig depolarisiert hatte. Das erklärt sich daraus, daß jede Linie eine gewisse endliche Breite hat und sich aus monochromatischen Komponenten zusammensetzt, die durch die zweite Dampfröhre um verschiedene Winkel gedreht werden, so daß das dritte Nicol in jeder Stellung etwas von dem Licht der Linie hindurchläßt.

Es gelang schließlich, die Natur der Drehung mit einem Paar sehr dünner

¹⁾ Ann. d. Physik 17, 197 (1905).

²⁾ Naturw. Rundsch. XXII, 391 (1907).

¹⁾ Ds. Zeitschr. 19, 181 (1906).

²⁾ Physikal. Zeitschr. 9, 124 (1908).

Fresnel'scher Quarzprismen festzustellen. Diese ergeben eine breite Auslöschungsbande, welche die magnetisch gedrehte Linie von oben oder von unten her durchdringt, je nachdem die Drehung positiv oder negativ ist. Wird der Magnet erregt und die Natriumröhre allmählich erhitzt, so sieht man, wie scharfe Lichtnadeln aus dem kontinuierlichen Spektrum in das dunkle Gebiet unmittelbar rechts und links von den D-Linien herabschießen. Kehrt man das Magnetfeld um, so schießen die Lichtnadeln von unten herauf. Die Richtung, in der die Polarisations-ebene durch die D-Linien gedreht wird, zeigt auch hier, daß sie durch Schwingungen negativer Elektronen verursacht werden. Wurde nun derselbe Versuch mit den Absorptionslinien des kannelierten Spektrums vorgenommen, so zeigte sich, daß beim Schließen des Magnetisierungsstroms einige Lichtnadeln von oben herab, andere von unten herauf in die dunkle Zone hineingeschossen. Daraus geht hervor, daß einige Absorptionslinien die Polarisations-ebene im positiven, andere sie im negativen Sinne drehen, woraus zu schließen ist, daß in dem Atom, durch das diese Linien erregt werden, sowohl positive als auch negative Elektronen vorhanden sind. Auf das Vorhandensein positiv geladener Atome als „Träger“ einiger Nebenserien hatte übrigens schon früher LEONARD aus Untersuchungen im elektrischen FELD geschlossen¹⁾.

Um die Größe der Drehung der Polarisations-ebene in der Nähe der D-Linien im Magnetfeld zu bestimmen, benutzte ZEEMAN Interferenzstreifen, die mit Hilfe eines Systems von Quarzkeilen hervorgebracht wurden²⁾. Diese das Spektrum der Länge nach durchziehenden Streifen verschieben sich, sobald eine drehende Substanz (Quarzplatte) in den Strahlenweg gebracht wird; die Verschiebung um einen Streifenabstand entspricht einer halben Umdrehung der Polarisations-ebene.

Zerlegt man das Licht mit Hilfe eines Rowland'schen Gitters, so kann man solch ein Streifensystem für alle Wellenlängen herstellen und die Drehung der Polarisations-ebene in der Nähe der Absorptionsstreifen beobachten. Aus der Verschiebung der Streifen in der Nähe der D-Linien, wenn das Licht parallel zu den Kraftlinien den Natriumdampf durchsetzte, konnte auf eine Drehung von über 180° geschlossen werden. War der

Dampf sehr verdünnt, so teilten sich in genügend starkem Felde die Linien in zwei Komponenten, zwischen denen die Streifenverschiebung — der Voigt'schen Theorie entsprechend — auf eine Drehung im umgekehrten Sinne wie zuerst schließen ließ. — Ebenfalls durch Verschiebung der Interferenzstreifen beobachtete ZEEMAN die Doppelbrechung des Natriumdampfs, wenn das Licht senkrecht zu den magnetischen Kraftlinien hindurchging. Die Linien D_1 und D_2 spalten sich hier in drei bzw. vier Komponenten, zwischen denen die Streifen charakteristische, mit der Theorie übereinstimmende Krümmungen zeigten.

In unmittelbarem Zusammenhange mit der Rotationspolarisation und der Doppelbrechung des Natriumdampfes steht die in der Nähe der D-Linien auftretende anomale Dispersion. Diese wurde bisher gewöhnlich durch ein in verschiedener Weise hergestelltes Natriumdampfprisma beobachtet (ds. Zeitschr. 12, 354). JULIUS ersetzte dieses Prisma durch Natriumdampf von allmählich zunehmender Dichte, indem er eine mit dem Dampf erfüllte Röhre auf der einen Längsseite erwärmte, auf der andern abkühlte¹⁾. Das durch diese Röhre der Länge nach hindurchgehende, spektral zerlegte Licht einer Bogenlampe zeigte dann die D-Linien verbreitert, und zwar um so stärker, je mehr die Dichte des absorbierenden Dampfes in der Röhre abgestuft war. Diese Verbreiterung der Absorptionslinien ist eine Folge anomaler Dispersion; sie ist auch beim Verdampfen von Metallen im elektrischen Lichtbogen, wo noch größere Dichteabstufungen vorkommen, zu beobachten. JULIUS wendet seine Beobachtungen auch auf seine Theorie der Sonne (ds. Zeitschr. 14, 354; 21, 128) an, indem er aus der Form der Spektrallinien in der Chromosphäre auf den Prozentsatz schließt, in dem gewisse Metalldämpfe in den einzelnen Teilen der Sonnenatmosphäre enthalten sind. Schk.

Die Leitung der Elektrizität in Metallen.

Nach der Elektronentheorie wird, wie E. LECHER in einem am 30. Oktober 1907 in Berlin gehaltenen Vortrage ausführte, die Leitung in Metallen und festen Körpern durch einen ähnlichen Vorgang erklärt, wie man ihn bei der Fortführung einer Ladung durch Kathodenstrahlen in einer Vakuumröhre beobachtet²⁾. In dieser werden die von der

¹⁾ Ann. d. Physik 17, 147 (1905).

²⁾ Naturwiss. Rundschau XXII, 389 (1907).

¹⁾ Naturw. Rundschau XXII, 365 (1907).

²⁾ „Himmel und Erde“ XX 145.

Kathode kommenden Elektronen senkrecht zur Oberfläche der Kathode fortgetrieben; treffen sie auf ihrem Wege einen festen Körper (ein Platinblech, die Glaswand), so wird dieser durch den Anprall stark erbitzt, besonders wenn man die Kathodenstrahlen durch eine Hohlspiegelkathode auf einen Punkt konzentriert. Auch in einem festen Leiter bewegen sich freie Elektronen in den Zwischenräumen zwischen den Molekülen mit einer gewissen Geschwindigkeit hin und her. Sobald ein Strom den Leiter durchfließt, werden diese Elektronen in der Richtung des negativen Stromes fortgetrieben und prallen dabei gegen die im Wege stehenden ruhenden Moleküle an. Der feste Leiter besteht nach dieser Auffassung gleichsam aus einer Unmenge von gleichgerichteten Kathodenröhren. Ebenso wie in der Kathodenröhre durch den Anprall der Elektronen Wärme entsteht, so muß auch im Leiter überall, wo die Elektronenstrahlen an die im Wege stehenden Moleküle anprallen, Wärme erzeugt werden. Das ist die Joulesche Stromwärme. Da die Elektronen in einem Leiter keine großen Weglängen zurücklegen und auch von einer geringeren elektrischen Kraft bewegt werden, so ist ihre Geschwindigkeit lange nicht so groß wie die der Kathodenstrahlen einer Vakuumröhre, wo sie auf $\frac{1}{3}$ Lichtgeschwindigkeit berechnet wird. LECHER bestimmte die Geschwindigkeit der Elektronen in einem glühenden Metalldraht zu etwa 200 cm sec.; in einem dünnen Silberdraht konnte er sie durch besondere Vorrichtungen bis auf etwa 75 000 cm/sec. steigern. Bei den gewöhnlichen zum Telegraphieren benutzten Strömen beträgt die mittlere Geschwindigkeit der Elektronen nur Bruchteile von Millimetern pro Sekunde. Die elektromagnetische Wirkung dagegen pflanzt sich in dem festen Leiter mit Lichtgeschwindigkeit fort. —

Ebenso wie die Kathodenstrahlen einer Vakuumröhre durch einen Magneten in einer bestimmten Richtung abgelenkt werden, werden auch die durch den Strom bewegten Elektronen eines Leiters im Magnetfelde nach der Seite gedrängt; dadurch häufen sie sich zu einer statischen Ladung an und erzeugen so den Hall-Effekt. Da die Elektronen aber aus dem Drahte nicht heraus können, so erleidet dieser selbst im Magnetfelde einen Druck senkrecht zu den Kraftlinien. Dieser Druck wird bei den Elektromotoren technisch verwertet. Andererseits werden auch mechanisch bewegte Elektronen eines Leiterdrahts

im Magnetfelde senkrecht zu den Kraftlinien bewegt und erzeugen so den Induktionsstrom.

In einem ruhenden, von keinem Strom durchflossenen Leiter vagabundieren die Elektronen planlos hin und her; durch äußere Erwärmung werden sie in raschere Bewegung versetzt. Sie diffundieren allmählich nach den kälteren Stellen des Drahtes, und man erhält die Erscheinungen der Wärmeleitung und damit eine Begründung der Tatsache, daß jeder gute Elektrizitätsleiter auch ein guter Wärmeleiter ist.

Da die Anzahl der zwischen den Moleküeln eines Metalls vorhandenen freien Elektronen bei verschiedenen Metallen verschieden ist, so wird bei Berührung zweier Metalle an der Berührungsstelle ein Ausgleich erfolgen, so daß das elektronenreichere Metall einen Teil seines Überschusses an das elektronenärmere abgibt. Dieses wird dadurch negativ, das erstere positiv geladen. Da sich bei Erwärmung neue Elektronen loslösen, so wird deren Zahl vergrößert; ist diese Vermehrung der Elektronen bei verschiedenen Metallen verschieden, so wird bei deren Berührung und gleichzeitiger Erwärmung eine gegenseitige Ladung eintreten, die sich als Thermo-Elektrizität zu erkennen gibt. Auch andere Erscheinungen wie der Peltier- und Thomson-Effekt lassen sich in ähnlicher Weise aus der Elektronentheorie erklären.

Im Gegensatz zur Elektronentheorie sucht R. v. HASSLINGER die metallische Leitung durch eine Erweiterung der Ionentheorie zu erklären¹⁾. Nach dieser Auffassung wären die Metalle imstande, Ionen aus demselben Stoffe, aus dem sie selbst bestehen, zu bilden, und zwar entsprechend ihrer hohen Dissoziationskraft in sehr großer Zahl. Für andere Körper werden sie dann Lösungsmittel von sehr bedeutender Eigenleitfähigkeit und von großer dissoziierender Kraft. Von Versuchsergebnissen wird u. a. hervorgehoben, daß geschmolzener Schwefel, der nur geringe Leitfähigkeit besitzt, beim Stromdurchgange Polarisationserscheinungen erkennen läßt. Jod zeigt sowohl die Eigenschaften eines metallischen wie eines elektrolytischen Leiters. Silbersulfid hat bei gewöhnlicher Temperatur elektrolytisches, unter -70° metallisches Leitvermögen. Schwefelkupfer und Eisenoxyduloxyd sind bei gewöhnlicher Temperatur metallische Leiter, beginnen aber bei höheren Tempe-

¹⁾ Wiener Monatshefte für Chemie 28, 173 (1907); Beibl. 32, 87 (1908).

raturen (über 500 bzw. 300° C.) elektrolytisch zu leiten. *Schk.*

Aus der Elektrooptik. Der Doppler-Effekt bei Kanalstrahlen (ds. Zeitschr. 19, 238; 20, 117) läßt sich in Wasserstoff leicht mit einem Flintglasspektroskop beobachten und photographieren. Einem in der Zielrichtung der Kanalstrahlen befindlichen Beobachter senden die Kanalstrahlteilchen Licht zu, dessen Wellenlänge um den Weg der Teilchen während einer Schwingung verkürzt ist. Da nicht alle Teilchen gleichschnell laufen, so ergibt sich im Spektrum ein breiter Streifen („bewegte Intensität“), es ist aber außerdem die Spektrallinie unverändert sichtbar („ruhende Intensität“). Sehr merkwürdig ist, daß die bewegte Intensität nach der Seite der ruhenden scharf begrenzt und von ihr durch einen dunklen Zwischenraum getrennt ist. STARK¹⁾ nimmt an, daß die Kanalstrahlteilchen (Atome) erst von einer gewissen Geschwindigkeit an Licht aussenden; hier erreicht die Deformationsarbeit des Feldes am schnell bewegten Atom einen solchen Betrag (PLANCKS Elementarquantum der Energie), daß ein Elektron von dem Atomion abgespalten wird. Sobald dies aber geschieht, hört die beim unverletzten Atom vorhandene Hemmung der Ausstrahlung auf, und es wird Licht ausgesandt.

PASCHEN²⁾ teilt sehr schöne Photogramme des Effektes unter verschiedenen Bedingungen, besonders des Spannungsgefälles, mit. Er findet bis 800 Volt einen verschobenen Streifen, dazu tritt zwischen 800 und 2000 Volt ein zweiter, weniger stark verschobener, der bei höherer Spannung allein übrig bleibt. Er nimmt für den zweiten Streifen Anlagerung eines Moleküls und dadurch langsameren Lauf des strahlenden Teilchens an, STARK dagegen nimmt an, daß die beiden Dopplerstreifen solchen kinetischen Energien entsprechen, daß das Elementarquantum und das Doppelte davon in der Zeit einer Schwingung in Strahlung umgesetzt werden.

STARK hat früher die Ursache der Intensität der Strahlung im Lichtdruck gesucht, er schreibt jetzt dem Stoß der Kanalstrahlteilchen gegen materielle Teilchen oder vielmehr dem Durchgang durch ihre Wirkungssphäre die Hauptrolle zu. Die Dauer des „Stoßes“ hängt von der Geschwindigkeit und der Weglänge in der Wirkungssphäre,

je nachdem Rand oder Mitte durchlaufen wird, ab. Das an ein Atomion gebundene Elektron ist nun im Gegensatz zu dem freien nur zu gewissen, durch ein Seriengesetz bestimmten Schwingungen befähigt. Der Stoß wird also am wirksamsten sein, wenn seine Dauer gleich der (halben) Schwingungsdauer des Elektrons ist („Resonanzstoß“). (Dagegen laufen α -Strahlteilchen zu schnell, um einen wirksamen Stoß zu verursachen.) Die ruhende Intensität führt STARK auf den Stoß von Kathodenstrahlen zurück, der die Dissoziation des unbewegten Atoms besorgt. Die Strahlungserregung in einer Flamme unterscheidet sich von der hier auftretenden nur dadurch, daß die Stöße auf alle Richtungen gleichmäßig verteilt sind (ungeordneter Vorgang). Die an Entladungsröhren gewonnenen Erfahrungen lassen sich daher z. T. auf die Temperaturstrahlung anwenden und führen zu dem Schluß, daß in der Bunsenflamme die Strahlung der Alkalilinen durch den Stoß der freien Elektronen ausgelöst wird. Hiermit ist im Einklang, daß die Intensität einer Linie durch Einführung eines anderen, aber leichter dissoziierbaren Alkalis in die Flamme gesteigert wird.

Durch diese Schlüsse STARKS angeregt, hat G. A. SCHOTT gleichzeitig die Ionisation und die anomale Dispersion von Natriumdampf gemessen¹⁾ und kommt zu dem Schluß, daß an der Strahlung ionisierte Atome mindestens wesentlich beteiligt sind.

Der Doppler-Effekt ist auch in Quecksilber, Argon, Sauerstoff und Helium gefunden worden. Hier ist die Intensität der bewegten Linie viel geringer, und wenn man nicht sehr lange belichtet, oder wenn man durch einen zu mächtigen Spektralapparat den breiten verschobenen Streifen zu sehr ausbreitet und dadurch schwächt (die ruhende Linie bleibt scharf und deshalb ungeschwächt), so gelingen die Photogramme nicht²⁾. W. WIEN³⁾ wirft die Frage auf, ob die Temperatur und Entropie eines Lichtbündels auch dann durch Intensität und Farbe vollständig bestimmt ist, wenn die Strahlung nicht durch Wärme, sondern durch einen andern Vorgang, etwa elektrische Entladung, erregt ist. Sicherlich muß unterschieden werden zwischen der Temperatur der Strahlung (PLANCK, Theorie der Wärmestrahlung, § 62 und 93) und der der Strahlungs-

¹⁾ Nature 75, 271; 1907.

²⁾ Stark, Dorn, Phys. Zeitschr. 1907; Paschen, Ann. d. Phys. 1907.

³⁾ Ann. d. Phys. 23, 415.

¹⁾ Phys. Zeitschr. 8, 1907.

²⁾ Ann. d. Phys. 23, 261.

erregung. Letztere muß um so höher sein, als sich das leuchtende Gas auch nicht näherungsweise wie ein schwarzer Körper verhält. WIEN sucht deshalb die Strahlung unter solchen Umständen zu beobachten, daß sie ohne Neuerregung während der Beobachtung vor sich geht. Er findet diese Bedingungen einigermaßen verwirklicht in der verschobenen Intensität des Doppler-Effektes in Kanalstrahlen. Er vergleicht diese photometrisch mit einem heizbaren, einseitig offenen Eisenrohr, das als schwarzer Körper dient, vermittelt eines Platindrahtes, der im Beobachtungsfernrohr statt des Fadenkreuzes ausgespannt ist und mit spektral ausgesondertem Licht von einstellbarer Helligkeit beleuchtet wird. Die von den Kanalstrahlen transportierte Elektrizitätsmenge wurde mit einer verschiebbaren Vorrichtung gemessen. Die Dämpfung der Strahlung konnte nicht experimentell bestimmt werden und wurde aus der WIECHERTSchen Formel berechnet. Auf dieses Material wendet WIEN die PLANCKsche Theorie der Elementarquanten der Energie an, für welche er die Deutung gibt, sie seien die der Abspaltung eines Elektrons entsprechenden Energiemengen. Er berechnet die dem Leuchtprozeß bei der untersuchten Linie entsprechende Temperatur, ferner aus dem Absorptionsindex der Kanalstrahlen im Gase den Wirkungsradius der einzelnen Atome. Diesen findet er merklich abhängig

von Gasdichte und Geschwindigkeit, aber weit kleiner, als ihn die kinetische Gastheorie ergibt. Bei dieser Ableitung sind jedoch hypothetisch: die Anwendbarkeit der PLANCKschen Theorie und der WIECHERTSchen Formel auf diesen Fall, die Definierbarkeit von Temperatur und Entropie für diese Linie und die Meßbarkeit der Ionenzahl mit Hilfe des Kanalstrahlstromes.

Auf die wiederholt erwähnten Elementarquanten der Energie wird J. J. THOMSON durch Betrachtungen¹⁾ über die Elektronenemission geführt, die sich bei Bestrahlung von Metallen einstellt. Nach LENARD ist die Geschwindigkeit der ausgesandten Teilchen unabhängig von der Intensität, nach LADENBURG abhängig von der Farbe des Lichtes. THOMSON findet diese Befunde nur erklärlich durch die Annahme, daß die Energie der Strahlung in Elementarquanten abgegeben wird, deren jedes bei der Ausbreitung der Strahlen beisammen bleibt und für jede Farbe eine bestimmte Größe hat. Es ist das eine Folgerung, sehr ähnlich derjenigen, die PLANCK 1901 aus der Betrachtung der Wahrscheinlichkeit bestimmter unter allen möglichen Energieverteilungen bei der Strahlung gezogen hat, denn er findet, daß der Umsatz der Schwingungsenergie eines Resonators in Strahlung nach ganzzahligen Vielfachen einer für jede Schwingungsdauer besonderen Energiemenge geschieht.

W. Vn.

3. Geschichte und Erkenntnislehre.

Otto von Guericke's Luftpumpe. Von der Guericke'schen Luftpumpe, die sich zuletzt im Physikalischen Institut der Universität Berlin befand und nunmehr an das Deutsche Museum in München abgegeben wird, war bisher nur bekannt, daß die erste Nachricht über sie sich in einem Briefe des Bibliothekars Maturin Veysiére La Croze vom 1. Juli 1715 findet. Nunmehr aber hat E. JACOBS, Bibliothekar bei der Kgl. Bibliothek zu Berlin, festgestellt, daß die Pumpe sich bereits 1668 in der Kurfürstlichen Bibliothek zu Berlin befunden hat. Seit dem Jahre 1661 war diese Bibliothek in einem geräumigen Saal des im Lustgarten gelegenen Seitengebäudes des Kurfürstlichen Schlosses über der Hofapotheke untergebracht. In einem Zimmer neben diesem Saal erhielten die Handschriften nebst einigen Raritäten und Kuriositäten ihren Platz. Unter den letzteren finden sich in einem handschriftlichen, in der Kgl. Bibliothek noch vorhandenen Katalog vom Jahre 1668, den der

Bibliothekar Christian Raue verfaßt hat, auch aufgezählt: *Otonis a Gericken Co(n)s(ulis) Magdeb(urgensis) Duo Hemisphaeria cuprea conjungenda. ad extrahendum aërem.* Dazu bemerkt der Bibliothekar Hendreich (1680) am Rande: „ist bei der Bibliothec geblieben“.

E. JACOBS ist der Meinung, obwohl nur die beiden Halbkugeln erwähnt seien, die Pumpe selbst aber nicht, so dürfe daraus doch kein Schluß auf das Fehlen dieser letzteren gezogen werden. Raue habe, abgesehen davon, daß er notorisch oberflächlich gearbeitet habe, wohl schwerlich eine Ahnung gehabt, wie er die andere Teile benennen sollte, und habe sie denn einfach fortgelassen. Auch Hendreich's Schweigen über die Luftpumpe (in seiner 1687 erschienenen Notitia von der Königlichen Bibliothek) könne nicht verwundern; er habe entweder keine Vorstellung von der Wichtigkeit des Instruments

¹⁾ Proc. Cambr. Soc. 14, 1907.

gehabt oder habe, was wahrscheinlicher sei, dieses einzige zurückbehaltene Stück absichtlich nicht erwähnt. [Er erwähnt auch die beiden Halbkugeln nicht.]

Ist es nach dieser Darlegung auch nicht absolut gewiß, so spricht doch die allergrößte Wahrscheinlichkeit dafür, daß die Pumpe sich 1668 bereits in Berlin befand. Vermutlich ist dieses Exemplar bald nach den 1662 von Guericke vorgenommenen Verbesserungen nach Berlin gekommen. Ein Beweis mehr, mit welcher Teilnahme der Große Kurfürst

die Arbeiten Guericke verfolgte. Es erscheint auch nicht ausgeschlossen, daß die Existenz dieses Exemplars der Luftpumpe in Berlin vor 1668 mit der Bestätigungsurkunde vom 6. Oktober 1666 in Zusammenhang steht, worin der Große Kurfürst dem Magdeburger Bürgermeister den ihm 1649 vom Magistrat zu Magdeburg erteilten Immunitätsbrief bestätigt. Vielleicht sollte diese Bestätigung eine Belohnung für die Überweisung jenes Exemplars der Luftpumpe darstellen. (*Verh. d. d. Physik. Ges.* 1908, Nr. 13.) P.

5. Technik und mechanische Praxis.

Die Farbenphotographie, ihre Entwicklung und gegenwärtige Ausbildung. (Fortsetzung.) Die bisher beschriebenen Methoden der Farbenphotographie beruhen sämtlich auf dem Mehrfarbenprinzip und damit auf physiologischer Grundlage; ihre Resultate sind zwar anerkennenswert, aber nicht vollkommen, und auch die Einfachheit läßt zu wünschen übrig. Es ergibt sich die Frage, ob es nicht möglich sein sollte, die Farben direkt festzuhalten bzw. nachzubilden auf an sich völlig farblosen bzw. farbstofffreien Platten. Die Hypothese von den Grundfarben ist, wie gesagt, alt und ohne Zusammenhang mit der Photographie in unserem Sinne aufgestellt; der letzteren Erfinder ist, wenn auch durch DAGUERRE die eigentliche heute noch nicht zum Stillstand gekommene Entwicklung veranlaßt wurde, JOHANN HEINRICH SCHULZE in Halle (1687–1744), welcher die Lichtempfindlichkeit der Silbersalze entdeckte und nachwies, daß mit deren Hilfe mittelst des Lichtes Bilder und Schriftzüge zu erzeugen seien (1727¹). Wird auch SCHULZE in der Folgezeit kaum genannt, so sind doch offenbar seine Beobachtungen bekannt gewesen, und auf ihnen baut sich die weitere Entwicklung auf, deren Hauptdaten hier nicht zu umgehen sind; 1751 fand und untersuchte BECCARIUS die Lichtempfindlichkeit des AgCl; 1777 erforschte SCHEELE die Photochemie des AgCl und wies die Schwärzung im Lichte als durch Ausscheidung metallischen Silbers verursacht nach; 1782 beobachtete SENEBIER-Genf die verschiedenartige Wirkung der verschiedenen Spektralfarben auf AgCl, und 1810 stellte SEEBECK-Jena zum ersten Male deutlich fest, daß Spektralfarben auf Chlorsilberpapier ihnen ähnliche Nuancen

erzeugen. Man war jedoch allgemein so fest von der Unmöglichkeit einer „Photographie in natürlichen Farben“ überzeugt, daß SEEBECKS wie auch noch JOHN HERSCHELS völlig übereinstimmende Beobachtungen 1840 keine Beachtung fanden. Letzteres trat erst ein als AL. EDM. BECQUEREL 1847, 48 und 55 und NIEPCE DE SAINT VICTOR 1851–55 bei ihren photochemischen Untersuchungen z. T. wundervolle Farbenphotogramme auf Daguerrotypplatten erhalten hatten; daraufhin wurden auch die Versuche mit Papierbildern wieder aufgenommen, namentlich von POITEVIN. Die Tatsache, daß direkt auf lichtempfindlichen Schichten ohne weiteres Zutun farbige Bilder: „Photochromien“, zu erzeugen seien, war nicht mehr anzuzweifeln; darüber, wie diese zustandekämen, versuchte zuerst WILH. ZENKER 1868 in seinem „Lehrbuch der Photochromie“ Auskunft zu geben, indem er behauptete: in der empfindlichen Schicht entstünden durch Reflexion stehende Lichtwellen, und diese verursachten Schwärzungen an den Stellen maximaler Ätherbewegung, in den Schwingungsbäuchen, es würden also in der lichtempfindlichen Schicht dünne durchsichtige Silberblättchen parallel zur Oberfläche gebildet, die sog. ZENKERSCHEN Blättchen, welche von auffallendem weißen Lichte nur die ihrem Abstände entsprechenden Wellenlängen übrig ließen; diese Erklärung wurde auch anderweit angenommen, der Beweis solcher stehender Lichtwellen gelang aber erst O. WIENER 1889, und dieser gab auch 1895 eine genauere Erklärung über das Zustandekommen von Farben bei den nach verschiedenen Verfahren erhaltenen Photochromien.

WIENER zufolge kommen direkte Photochromien auf verschiedene Weise zustande, nämlich außer durch Bildung ZENKERSCHER Blättchen noch durch Körperfarben, be-

¹) J. M. Eder, Geschichte der Photographie, 3. Aufl., Halle, W. Knapp, 1905, 50–53.

züglich deren nach ihm folgendes gilt. Eine Substanz kann nur durch Energieaufwand verändert werden, d. h. die chemische Beschaffenheit eines Körpers durch das Licht nur dann, wenn dieses absorbiert wird; demnach wird ein an sich roter Körper durch auffallendes rotes Licht nicht verändert werden, ein blauer nicht durch blaues, ein gelber nicht durch gelbes Licht. Wenn also ein Stoff die Fähigkeit besitzt, unter dem Einflusse des Lichtes verschiedene Färbungen anzunehmen, so wird er stets sich so lange ändern, bis seine Farbe gleich der des auffallenden Lichtes geworden ist. Auf diese Weise entstehen die bunten Papierbilder nach SEEBECK, J. HERSCHEL, POITEVIN (s. o.). POITEVINS Verfahren ist folgendes: geeignetes Papier wird durch Behandeln mit NaCl und darauf mit AgNO₃-Lösung mit AgCl getränkt, nach dem Abwaschen des überschüssigen Nitrates in sehr verdünnte SnCl₂-Lösung gebracht und darin 5÷6 Min. dem Tageslichte ausgesetzt, darauf zur Erhöhung der Empfindlichkeit des so erzeugten violetten Silbersubchlorides mit einer Mischung von K₂Cr₂O₇ + CuSO₄ (Lösung) behandelt. Das Papier ist im Dunkeln zu trocknen, und die erhaltenen Bilder können mit H₂SO₄ fixiert werden. Ähnliche Verfahren wurden auch von verschiedenen anderen Forschern gefunden: man fand so schließlich für alle Celloidin- und Aristopapiere (Chlorsilber-, Kollodium- und -Gelatinepapiere), daß sie, durch Belichtung schiefergrau angelauten Farben aufgelegter Gläser richtig wiedergeben.

Dasselbe chemische Prinzip kann nun noch in einer anderen Weise verwertet werden. Denken wir uns einen Farbstoff, der nicht lichtbeständig ist, sondern mit der Zeit ausbleicht, so wird er nach dem Gesagten dies nur tun, wenn das auffallende Licht eine von der seinen abweichende Farbe besitzt, da nur solche von ihm absorbiert werden kann, ein roter Farbstoff dieser Art wird also z. B. durch Blau und Grün seine Farbe verlieren. Nachdem bereits 1813 A. VOGEL einige bezügliche Beobachtungen an organischen Farbstoffen gemacht hatte, fand J. HERSCHEL 1842, daß in der Regel die stärkste ausbleichende Wirkung dem zu der Eigenfarbe des betr. Stoffes komplementärfarbigem Lichte zukommt. Diese lange vergessene Tatsache fand durch WIENER ihre volle Erklärung (s. o.), und hierdurch angeregt, stellte VALLOT 1895 zum ersten Male Photochromien mittels Ausbleichverfahrens

her. Das dabei in Anwendung kommende Prinzip entspricht vollkommen dem des Dreifarbindruckes, indem nämlich, wie schon R. ED. LIESEGANG 1889 empfohlen, lichtunechte gelbe, rote und blaue Farbstoffe miteinander gemischt auf Papier aufgetragen werden, z. B. Anilinpurpur—Curcuma—Viktoriablau (VALLOT). Neben WOREL-Graz (1901) beschäftigte sich namentlich Dr. NEUHAUSZ-Berlin (1902) mit dem Gegenstande, welche letzterer nach eingehender Untersuchung von 30 Farbstoffen als besonders empfehlenswert folgende Zusammenstellungen angab:

Erythrosin + Uranin + Methyleneblau. —
Rose bengale + Thiazolgelb + Methyleneblau
(oder Kristallviolett). — Eosin + Uranin +
Methyleneblau.

NEUHAUSZ fand, daß die hinsichtlich Grün und Blau schlechte Farbenwiedergabe wesentlich verbessert wird durch Vorbaden des Papiers in alkoholischer Chlorophylllösung mit anschließendem Trocknen.

Auf die angegebene Weise ließen sich nun Photochromien nur bei längerer Belichtung — 1÷2 Stunden in direkter Sonne bei Kopieren — erzielen, es handelte sich nunmehr noch um Erhöhung der Lichtempfindlichkeit. Wie LIESEGANG, WOREL und NEUHAUSZ fanden, kann dies durch sauerstoffabgebende d. h. oxydierende Substanzen geschehen, denn das Ausbleichen ist ja nichts als ein Oxydationsvorgang. So verwendete NEUHAUSZ H₂O₂, und zwar, da er ferner fand, daß das Bleichen gewisser Farbstoffe besonders beschleunigt in Gelatine erfolgt, mit dieser gemischt, wozu dann weiter gleich die Farbstoffe in konzentrierter Lösung zugegeben wurden, z. B.:

Erythrosin + Uranin + Methyleneblau
+ Chlorophyll.

Diese Mischung wird dann auf Milchglasplatten aufgetragen und bei gelinder Wärme getrocknet; ein Kollodiumüberzug dient dann noch zur Erzielung einer guten Wiedergabe des Blau. Man erreicht so die Empfindlichkeit des Albuminpapiers; 5 Minuten Kopieren in der Sonne liefert asexponierte Farben; diese hohe Empfindlichkeit besteht jedoch nur, wenn die Aufnahmeplatte während der Belichtung mit Glas bedeckt ist; dann nämlich kann der freiwerdende Sauerstoff nicht entweichen und wird wirksam.

Was die Dauerhaftigkeit solcher Bilder anlangt, so lassen solche der zuletzt beschriebenen Art sich wie ersichtlich „halb“ schon durch Fortnahme der bedeckenden

Glasplatte fixieren, wesentlich vollständiger durch Baden und Auswaschen des fertigen Bildes mit Kupfersalzlösung, wodurch allerdings leicht eine „Grünstichigkeit“ verursacht wird.

Die Oxydation im Lichte läßt sich noch in anderer Weise bei einem dritten Verfahren verwenden. Wenn man nämlich Rhodamin, einen roten Farbstoff, in Wasser mit Zinkstaub und Essigsäure reduziert, so entsteht ein farbloser Körper, die sog. „Leukobase“ des Rhodamins, welche, mit Äther ausgeschüttelt und mittels eines Bindemittels, z. B. Kollodium, auf Papier aufgetragen, im Lichte unter Sauerstoffaufnahme wieder rot wird. Diese Eigenschaft solcher Leukobasen wurde 1901 von O. GROS in Leipzig entdeckt, und nach sehr eingehenden Studien darüber gelangte E. KÖNIG 1904 zu einem darauf beruhenden Kopierverfahren unter Benutzung des Dreifarbenprinzips, der sog. Pinakotypie.

Von den vorbeschriebenen Methoden der direkten Photochromie entspricht noch keine den Forderungen allgemeiner praktischer Verwendbarkeit, auch das noch am besten durchgearbeitete Ausbleichverfahren nicht. Daß an letzteres eine vollkommene Lösung des Problems anknüpfen könnte, ist leicht einzusehen, denn dieses Verfahren betrifft ja die Vervielfältigung farbiger Aufnahmen, die auf irgend eine Weise hergestellt sind. Ein absolut brauchbares Ausbleichverfahren, auf LUMIÈRE - Autochromplattenaufnahmen¹⁾ angewendet, würde schon eine, wenn auch noch verbesserungsfähige vollständige Lösung darstellen. Ausführen läßt sich das allerdings schon jetzt, aber der Erfolg ist eben unbefriedigend, aus Gründen, die in der Unvollkommenheit sowohl des Aufnahmewie des Kopierprozesses bestehen und aus dem Gesagten zur Genüge erhellen. Erwähnt mag noch werden, daß WOREL nach seinem Verfahren (s. o.) auch Kameraaufnahmen gemacht und gezeigt hat (1901).

Bei den bisher besprochenen direkten Verfahren ist nun von Bildung ZENKERScher Blättchen nicht die Rede, die Farben entstehen ganz anders; aber es lagen, als ZENKER seine Theorie aufstellte, außer den schon erwähnten Beobachtungen an Papierbildern noch andere vor, nämlich die von BECQUEREL und NIEPCE DE SAINT VICTOR, die mit Daguerrotypplatten arbeiteten. Auch bei diesen bildet sich beim Präparieren eine Schicht chlorürhaltigen Silberchlorides, da-

neben sind aber metallische reflektierende Schichten vorhanden, so daß wir ein Zusammenwirken stehender Wellen mit Körperfarben vor uns haben, wie dies von O. WIENER 1895 nachgewiesen ist. Vielleicht beruht gerade auf diesem Zusammenwirken die hervorragende Schönheit, welche derartige Photochromien zeigen, von denen einige von NIEPCE DE SAINT VICTOR hergestellte noch heute in unverändertem Farbenglanze erhalten sind¹⁾. Um solche zu erhalten, wurde das Silber, das nicht bis 10% Cu enthalten darf, chloriert, z. B. durch Eintauchen in Chlorkalklösung, dann zur Erhöhung der Empfindlichkeit vor der Exposition noch mit einer gesättigten Lösung von Chlorblei in Dextrinlösung überzogen; auch hier also ist die Bildung der Silber-Chlor-Verbindung und somit das Entstehen von Körperfarben die Hauptsache. Fixierbar sind auch diese Bilder nicht, wohl aber halten sie sich, vor Licht geschützt, unverändert.

Nachdem also ZENKER eine Theorie der Farbenphotographie gegeben, welche zwar physikalisch richtig war, aber auf die damals bekannten Verfahren nicht paßte, blieb nichts übrig, als nach neuen, ausschließlich auf der ZENKERSchen Theorie beruhenden Verfahren zu suchen, also, da stehende Lichtwellen durch Interferenz der ankommenden mit den zurückgeworfenen Schwingungen zustande kommen, die Photochromie nach der Interferenzmethode auszubilden. In hervorragender Weise gelang dies GABR. LIEFMANN, Prof. a. d. Sorbonne i. Paris, 1891; sein Verfahren besteht darin, daß er Platten mit „kornloser“, d. h. aus möglichst feinen, aber dicht gelagerten Teilchen bestehender Schicht während der Aufnahme auf der Rückseite mit einer spiegelnden Hg-Schicht versieht. Ist das auffallende Licht monochromatisch, so bilden sich parallel zur Plattenebene Zonen, Schichten aus, in denen abwechselnd der Energieinhalt des Äthers Null bzw. ein der Intensität des Lichtes entsprechendes Maximum ist; nur in den letzteren ist eine chemische Wirkung möglich, nur in diesen, den Schwingungsbäuchen, tritt also eine Schwärzung, d. i. die Bildung ZENKERScher Blättchen von metallischem Silber, ein, deren Abstand somit $= \lambda/2$ ist. Bei nicht monochromatischem gemischtem Licht treten ebenso Schwärzungen den verschiedenen starken Maximis der resultierenden Schwingungskurven entsprechend

¹⁾ Vgl. ds. Zeitschr. 21, 273÷274. 1908.

¹⁾ J. M. Eder, Geschichte der Photographie, 3. Aufl., Halle, W. Knapp, 1905, Tafel XII.

ein¹⁾, und zwar nunmehr auch verschieden stark; mikroskopische Ausmessungen feiner Vertikalschnitte durch solche Platten bei $7100 \div 10500$ facher Vergrößerung²⁾ haben eine volle Übereinstimmung des Befundes mit der berechneten jeweiligen resultierenden Schwingungskurve ergeben. Wenn nun jetzt Licht auf eine solche — fertig entwickelte — Platte auffällt, so reflektieren sämtliche Metallschichten; aber nur dasjenige Licht, für welches $\lambda = 2d$ ($d =$ Abstand zweier Schichten) ist, vermag ungehindert auszutreten, alles übrige wird durch Interferenz vernichtet, die Platte erscheint also im reflektierten Licht in der Farbe des Lichtes, das sie bei der Aufnahme getroffen. Im durchgelassenen Lichte muß diese Lichtart aber fehlen! Das läßt sich sehr schön durch folgenden Versuch zeigen; man erzeugt — objektiv oder subjektiv — ein gutes kontinuierliches Spektrum mittelst weißen Lichtes und bewegt nun das

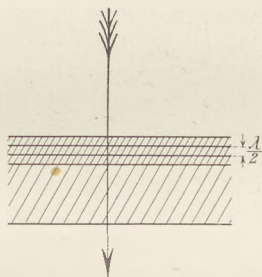


Fig. 6 a.

Photogramm eines gleichen kontinuierlichen Spektrums mit dem roten Ende voran langsam am Spalt vorbei; dann erscheint zuerst im Roteinschwarzer, scharfer Absorptionsstreifen, welcher allmählich nach Blau und Violett vorrückt³⁾. Dasselbe Wandern des Absorptionsstreifens erhält man nun aber auch, wenn man das Photogramm vor dem Spalte dreht, derart, daß das einfallende Licht es immer schräger durchsetzt; dies kommt daher, daß mit wachsendem Einfallswinkel in der Strahlrichtung die Schnittpunkte mit den ZENKERschen Blättchen immer weiter auseinanderücken (Vgl. Fig. 6a und 6b), also d größer wird, demnach auch das λ , für welches Phasengleichheit besteht, so daß mit steigendem Winkel aus dem durchgelassenen Licht immer

größerer Wellenlänge durch Reflexion ausgeschieden wird. Für die Draufsicht (und nur in solcher ist ja diese Art Bilder zu betrachten) hat dies einen eigentümlichen Effekt zur Folge: jeschiefer man ein Bild, z. B. ein Porträt, ansieht, um so falscher werden die Farben, es vermag so z. B. zu erröten, ebenso auch, wenn man durch Behauchen ein Aufquellen und damit ebenfalls eine Vergrößerung von d veranlaßt¹⁾. Diese Bilder sind nun auch fixierbar, also haltbar zu machen, nur ist das Kopieren auf Grund der vorerwähnten besonderen Eigenschaft, daß in der Durchsicht das Bild komplementärfarbig erscheint, also z. B. blauer Himmel gelblich, grüne Wiesen rot, leider völlig ausgeschlossen.

Was nun im besonderen die Herstellung LIPPMANNScher Photochromien anbelangt, so ist diese bei Anwendung neuerdings von der Firma ZEISS-Jena konstruierter Apparate nicht besonders umständlich. Es muß

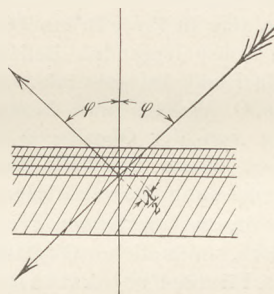


Fig. 6 b.

bei der Aufnahme sich unmittelbar hinter der Plattenschicht eine total reflektierende Fläche befinden, wozu sich trotz mannigfacher Versuche bisher Quecksilber allein geeignet erwiesen hat; allerdings bietet dieses gegenüber auf der Platte selbst angebrachten Schichten den Vorteil, daß der Reflektor nicht erst besonders entfernt zu werden braucht, erfordert aber andererseits besondere Quecksilberkassetten. Diese sind so eingerichtet, daß die Platte mit rückwärts — vom Objektiv ab — gekehrter Schicht von hinten eingelegt und dann durch Einlegen eines Gummiraumens sowie eines Deckels und Zusammenpressen des Ganzen mittelst einer Schraube ein Hohlraum gebildet wird, in welchem aus einem kleinen beliebig anhängbaren zylindrischen Reservoir durch im Deckel vor-

¹⁾ Vgl. den ausführl. Bericht dieser Zeitschr. 21, 194 ÷ 197.

²⁾ Vgl. a. a. O. S. 196, Fig. 2 und 4.

³⁾ H. Starke, Verhandl. der Deutschen physikal. Gesellschaft 4, 377 ÷ 378, 1902.

¹⁾ Vgl. O. Lummer in Müller-Pouillet, Physik (9. Aufl.), 2 I, 398 (Entgegenges. Angabe, d. Farbenänderg. betr., s. bei Starke a. a. O. sowie H. W. Vogel, Verh. phys. Ges. Berlin 16, 176, 1897).

gesehene Kanäle das Quecksilber ein- bzw. aus ihm in das tiefer gehaltene Gefäß zurückfließen kann. Als Platten können sehr feinkörnige Bromsilbergelatineplatten benutzt werden — Korngröße nach NEUHAUSS $0,0001 \div 0,0003$ mm — welche bei Landschaftsaufnahmen etwa $1 \div 2$ Min. Expositionszeit erfordern, oder auch neue Spezialplatten¹⁾, bei denen $15 \div 20$ Sek. genügen. Diese Kassette paßt an jede Kamera, erleichtert also, weil sie ein bequemes und sauberes Arbeiten ermöglicht, diese Art Farbenphotographie ungemein. Die weitere Behandlung der exponierten Platten bietet keine Besonderheiten.

Was die Wiedergabe solcher Bilder anbelangt, so kann es sich, da eine Vervielfältigung ausgeschlossen, nur darum handeln, wie man sie am besten zeigt, was subjektiv oder objektiv geschehen kann. Ersterem Zwecke dient ein Betrachtungsapparat; eine große plankonvexe Linse sendet einmal das von einem in ihrer Brennebene nahe der optischen Achse liegenden Reflektionsprisma kommende Licht in parallelen Strahlen auf das nach O. WIENER zur Beseitigung von störendem von der Oberfläche kommendem Lichte mit einem Glaskeile bedeckte Bild und sammelt dann das von diesem reflektierte Licht in die neben jenem Prisma, zu ihm symmetrisch, befindliche Okularöffnung des Apparates. Für die Projektion dient ebenfalls eine besondere Einrichtung des Zeißwerkes, derart, daß durch ein Kondensorsystem, dessen optische Achse mit der des Projektionsobjektes einen spitzen Winkel bildet, gerade im Schnittpunkt der Achsen ein Bild des Kraters der Projektionslampe entworfen wird; dieses jedoch wird nicht reell, indem auf halbem Wege, und zwar senkrecht zur Achse des Projektionsobjektes, das zu projizierende Bild eingeschaltet wird. Der Projektionsschirm steht dann ebenfalls seitlich, die Projektionsachse schneidet seine Verlängerung senkrecht; dies kann, wie hier bemerkt sei, bei Demonstrationen von Nutzen sein, da man dadurch in der Lage ist, einen Schirm für Projektionen

¹⁾ H. Lehmann, Verh. d. Dtsch. phys. Ges. 9, 624 ÷ 638, 1907; vgl. auch diese Zeitschr. 21, 194 ÷ 196, 1908.

solcher Photochromien wie auch von Dreifarbenbildern nach MAXWELL-IVES-MIETHE bzw. LUMIÈRE-Bildern zu benutzen und dabei keinerlei Verschiebungen vorzunehmen braucht, sondern die verschiedenen Apparate von vornherein nebeneinander aufstellen und einjustieren kann.

Die vorstehend gegebene Übersicht läßt erkennen, daß eine in physikalischem Sinne korrekte Lösung des Problems nicht gleichbedeutend mit einer absoluten Lösung ist. So ist das LIPPMANN-Verfahren physikalisch wohl begründet, es genügt aber nicht, nun Platten mit einer so feinkörnigen Schicht zu verwenden, daß die Korngröße nach dem Entwickeln noch in passendem Verhältnis zur halben Wellenlänge des kurzwelligsten noch wirksamen Lichtes steht, sondern man muß auch noch sensibilisieren, und das in Rücksicht auf die besondere Art der Farbenentstehung wieder in besonderer Weise¹⁾. Damit erhält man aber erst Originale, und eine wirkliche, d. h. absolute Lösung wäre erst dann gegeben, wenn man diese Originale beliebig kopieren könnte. Kopieren kann man dagegen die LUMIÈRE-Bilder, aber bei diesen sind einmal die Farben von vornherein ungenau und weiter die Kopien nicht absolut fixierbar, und während die Fixierung bei den LIPPMANN-Bildern unbedingt möglich ist, sind LUMIÈRE-Bilder zwar in der Schicht fixierbar, aber es läßt sich nicht für Unveränderlichkeit der Farbkörnenschicht bürgen. Vollkommen gelöst wäre das Problem dann, wenn man ebenso bequem wie LIPPMANNsche Interferenzphotochromien kopierbare richtigfarbige Transparentphotochromien erhalten könnte, und wenn sich diese, in Durch- wie Aufsicht gleich erscheinend, auf gleichartige Schichten, sei es auf Glas, sei es auf Papier, kopieren ließen.

Sind wir also auch gegenwärtig durchaus in der Lage, auf photographischem Wege Bilder in „natürlichen“ Farben herzustellen, so ist doch trotz der vielfach überraschend schönen Ergebnisse eigentlich kaum mehr als ein vielversprechender Anfang auf diesem Gebiete gemacht.

Biegoun von Czudnochowski.

¹⁾ Vgl. diese Zeitschr. 21, 194 ÷ 196.

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Die Vorstellung vom Weltgebäude im Wandel der Zeiten. Das Wunder der Welten, neue Folge. Von Svante Arrhenius. Aus dem Schwedischen übersetzt von L. Bamberger. Mit 28 Abbildungen. Leipzig, Akadem. Verlagsgesellschaft, 1908. 191 S.

Die Schrift soll eine Ergänzung zu dem hochbedeutenden Buche desselben Verfassers über das Wunder der Welten bilden (vgl. ds. Zeitschr. 20, 337). Sie bietet in ihrem größeren Teil eine Darstellung zumeist bekannter historischer Tatsachen, von den Sagen der Naturvölker über die Entstehung der Welt bis zu den großartigen kosmischen Vorstellungen von Kopernikus, Kepler, Newton, Kant. Dieser Teil ist mit frischem, mehr auf gesundem Menschenverstand als auf eingehenden kritischen Studien fußenden Urteil geschrieben, und wenn auch hier und da, z. B. in der Würdigung Platons, fehlgreifend, doch durchweg interessant und anregend. Ein weiterer Abschnitt enthält eine Kritik der Weltbildungshypothesen von Buffon, Laplace und Kant, wobei indessen der Verfasser die Hypothese Kants etwas zu geringerschätzig beurteilt, von der er sagt, daß sie kaum einen Vergleich mit der Buffonschen aushalte. Die letztere setzt zur Erklärung der Planetenbildung den Zusammenstoß der Sonne mit einem Kometen voraus, während Kant den philosophisch tieferen Gedanken einer Evolution ohne Einwirkung von außen, allerdings mit unzureichenden physikalischen Einzelhypothesen verknüpft, zum Ausgangspunkt nimmt. In den letzten beiden Abschnitten wird die Einführung des Energiebegriffs in die Kosmogonie und der Unendlichkeitsbegriff in der Kosmogonie behandelt. Hier vertritt der Verfasser von neuem die Erklärung des Lebens auf der Erde aus der Hypothese von der Ausbreitung der Keime (Panspermie) durch den Weltraum hindurch. Die Bedeutung der Explosivstoffe und der radioaktiven Körper für die Erhaltung der Sonnenwärme und der Erdwärme wird eingehend erörtert und dadurch das vielbehandelte Problem seiner Lösung zweifellos nähergeführt. P.

Das Weltproblem von positivistischem Standpunkte aus. Von J. Petzoldt. (Aus Natur und Geisteswelt Bd. 133.) Leipzig, B. G. Teubner, 1906. 152 S. Geb. M 1,25.

Das Ernst Mach „in Dankbarkeit und Treue“ gewidmete Büchlein gibt eine klare

und lesenswerte Darstellung der neueren positivistischen oder besser relativistischen Auffassung der philosophischen Probleme. Insbesondere ist die den Hauptteil des Buches bildende Geschichte und Kritik des Substanzbegriffs von diesem Standpunkte aus überaus interessant und lehrreich. Die Kantische Philosophie wird im wesentlichen abgelehnt und nur zwei fortschrittliche Momente an ihr anerkannt: einmal die Einsicht, daß das wahrnehmende Subjekt das Objekt im Akt des Wahrnehmens unmittelbar ergreift; dann die Erkenntnis, daß die erscheinenden Gegenstände vom einzelnen Akt des Wahrnehmens und überhaupt vom einzelnen wahrnehmenden Individuum unabhängig sind. Was im übrigen die Hauptprobleme des Denkens betrifft, so gesteht der Verfasser zu, daß sie auch vom Positivismus noch nicht gelöst sind; daß man aber von einem Weltproblem spricht, sieht er als eine falsche Fragestellung an. P.

Leben und Materie. Häckels Welträtsel, kritisiert von Sir Oliver Lodge. Berlin, Karl Curtius, 1908. 150 S. M 2,40.

Der Wert dieses kleinen, aber sehr lesenswerten Buches liegt weniger in der Kritik der physikalischen Grundlagen des Häckelschen Monismus — die bereits Chwolson in mustergültiger Weise geleistet hat — als vielmehr und hauptsächlich in der Darstellung der Auffassung von dem Verhältnis der belebten zur unbelebten Natur, die sich einer der hervorragendsten Physiker Englands gebildet hat, und die von zahlreichen dortigen Physikern geteilt wird. Lodge tritt der Meinung entgegen, daß das „Leben“ selber eine von den Formen der Energie der Materie sei, Leben bestehe vielmehr in einer besonderen Form der Lenkung oder Leitung der Energie, ohne daß dabei der Verbrauch von Energie erforderlich sei. Seine Auffassung berührt sich daher mit der neuerdings von Reinke aufgestellten Dominantenlehre. Wie diese Auffassung mit den Grundlehren der Physik in Einklang gesetzt wird, möge man in dem Buche selbst nachlesen. Es zeigt sich hier von neuem, daß die Physik dazu berufen ist, entscheidende Aufklärungen auch über das Verhältnis des Lebendigen zum Leblosen zu geben. P.

Die Gase der Atmosphäre und die Geschichte ihrer Entstehung. Von Sir William Ramsay. 3. Auflage. Ins Deutsche übertragen von

Dr. Max Huth. Mit 6 Abbildungen. Halle a. S., Wilhelm Knapp, 1907. 160 S. M 5,—.

Nach einer eingehenden Darstellung der „Geschichte der Luft“ von Boyle bis auf Lavoisier und Cavendish behandelt der berühmte Verfasser die neueren Entdeckungen, an denen er selbst einen wesentlichen Anteil hat, hauptsächlich die des Argons, dann die der anderen inaktiven Gase und schließlich der Emanationen. Es werden die Schwierigkeiten auseinandergesetzt, wie auch die Überlegungen, deren es bedurfte, ihrer Herr zu werden, der Leser erlebt gleichsam an der Hand der spannend geschriebenen Darstellung die Entdeckungen von neuem und wird unmittelbar in die Methode des Forschens und Entdeckens eingeführt. Das Buch ist gerade in dieser Hinsicht außerordentlich wertvoll und lehrreich und sollte in der Handbibliothek keines Lehrers der Naturwissenschaften fehlen. P.

Die Entwicklung der Dampfmaschine. Eine Geschichte der ortsfesten Dampfmaschine und der Lokomobile, der Schiffsmaschine und Lokomotive. Im Auftrage des Vereins Deutscher Ingenieure bearbeitet von Conrad Matschoß. I. Band mit 780 Textfiguren und 32 Bildnissen, XV und 834 S. II. Band mit 1073 Textfiguren und 6 Bildnissen, 732 S. Berlin, Julius Springer, 1908. In Leinw. geb. M 51,—.

Der Verein Deutscher Ingenieure hat sich ein ungemein großes Verdienst um die Geschichte der Technik und der Naturwissenschaft im allgemeinen dadurch erworben, daß er Herrn C. Matschoß im Jahre 1902 mit der Abfassung dieses Werkes beauftragte, nachdem 1901 dessen kürzere, mehr populär gehaltene Geschichte der Dampfmaschine erschienen war. In dem jetzt vorliegenden Werk ist ein ungeheures neues Material an Urkunden und Zeichnungen aus den verschiedenen Perioden des Dampfmaschinenbaus bewältigt, dessen Beschaffung nur durch Mithilfe der Behörden und weitester Kreise der Technik möglich war. Gleichwohl ist nur auf das, was wirklich ausgeführt ist, Bezug genommen, bloße Erfindungsgedanken und Projekte sind beiseite gelassen. Der I. Band enthält einen einleitenden Abschnitt (S. 1—277) über die Dampfmaschine im Rahmen der Wirtschafts- und Kulturgeschichte und behandelt dann die technische Entwicklung der Dampfmaschine bis 1860. Der II. Band ist den Vervollkommnungen der Dampfmaschine seit 1860 gewidmet, am Schlusse ist noch eine Übersicht über die Entwicklung der Dampf-

maschinenteile gegeben sowie ein Abriss der Entwicklung der technischen Wissenschaften, die sich in engem Zusammenhang mit den praktischen Fortschritten vollzogen hat. 38 Bildnisse hervorragender Techniker schmücken das schön ausgestattete Werk. P.

Gaskugeln, Anwendungen der mechanischen Wärmetheorie auf kosmologische und meteorologische Probleme. Von R. Emden. Leipzig 1907. Geb. M 13,—.

Dieses Buch gehört zu jenen Werken, die infolge ihrer gedrängten Darstellungsweise und ihres reichen Inhaltes ein eingehendes Studium erfordern, dieses dann aber auch in reichstem Maße lohnen. Es ist aus Vorlesungen über Anwendungen der Thermodynamik auf meteorologische und kosmologische Probleme entstanden, die der Verfasser an der Technischen Hochschule in München gehalten hat. In der Physik sowohl wie in der theoretischen Meteorologie ist man oft gezwungen, zur Bewältigung vorliegender Probleme indirekte Wege einzuschlagen; es werden zunächst einfache und der theoretischen Behandlung deshalb zugängliche Fälle eingehend untersucht, ganz ohne Rücksicht darauf, ob sie irgendwo realisiert sind, um dann, wenn man einen rechten Einblick und Überblick gewonnen hat, die Frage zu erörtern, ob und welcher dieser Fälle der Wirklichkeit am nächsten kommt. In der Meteorologie, der Physik der Sonne, bei allen Untersuchungen, die sich mit Entstehung der Himmelskörper befassen, spielt das Verhalten von Gaskugeln die größte Rolle. Der Verfasser behandelt nun in seinem Buche in eingehendster Weise die Thermodynamik solcher Gaskugeln, wobei ideale Gase den Rechnungen zugrunde gelegt werden.

Von den unendlich vielen Arten, in denen wir uns solche Gaskugeln aufgebaut denken können, werden besonders solche Klassen behandelt, die für die Anwendungen wichtig sind, in erster Linie die sog. polytropen Gaskugeln, das sind Kugeln in einem Gleichgewichtszustand, der so beschaffen ist, daß, wenn ein Gas der Reihe nach die Zustände durchläuft, die in einer solchen Kugel vom Mittelpunkt nach außen zu angetroffen werden, es eine Zustandsänderung konstanter Wärmekapazität erleidet. Der isothermische, adiabatische Gleichgewichtszustand sowie der wichtige Zustand des Strahlungsgleichgewichts sind Spezialfälle des polytropen. Es ist schlechterdings nicht möglich, in einem kurzen Referate einen detaillierten Überblick über

den Inhalt dieses Werkes zu geben, was z. T. mit seiner konzisen Fassung zusammenhängt. Nur über die Behandlungsweise der Probleme möchte ich noch einiges hervorheben, da sie mir in ihrer Art mustergültig zu sein scheint, und es zu wünschen wäre, auch für andere Gebiete der Physik so gründliche Monographien zu besitzen. Neben der rein analytischen Behandlungsweise ist die numerische Rechnung in den Vordergrund gerückt, alle Beispiele sind zahlenmäßig ausgerechnet, so daß man wirklich eine anschauliche Vorstellung der verschiedenen Zustände erhält.

Insbesondere ist die Behandlung der durch bekannte Funktionen nicht integrierbaren Differentialgleichung der polytropen Gaskugel vorbildlich; sie zeigt, wie man auch ohne Integration durch numerische Tabellen vollen Einblick in die funktionalen Zusammenhänge erlangen kann. Wer je in die Lage kam, selbst numerisch rechnen zu müssen, wird die Summe von Arbeit ermessen können, die in den Zahlen dieses Buches steckt, und wird dem Verfasser für ihre Mitteilung besonderen Dank wissen.

Zur Einführung und als Nachschlagewerk ist dieses Buch nicht geeignet, muß aber jedem auf das wärmste empfohlen werden, der sich eingehender mit den behandelten Problemen befassen will; auch der Fachmann wird daraus reichen Gewinn schöpfen und mit dem Referenten vielleicht den Verfasser ein wenig um Schüler beneiden, mit denen es möglich ist, auf solche Weise Physik zu treiben.

H. Benndorf (Graz).

Elemente der geometrischen Optik. Von Dr. Ferd. Meisel. Mit 157 Abbildungen im Texte. Dr. Max Jänecke, Verlagsbuchhandlung, Hannover (Bibliothek der gesamten Technik, 69. Band). Preis M 4,—, in Ganzleinenband M 4,40. 294 S.

Die Darstellung gliedert sich in die vier Hauptabschnitte „Zurückwerfung, Brechung, Farbenzerstreuung, Fernrohre und Mikroskope“. Die Probleme werden so allgemein gefaßt, als es bei Voraussetzung nur ganz elementarer mathematischer Kenntnisse irgend möglich ist. Von vornherein erfolgt die Einführung der Brennpunkte als Spitzen der Kaustiken, der Brennweiten als der Abstände der Brennpunkte von den Hauptebenen. Die Linse verschwindender Dicke tritt überall nur als Spezialfall auf, und erst an die allgemeine Behandlung eines Systems zentrierter brechender Kugelflächen schließt sich die Ableitung der Ergebnisse, die eine Folge der physikalischen Verwirklichung der Abbildung

gemäß dem Brechungsgesetze von Snellius sind.

Das Buch wendet sich in erster Linie an den Techniker und gipfelt schließlich in einer Propädeutik der Berechnung einiger Linsensysteme, die gerade in dieser elementaren und nur andeutenden Form auch für den Lehrer der Physik von Interesse ist. Die eigentlich physikalische Betrachtungsweise tritt sehr in den Hintergrund, auch da, wo sie allein das volle Verständnis der Erscheinungen vermitteln kann, wie z. B. bei der scheinbaren Hebung eines unter Wasser liegenden Körpers bei senkrechter Betrachtung. Dahin gehört auch die Behauptung, daß die Ableitung des Reflexions- und des Brechungsgesetzes durch das Aufzeigen einer Größe, die bei den betreffenden Vorgängen zu einem Minimum wird, vertieft werde (S. 25 und 96) und vor allen Dingen das Fehlen einer Behandlung des eigentlichen Strahlengangs in optischen Instrumenten.

Im einzelnen sei auf die Möglichkeit wesentlicher Vereinfachung der Beweise S. 48 durch Benutzen der Parallele zu m durch T in Abb. 23 und S. 79 und 80 durch Verwendung der Formeln S. 62, ferner zu S. 96 auf die elementare Ableitung des Brechungsgesetzes nach Fermat bei Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung (1. Aufl. S. 399) hingewiesen. Auf mancherlei Anfechtbares im 4. Abschnitt einzugehen, verbietet hier der Raum. Die S. 53 aufgestellte Behauptung, daß die in den gewöhnlichen Schulbüchern übliche Beschränkung auf die Betrachtung von Achsenstrahlen von den Verfassern als Einschränkung nicht hingestellt werde, und ebenso die Behauptung S. 69, nach einem „außerordentlich verbreiteten Irrtum“ sei das durch eine beliebig gestaltete Öffnung auf einem mit der Sonne parallelen Schirm erzeugte Sonnenbild stets kreisrund, auch wenn die Öffnung nicht sehr klein ist, trifft für die bekannten besseren Schulbücher sicher nicht zu.

Keferstein-Hamburg.

Die binokularen Instrumente. Nach Quellen bearbeitet von Moritz von Rohr. Mit 90 Textfiguren. Berlin, Julius Springer, 1907. 223 S. Preis M 6,—.

Seiner weit bekannten und hoch geschätzten Theorie und Geschichte des photographischen Objektivs hat der als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der optischen Werkstätte von Carl Zeiß in Jena für derartige Darstellungen besonders wohl vorbereitete Verfasser eine bis zum Jahre 1900

reichende Theorie und Geschichte der binokularen Instrumente, des Stereoskops und seiner Modifikationen, der binokularen Fernrohre und Mikroskope folgen lassen. Als treffliches Mittel für Beschreibung und Erläuterung der Wirkungsweise dieser Instrumente, sofern sie entweder eine orthoskopische oder eine pseudoskopische Wahrnehmung des den Augen von ihnen dargebotenen Bildes vermitteln, erweist sich überall die Bezugnahme auf die Objektaugen, d. h. den durch das Instrument im Objektraum abgebildeten Gesichtsapparat des Beobachters. Die übereinstimmende Stellung der Augen in Bild- und Objektraum, die „orthopische“ Stellung, bewirkt Orthoskopie, die gekreuzte, „chiastopische“ Stellung, bei der sich die Objektaugen die äußeren Augenwinkel zu-, die Nasenteile abkehren, erzeugt Pseudoskopie.

In dem geschichtlichen Teil findet der Lehrer der Physik auch für seine besonderen Zwecke reiches Material; das erste Auftreten jeder wichtigeren Idee wird sorgfältig aufgeheilt, eine sehr eingehende Würdigung erfahren die Leistungen von Wheatstone und Brewster, die seinerzeit zu einem von Brewster in ziemlich unwürdiger Weise geführten Streite zwischen den beiden großen Physikern Veranlassung gaben. Dem Zusammenhang der Fortschritte der Stereoskopie mit denen der photographischen Technik wird besondere Aufmerksamkeit geschenkt und gezeigt, wie gerade die ursprüngliche Unvollkommenheit und Schwierigkeit der photographischen Technik den Erfindungsgeist auf dem Gebiete der Stereoskopie, namentlich bei den englischen Amateuren, belebte und die Hauptblütezeit der Stereoskopie in den fünfziger Jahren des vorigen Jahrhunderts zeitigte. Dem Niedergang des Interesses in den sechziger, seinem Tiefstand in den siebziger und achtziger Jahren infolge der Überschwemmung des Marktes mit schlechten Instrumenten und Bildern folgte erst in den neunziger Jahren ein neuer Aufschwung, an dem die wissenschaftlichen Leiter und Mitarbeiter der Firma Carl Zeiß bekanntlich einen hervorragenden Anteil haben. — Eine Tafel am Schlusse des Werkes gibt eine lichtvolle Disposition aller bei der Bearbeitung des Gebietes zu berücksichtigenden Momente. Die Anschaffung ist für die Handbibliothek jedes physikalischen Kabinetts auf das wärmste zu empfehlen.

Keferstein-Hamburg.

Das Stereoskop und seine Anwendungen. Von Prof. Th. Hartwig. Mit 40 Abb. im Text

und 19 stereoskopischen Tafeln. B. G. Teubner, Leipzig 1907 (Aus Natur und Geisteswelt. 135. Bändchen). 70 S.

Dem Gegenstand des Büchleins hat auf den wenigen Seiten naturgemäß nur eine streifende Betrachtung zuteil werden können, zumal auch noch der unokulare (wie man statt des barbarischen monokular mit M. v. Rohr sagen sollte) Verant in die Besprechung einbezogen ist. Eine etwas eingehendere Darstellung haben die tele- und mikro-stereoskopischen Aufnahmen sowie das Stereoskop als Meßinstrument, besonders der Stereokomparator von Pulfrich gefunden. Wertvoll ist die Beigabe von 19 stereoskopischen Tafeln in besonderer Mappe, die zur Demonstration der wichtigsten stereoskopischen Effekte dienen.

Keferstein-Hamburg.

Über die bisherigen Beobachtungen im ultraroten Spektrum. Von Dr. Wilh. Beetz. Leipzig, J. A. Barth, 1907. 45 S., 15 Abb. im Text. Geh. M 1,—.

Eine recht kurze, aber einigermaßen vollständige Zusammenstellung mit mehreren wertvollen Tabellen und ausführlichem Literaturverzeichnis. Die Figuren sind, soweit sie keine Kurven, z. T. recht unschön (z. B. Fig. 5); auffällig ist die Nichterwähnung des Urhebers der feinen Radiometer (S. 18).

B. v. Cz.

Der eingeschlossene Lichtbogen bei Gleichstrom. Von Dr.-Ing. Karl Stockhausen. Leipzig, J. A. Barth, 1907. VIII u. 210 S., 59 Abb. u. 60 Tab. im Text, 4 Tafeln. Geh. M 6,—.

Das vorliegende Buch behandelt: Grundlegende Beziehungen des eingeschlossenen Bogens, Mechanische Vorgänge und Temperatur der Glocke, Elektrische Erscheinungen, Chemische Vorgänge, Spektroskopische Untersuchungen, Photometrie. Über die auf Veranlassung von Prof. Görges zu Dissertationszwecken unternommenen und später erweiterten Untersuchungen ist viel Interessantes und Wertvolles mitgeteilt, nur müßte man bei einer solchen Monographie eine genauere Berücksichtigung der in Frage kommenden Literatur erwarten, als dies hier geschehen ist. In der durch zahlreiche Druckfehler der Namen (Staite & Greener, Allmann, Varley, Baxter) entstellten historischen Übersicht (§ 3) sind z. B. nicht erwähnt: Boussingault, Brougham, Feußner und Street; die S. 21 beschriebene Versuchsanordnung ist schon früher benutzt von Martiny, genaue Abbildungen der verschiedenen typischen

Lichtbogenformen sind seinerzeit vom Ref. mitgeteilt worden; betr. Auftretens einer Pilzbildung auch bei L. m. eingeschlossenen Bogen s. des Ref. Mitteilung in den Verh. d. Deutsch. Phys. Ges. 7, 1905. Bezüglich anderer Punkte muß Ref. auf die ausführlichen Darlegungen über den Gegenstand in seinem Buche „Das elektrische Bogenlicht, usw.“ (Leipzig, S. Hirzel, 1904÷1906) verweisen, wo auch manche vom Verf. in vorliegender Schrift nicht berücksichtigte Momente besprochen sind. Immerhin kann man das Buch als brauchbares Glied unserer Literatur über den Lichtbogen betrachten. *B. v. Cz.*

Die Untersuchung elektrischer Systeme auf Grundlage der Superpositionsprinzipien. Von Dr. Herbert Hausrath-Karlsruhe. Berlin, Julius Springer, 1907. VIII u. 126 S., 19 Abb. im Text. Geh. M 3,—.

Verf. gibt hier eine zusammenhängende Darstellung eines wichtigen Gebietes der elektrischen Meßkunde auf Grund zahlreicher eigener Versuche. Der Inhalt zerfällt in die Abschnitte: Superpositionsprinzipien, Anwendungen der Superpositionsgleichungen, Untersuchungen von Leitungsnetzen, schematische und rechnerische Umformungen, Kabeluntersuchungen, Leerlauf- und Kurzschlußversuche, Isolationsmessungen, und bringt vielerlei Interessantes, darunter auch für manche Aufgaben bisher noch nicht bekannte Lösungen. *B. v. Cz.*

Die Grundlagen der Elektrotechnik. Von Dr. Rudolf Blochmann. (Aus Natur u. Geisteswelt, Nr. 168.) Leipzig, B. G. Teubner, 1907. IV u. 106 S., 128 Abb. im Text. Geh. M 1,—; geb. M 1,25.

Der Verf. behandelt den Gegenstand in 6 Vorlesungen und knüpft in geschickter Weise an als elektrische bekannte Einrichtungen des modernen Lebens an (Glühlampen, Straßenbahn, Telephon). Wenn auch Auswahl und Anordnung des Stoffes im allgemeinen zweckentsprechend sind, so ist die Darstellung innerhalb der einzelnen „Vorlesungen“, was den Zusammenhang und die Leichtverständlichkeit anbelangt, nicht immer einwandfrei. So geht doch logisch die Frage nach der „Erzeugung des Stromes“ der nach seinen „Wirkungen“ zweifellos vor, nicht umgekehrt (S. 7), auch erscheint beim Verf. der „Strom“ als das Primäre, die Potentiale an den Polen der Elektrizitätsquellen mehr als Nebenerscheinung. Die benutzten Bezeichnungen sind manchmal etwas ungewöhnlich, so

Solenoid als „temporärer Magnet“. Richtigstellend ist zu bemerken, daß Davy den Lichtbogen zuerst um 1808 erzeugt hat (1821 ist falsch und eine Verwechslung mit De la Rive), daß Reis auch bereits Sprachübertragungen gelungen sind, und daß man auch mit Erfolg Hochspannungskraftübertragungen mit Gleichstrom ausgeführt hat (z. B. St. Maurice—Lausanne). Die Figuren sind mit Ausnahme von Fig. 108 gut und zweckmäßig. *B. v. Cz.*

Experimentaluntersuchungen über die Selbstinduktion in Nuten gebetteter Spulen bei hoher Frequenz. Von Dr.-Ing. Herm. Niebuhr. Berlin, J. Springer, 1907. 59 S., 23 Abb. im Text. Geh. M 1,80.

Die Schrift enthält einen genauen Bericht über sehr interessante Versuche des Verf., welche einen für die Theorie der Dynamomaschine, im besonderen die Theorie der Kommutation, wichtigen Gegenstand betreffen. Die Versuche, ausgeführt mit Periodenzahlen von 50 bis ca. 1800 in der Sekunde, erstrecken sich auch auf Untersuchung des Einflusses benachbarter kurzgeschlossener Spulen wie massiver Kupfer- und Eisenkörper. *B. v. Cz.*

Grundzüge der Beleuchtungstechnik. Von Dr.-Ing. L. Bloch, Ingenieur der Berliner Elektrizitätswerke. Berlin, J. Springer, 1907. VIII u. 157 S., 41 Abb. im Text. Geh. M 4,—; geb. M 5,—.

Das vorliegende Buch enthält eine ganz vortreffliche Darstellung des Gegenstandes aus hervorragend berufener Feder, behandelt namentlich die praktische Seite, Beurteilung, Berechnung und Messung der Beleuchtung an der Hand wertvoller, z. T. bisher noch nicht veröffentlichter Versuchsergebnisse, und ist mit Rücksicht auf die Wichtigkeit der Frage nach der in jedem Falle besten Art der Beleuchtung von Unterrichtsräumen den Lesern dieser Zeitschrift wärmstens zu empfehlen. *B. v. Cz.*

Das Kopieren bei elektrischem Licht. Von Arthur Freiherrn von Hübl. (Enzyklopädie der Photographie, Heft 59.) Halle, W. Knapp, 1908. IV u. 56 S., 20 Abb. im Text, 2 Tafeln. Geh. M 1,80.

Die kleine Schrift enthält eine sehr interessante Studie auf Grund zahlreicher eigener Versuche und behandelt die Beleuchtungsgesetze, die Bogenlampen, die Quecksilberlampe, den Vergleich der Lampentypen trotz der verhältnismäßigen Kürze sachgemäß und eingehend unter Berücksichtigung wirtschaft-

licher wie praktischer Gesichtspunkte. Der Gegenstand ist nicht nur für den Fachphototechniker von Bedeutung, und es sei deshalb das Büchelchen auch den Lesern dieser Zeitschrift empfohlen.
B. v. Cz.

Kurzes Lehrbuch der Festigkeitslehre für Bauwerkschule und Baupraxis. Bearbeitet von Dr. E. Glinzer. Mit vielen Übungsbeispielen und Aufgaben, 120 in den Text gedruckten Figuren sowie einem reichhaltigen Tafelwerk als Anhang. 3. Aufl. vom „Grundriß der Festigkeitslehre“. Leipzig, H. A. Ludwig Degener, 1907. Geb. M 4,—.

Leitfaden der Festigkeitslehre. Für den Unterricht und zur Selbstbelehrung. Bearbeitet von Prof. Dr. E. Glinzer. Mit 64 Figuren, Übungsbeispielen und Aufgaben sowie einem Tafelwerk als Anhang. Leipzig, Degener, 1907. M 1,50.

In beiden Büchern — der Leitfaden ist lediglich ein Auszug des Lehrbuches — werden nach einer einleitenden Besprechung der wichtigsten Grundbegriffe der Elastizitätslehre die Zugfestigkeit, Druckfestigkeit, Schubfestigkeit, Biegezugfestigkeit, Knickfestigkeit und zusammengesetzte Festigkeit behandelt, wozu im Lehrbuch noch ein Kapitel über die Drehzugfestigkeit tritt. Die einfache und durchsichtige Form der Darbietung, die mit einem Minimum von Sätzen aus der Statik und der elementaren Mathematik die Aufgaben der Festigkeitslehre, „je nach der Belastungsart zu ermitteln a) für einen gegebenen Konstruktionsteil die zulässige Beanspruchung, b) für eine gegebene Beanspruchung die nötigen Abmessungen des Konstruktionsteils, c) für einen gegebenen Konstruktionsteil bei gegebener Beanspruchung die hervorgebrachte Formveränderung“, auch in verwickelteren Fällen löst, läßt überall den erfahrenen Schulmann erkennen. Der Hauptwert der Bücher liegt in dem reichen Aufgabenmaterial mit Lösungsandeutungen und in den beigegebenen Tabellen für Elastizitäts- und Grenzmodul, Bruch- und Sicherheitsmodul für Zug, Druck und Schub, Trägheits- und Widerstandsmomente, größtes Biegemoment, Tragkraft usw.

Den Lehrern der Physik, die in ihrem Unterricht noch an der Fiktion des starren Körpers festhalten, ist das Studium dieser Werke besonders zu empfehlen; es wird ihnen dann recht deutlich zum Bewußtsein kommen, in welchem scharfem Gegensatze ihre Annahme zur Wirklichkeit steht. Wer aber diesen veralteten Standpunkt bereits aufgegeben hat, kann hier eine Fülle von Beispielen aus der

Praxis zur Verdeutlichung der elastischen Veränderungen finden, die jeder feste Körper bei jeder Krafteinwirkung erfährt.

Keferstein-Hamburg.

Anleitung zur Mikrophotographie. Von Dr. med. R. Neuhaß. (Enzyklopädie der Photographie, Heft 8.) 2. Auflage. Halle a. S., W. Knapp, 1908. 38 S., 6 Abb. i. Text. Geh. M 1,—.

Eine sehr kurze, aber klare Darstellung, die alles unbedingt zu wissen Nötige enthält und auch die neuesten Fortschritte wie Ultravioletttaufnahmen usw. berücksichtigt.

B. v. Cz.

Lehrbuch der Physik zum Gebrauch für Studierende. Von Dr. Anton Lampa, a. ö. Professor an der Universität Wien. Mit 293 Fig. im Text. Wien und Leipzig, Wilhelm Braumüller, 1908. 565 S. Kr 12 (M 10,—).

Das Buch will eine Einführung für Studierende bieten, ohne jedoch den Besuch der Experimentalvorlesung entbehrlich zu machen. Mathematische Deduktionen sind auf das Allernötigste beschränkt worden, um die Gefahr zu vermeiden, daß das Mathematische als Hauptsache, die physikalischen Gesetze bloß als Illustration der Mathematik erscheinen. Gleichwohl muß gesagt werden, daß in dem Buch das Theoretische (im Sinne exakt mathematischer Formulierung) stark überwiegt, das Experimentelle etwas zu sehr zurücktritt. Für den wichtigsten Zweck eines solchen Kompendiums, dem Studierenden eine klare Übersicht über das Lehrgebäude zu geben, dürfte indessen diese Behandlung des Stoffes auch ihre Vorzüge haben. *P.*

An Introduction to Electricity. By Bruno Kolbe. Translated by Joseph Skellon. London, Kegan Paul, Trench, Trübner and Co., 1908. 430 S. 10 Sh. 6 p.

Dem vortrefflichen Werkchen Kolbes „Einführung in die Elektrizitätslehre“ (2. Aufl.) ist die wohlverdiente Ehre einer Übersetzung ins Englische zuteil geworden. Beide Teile erscheinen hier in schöner Ausstattung zu einem stattlichen Bande vereinigt. Der Verf. hat selbst eine Reihe interessanter Zusätze (Messung der Poldifferenz der Influenzmaschine u. a. m.) dazu gegeben; der Herausgeber hat hier und da Fußnoten hinzugefügt, zu denen nur berichtend bemerkt sein mag, daß die nach Wimshurst genannte Form der Influenzmaschine ebenfalls Holtz zum Urheber hat. Es ist erfreulich, daß die bei uns in Deutschland üblich gewordene empirische

Einführung in die Lehre vom Potential und dem elektrischen Strom nun auch in England Verbreitung finden wird. P.

Unterstufe der Naturlehre. Nach A. Höflers Naturlehre für die unteren Klassen der österreichischen Mittelschulen für höhere Lehranstalten des Deutschen Reiches bearbeitet von Dr. Friedrich Poske. Zweite, verbesserte und vermehrte Auflage. Ausgabe A: Physik nebst Astronomie und Chemie. X und 262 S. Geb. M 2,80. — Ausgabe B: Physik und Astronomie (ohne Chemie). IX und 215 S. Braunschweig, Friedrich Vieweg & Sohn, 1908. Geb. M 2,40.

In diese Auflage ist, namentlich mit Rücksicht auf die Bedürfnisse der Realanstalten, eine elementare Darstellung des Prinzips der Dampfmaschine und ein ebenso elementarer Abriss der Lehre von den Induktionsströmen und den Dynamomaschinen aufgenommen. Die Ausgabe B (ohne Chemie) ist mehrfachen Wünschen entsprechend für diejenigen Anstalten bestimmt, an denen schon auf der Unterstufe ein besonderes Lehrbuch der Chemie eingeführt ist. P.

Leitfaden der Physik von Heinrich Bohn, Prof. am Dorotheenstädt. Realg. in Berlin. Unterstufe Ausgabe A mit chemischem Anhang von O. Nitsche, Professor am Kaiserin Augusta-Gymnasium in Charlottenburg. Leipzig, Otto Nägele, 1907, 221 + 55 S., 264 + 27 Fig. Geb. M 2,80. — Ausgabe B ohne chemischen Anhang, sonst w. v. Geb. M 2,40.

Der vorliegende Leitfaden ist in einer einfachen, leicht verständlichen Sprache geschrieben. Die Darstellung ist methodisch, insofern die Versuche stets den aus ihnen zu folgernden Gesetzen vorangehen. Die Anordnung weicht im übrigen so wenig von der üblichen systematischen ab, daß die Freiheit des Lehrers in dieser Hinsicht nicht beeinträchtigt wird. Die Auswahl ist mit Recht knapp gehalten, es fehlen u. a. selbst die Fallgesetze, ferner in der Elektrizität die Induktionsströme, in der Optik die Farbenlehre. Apparate und Versuchsanordnungen sind fast durchweg sehr einfach, das Buch eignet sich daher besonders auch für solche Anstalten, die sich mit geringen Mitteln behelfen müssen und deshalb Freihandversuche bevorzugen. Gemäß der Schwalbeschen Tradition, die an der Anstalt des Verfassers noch in Ehren gehalten wird, ist gerade von solchen Versuchen eine ziemlich große Zahl eingeflochten. Daß neben der Hahnluftpumpe auch die Ölluftpumpe mit ihrer

immerhin nicht ganz leicht zu übersehenden Konstruktion aufgenommen ist, paßt nicht recht in den Stil des Buches, für die Unterstufe reichen die anderen Arten von Luftpumpen sicherlich aus. Von Einzelheiten sei erwähnt, daß das Kapitel von der Standfestigkeit wohl einer Revision bedarf, und daß die historischen Angaben über die Stellung Galileis zum Luftdruck unzutreffend sind.

Der chemische Abschnitt bietet das für die Untersekunda angemessene Material. Daß die „Zersetzung des Wassers“ durch den galvanischen Strom — zunächst sogar ohne Zusatz von Schwefelsäure — als Grundversuch an den Anfang der Chemie gestellt wird, dürfte heute kaum noch viel Beifall finden. Von weiteren methodischen Einwänden will Referent absehen, da dazu eine ausführlichere Erörterung erforderlich wäre. P.

Jahrbuch der Chemie. Bericht über die wichtigsten Fortschritte der reinen und angewandten Chemie. Unter Mitwirkung zahlreicher Autoren herausgegeben von Richard Meyer in Braunschweig. XVII. Jahrgang 1907. Braunschweig, F. Vieweg & Sohn, 1908. XII. u. 576 S. M 15,—.

Mit rühmenswürdiger Pünktlichkeit ist der neue Band des bewährten Jahrbuches, der bereits den vollständigen Bericht über die Fortschritte im verflossenen Jahre 1907 enthält, wieder auf dem Platze. In der Mitarbeiterschaft sind nur wenige Veränderungen eingetreten. Für den Unterricht am ergiebigsten sind wieder die Abschnitte Physikalische Chemie, Anorganische und Organische sowie Physiologische Chemie. In dem erstgenannten Abschnitt sei z. B. auf die sinnerreichen Bestimmungen von Th. W. Richards zur „Kompressibilität der festen Elemente“ hingewiesen, woraus sich, an der Hand einer mitgeteilten Tabelle, ergibt, daß die erwähnte Eigenschaft eine deutliche periodische Funktion des Atomgewichts ist. Das Jahrbuch sei von neuem zur Anschaffung, zum mindesten für die Anstaltsbibliotheken, angelegentlich empfohlen. O.

Kurzes Lehrbuch der organischen Chemie. Von William A. Noyes, Prof. d. Chemie an der Univ. Illinois. Ins Deutsche übertragen von Walter Ostwald, mit einer Vorrede von Wilhelm Ostwald. Leipzig, Akad. Verlagsgesellschaft, 1907. XXIV u. 722 S. M 10,—.

Das Buch will die Grundlagen der organischen Chemie für den Anfänger, für den Studierenden, darstellen. Es ist ihm dies

zufolge seiner Übersichtlichkeit und einfachen Sachlichkeit vorzüglich gelungen. Der Verfasser weicht zum Zwecke einer besseren Übersicht über das endlose Heer der organischen Verbindungen von der üblichen Einteilung in Fettkörper und aromatische Verbindungen oder in aliphatische, isozyklische und heterozyklische Verbindungen (Meyer und Jakobson) insofern ab, als er nach zwei einleitenden Kapiteln zunächst, wie sonst üblich, die Kohlenwasserstoffe, aber gleich alle Klassen behandelt (in 6 Kapiteln), dann die sauerstoffhaltigen Verbindungen (in acht Kapiteln) und solche, welche Halogene, Stickstoff und Schwefel enthalten (in 5 Kapiteln) und schließlich drei Kapitel über heterozyklische Verbindungen, Alkaloide und Verbindungen physiologischen oder pathologischen Interesses folgen läßt. Daß das Buch die Ergebnisse der allgemeinen Chemie in hinreichendem Maße berücksichtigt, erklärt das Interesse, das W. Ostwald an der Darstellung nimmt. In typographischer Hinsicht läßt das Buch bis auf zwei Punkte nichts zu wünschen übrig. Der erste betrifft die Schreibweise Azetat, Azetylen usw. Hier ist zu wünschen, daß die vom Verein Deutscher Ingenieure herausgegebene Rechtschreibung — die für viele Wörter zwei Schreibweisen, die volkstümliche (z. B. Azetylen) und die gelehrte, in wissenschaftlichen Werken anzuwendende (Acetylen) gibt — möglichst allgemeine Anerkennung finde. Der zweite Punkt betrifft das unhandliche Format des Buches, große Dicke (722 Seiten) bei wenigen Sätzen Text auf der einzelnen Seite. Die Übersetzung aus fremder Sprache ist dem Buche nicht anzumerken. Die am Schlusse der einzelnen Kapitel angefügten „Übungen im Laboratorium“ — die allerdings im wesentlichen nur die Namen der herzustellenden Präparate enthalten — kennzeichnen die amerikanische Herkunft. Das Buch sei der allgemeineren Beachtung empfohlen. O.

Elektrochemie II. Experimentelle Elektrochemie, Meßmethoden, Leitfähigkeit, Lösungen. Von Dr. Heinrich Danneel. Sammlung Göschen. Leipzig 1908. 158 S. M 0,80.

Die Explosivstoffe. Einführung in die Chemie der explosiven Vorgänge. Von Dr. H. Brunswig. Sammlung Göschen. Leipzig 1907. 158 S. M 0,80.

Die beiden Bändchen sind erneute Beweise, daß sich die Sammlung weiter auf ihrer Höhe erhält. Beide Arbeiten zeugen von gediegener Wissenschaftlichkeit. Band II

der „Elektrochemie“ ergänzt in vorzüglicher Weise den bereits lobend hervorgehobenen ersten Teil. Das Bändchen „Explosivstoffe“ gewährt einen sehr guten Einblick in das Wesen der modernen Sprengstoffe; die Tabellen z. B. über den „Energiegehalt der wichtigsten Explosivstoffe“, die „Ballistischen Vergleiche zwischen Schwarzpulver und rauchlosem Pulver“ usw. sind dankenswerte Beigaben.

O.

Das Feuerzeug. Drei Vorträge vor jugendlichen Zuhörern. Von Ch. M. Tidy. Nach dem englischen Original bearbeitet von P. Pfannenschmidt. Mit einer „Einführung“ von Dr. Walther B. Schmidt am Thomasgymnasium in Leipzig. Leipzig, B. G. Teubner, 1907. 92 S. Geb. M 2,—.

Das geschmackvoll ausgestattete Büchlein führt den Leser von der Feuererzeugung durch rotierendes Holz über die altehrwürdige Zunderbüchse und die ersten Phosphorhölzchen bis zur Fabrikation der modernen Zündhölzchen und noch darüber hinaus — unter stetigen Experimenten, die durch große deutliche Abbildungen unterstützt werden. Da ist soviel von der Wirkung der feinen Zerteilung fester Körper, von der Bedeutung der Luft, von dem Wesen der Wärme usw. angeknüpft — ähnlich wie in Michael Faradays Naturgeschichte einer Kerze — daß das Ganze außerordentlich anregend und nützlich für jugendliche Gemüter ist. Es sind insbesondere die Leiter der Schülerbibliotheken auf die kleine Erscheinung aufmerksam zu machen.

O.

Leitfaden für den Unterricht in der Chemie und Mineralogie. Methodisch bearbeitet von Prof. Dr. R. Arendt. 10. Aufl., bearbeitet von Dr. L. Doermer, Oberlehrer a. d. Oberrealschule v. d. Holstentore in Hamburg. Hamburg und Leipzig, L. Voß, 1907. 139 S. Geb. M 1,60.

Die Arendtschen Lehrbücher, die seinerzeit einen großen Fortschritt bedeuteten, bleiben fortgesetzt von Wert, weil sie mit-helfen, den Grundgedanken der chemischen Methodik, daß der chemische Lehrstoff an den höheren Lehranstalten anders zu übermitteln sei als in dem akademisch-systematischen Gewande, weiterhin wach zu erhalten. Zudem ist in der neuen Ausgabe vielfach die bessernde Hand zu erkennen. So ist mit Recht bei der Einführung in die Atomtheorie der Versuch der sogenannten Elektrolyse des Wassers einfach fallen gelassen, der Abschnitt über die Gesteine ist zweckmäßig

umgearbeitet und der mineralogische Teil um die allgemeinen Eigenschaften der Mineralien vermehrt worden, während im organischen Teile einige Kürzungen vorgenommen wurden. Auf grundsätzliche Mängel des Arendtschen Lehrganges — beispielsweise, daß ein so wichtiges Element wie der Wasserstoff nicht eingegliedert ist, sondern nur wie durch einen Zufall in den Lehrgang hinein-

kommt (er dient nur zur Verdrängung der Luft bei einer Metallerhitzung), ferner, daß die Metalle, auch die fremdartigen wie Kalium und Natrium, einfach als gegebene Körper angesehen werden, statt daß sie aus natürlichen Ausgangskörpern erst ermittelt werden — möchten wir nicht näher eingehen, sondern mehr die vorgenommenen Verbesserungen hervorheben. O.

Korrespondenz.

Bemerkungen zu dem Aufsatz des Herrn G. KEMNA in dieser Zeitschrift (21, 248) über die Apparate zum Nachweis der Luftdruckabnahme bei kleinen Höhenunterschieden.

Die Tatsache, daß es der Luftdruckunterschied ist, der die auffallende Differenz in den Flammenhöhen bei dem BEHNSchen Versuche (16, 132 und 19, 24) hervorruft, ist durch die trefflichen Ausführungen von Herrn Prof. F. RICHARZ (20, 238 und 21, 38) so vollständig geklärt worden, daß ich diesen nichts mehr hinzufügen kann. Dabei liegt es mir natürlich fern, die Deduktionen des Herrn KEMNA für fehlerhaft zu erklären; das Gewicht der äußeren Luftsäule AB , mit der Herr KEMNA operiert, und der Luftdruckunterschied zwischen A und B sind eben identische Begriffe. Indessen bin ich mit Herrn Prof. F. RICHARZ der Meinung, daß der Luftdruckunterschied, der ja für den Beweis des Archimedischen Prinzips in diesem Falle benutzt werden muß, durchaus als die grundlegende Tatsache anzusehen ist.

Das Gewicht der inneren Gassäule sucht die untere Flamme zu vergrößern, die obere zu verkleinern; es bildet also eine Fehlerquelle, die im umgekehrten Sinne der Erscheinung wirkt, worauf ich auch schon in meiner Ausführung (19, 25 am Ende des vorletzten Abschnitts) hingewiesen habe.

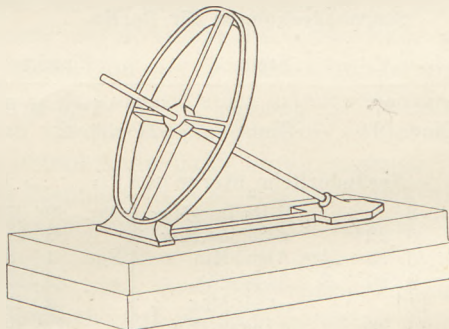
Ich kann nicht unterlassen, noch eine Bemerkung hinzuzufügen. Jeder physikalische Versuch hat größere oder kleinere Fehlerquellen, welche die zu erwartende Erscheinung stören. Wirken diese Fehlerquellen auf die beabsichtigte Erscheinung fördernd ein, so nehmen sie dem Versuche die Beweiskraft, und Pädagogik und Ehrlichkeit verlangen, daß man einen solchen Versuch verwirft. So kann ich z. B. dem Versuch mit den Adhäsionsplatten trotz seines ehrwürdigen Alters keinen

Geschmack abgewinnen, da nach meiner Meinung der größere Teil der Klebekraft von dem Luftdruck geliefert wird. Wenn dagegen solche Fehlerquellen die erwartete Erscheinung hemmen, so erhöhen sie nur die Beweiskraft des Versuches.

So liegt es aber bei dem BEHNSchen Versuch. Das Gewicht der inneren Gassäule beeinflußt die Erscheinung im umgekehrten Sinne. Daß sie trotzdem eintritt, macht den Versuch für den Nachweis der Luftdruckabnahme um so brauchbarer. Natürlich kann man den Einfluß einer solchen Fehlerquelle so weit steigern, daß sie die erwartete Erscheinung schließlich aufhebt, ja sogar umkehrt, und die weiteren Ausführungen des Herrn KEMNA sind gerade deshalb interessant, weil sie den Einfluß der genannten Fehlerquelle ausgezeichnet klarstellen.

P. Steindel. Schöneberg-Berlin.

Das Kalenderrad. Mehrfachen Wünschen entsprechend bringen wir hier noch eine Abbildung des von Herrn K. FUCHS in Heft 3, S. 176 beschriebenen Kalenderrades.



Wie uns der Verfasser mitteilt, hat die Firma Ferdinand Ernecke in Berlin-Tempelhof die Anfertigung des Apparates nach seinen Angaben übernommen.

Himmelserscheinungen im Oktober und November 1908.

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

| | | Oktober | | | | | November | | | | | | |
|----------------------------|---------|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 4 | 9 | 14 | 19 | 24 | 29 |
| ♀ | AR | 14 ^h 16 ^m | 14 31 | 14.40 | 14.38 | 14.23 | 14. 1 | 13.47 | 13.49 | 14. 5 | 14.28 | 14.56 | 15.25 |
| | D | - 17 ^o | - 18 ^o | - 19 ^o | - 18 ^o | - 16 ^o | - 12 ^o | - 10 ^o | - 9 ^o | - 10 ^o | - 12 ^o | - 15 ^o | - 18 ^o |
| ♀ | AR | 9 ^h 56 ^m | 10.18 | 10.40 | 11. 1 | 11.23 | 11.45 | 12. 7 | 12.29 | 12.51 | 13.14 | 13.36 | 13.59 |
| | D | + 12 ^o | + 11 | + 9 | + 7 | + 5 | + 3 | + 1 | - 1 | - 4 | - 6 | - 8 | - 11 |
| ☉ | AR | 12 ^h 44 ^m | 13. 2 | 13.20 | 13.39 | 13.58 | 14.17 | 14.37 | 14.57 | 15.17 | 15.38 | 15.59 | 16.20 |
| | D | - 5 ^o | - 7 | - 8 | - 10 | - 12 | - 14 | - 15 | - 17 | - 18 | - 19 | - 21 | - 21 |
| ♂ | AR | 11 ^h 50 ^m | 12. 2 | 12.14 | 12.26 | 12.38 | 12.49 | 13. 1 | 13.13 | 13.26 | 13.38 | 13.50 | 14. 2 |
| | D | + 2 ^o | + 1 | 0 | - 2 | - 3 | - 4 | - 6 | - 7 | - 8 | - 9 | - 10 | - 12 |
| ♃ | AR | | 10.31 | | 10.38 | | 10.44 | | 10.50 | | 10.55 | | 10.59 |
| | D | | + 10 | | + 10 | | + 9 | | + 8 | | + 8 | | + 8 |
| ♄ | AR | 0 ^h 28 ^m | | | | | | 0.20 | | | | | |
| | D | 0 ^o | | | | | | - 1 | | | | | |
| ☉ | Aufg. | 6 ^h 9 ^m | 6.17 | 6.26 | 6.35 | 6.44 | 6.54 | 7. 3 | 7.12 | 7.22 | 7.31 | 7.39 | 7.47 |
| | Unterg. | 17 ^h 27 ^m | 17.16 | 17. 4 | 16.53 | 16.43 | 16.33 | 16.23 | 16.15 | 16. 7 | 16. 0 | 15.54 | 15.49 |
| ☾ | Aufg. | 16 ^h 9 ^m | 18. 3 | 20 37 | 0.43 | 6.32 | 12 36 | 15.29 | 17.13 | 21.20 | 1.53 | 8. 2 | 12.49 |
| | Unterg. | — | 6.31 | 12.57 | 15.52 | 17.11 | 19.59 | 1.12 | 8.12 | 13. 7 | 14.47 | 16.24 | 21.34 |
| Sternzeit im mittl. Mittg. | | 12 ^h 54 ^m 53 ^s | 13.14.36 | 13.34.19 | 13.54. 1 | 14.13.44 | 14.33.27 | 14.53.10 | 15.12.53 | 15.32.35 | 15.52.18 | 16.12. 1 | 16.31.44 |
| Zeitgl. | | - 11 ^m 28 ^s | - 12.54 | - 14. 7 | - 15. 6 | - 15.49 | - 16.14 | - 16.20 | - 16. 6 | - 15.30 | - 14.34 | - 13.16 | - 11.39 |

Mittlere Zeit = wahre Zeit + Zeitgleichung.

| Mondphasen in M.E.Z. | Neumond | Erstes Viertel | Vollmond | Letztes Viertel |
|----------------------|---|---|--|--|
| | Okt. 25, 7 ^h 47 ^m Nov. 23, 22 ^h 53 ^m | Okt. 3, 7 ^h 14 ^m Nov. 1, 15 ^h 16 ^m Nov. 30, 22 ^h 44 ^m | Okt. 9, 22 ^h 3 ^m Nov. 8, 8 ^h 58 ^m | Okt. 17, 4 ^h 35 ^m Nov. 16, 0 ^h 41 ^m |

| Planetensichtbarkeit | Merkur | Venus | Mars | Jupiter | Saturn |
|----------------------|--|--|--|---|--|
| im Oktober | unsichtbar | morgens 4 bis 3 ¹ / ₂ Std. lang sichtbar | morgens 1 ¹ / ₄ bis 3 ³ / ₄ Std. lang in der Jungfrau sicht- bar | morgens bis 4 ¹ / ₂ Stunden lang im Löwen sichtbar | noch fast die ganze Nacht hindurch sicht- bar |
| im November | morgens um die Mitte des Monats 1 Stunde lang sichtbar | zuletzt nur noch knapp 3 Stunden lang sichtbar | die Sichtbar- keitsdauer wächst bis auf 2 Stunden | die Sichtbar- keitsdauer wächst bis auf 7 Stunden an | die Sichtbar- keitsdauer am Abendhimmel sinkt bis auf 8 ¹ / ₂ Stunden |

Sternbedeckungen für Berlin.

| | Stern | Eintritt | Q | Austritt | Q |
|---------|-----------|--|------------------|---|------------------|
| Okt. 27 | β Scorpii | 17 ^h 1 ^m ,6 M.E.Z. | 171 ^o | 17 ^h 29 ^m ,4 M.E.Z. | 218 ^o |
| Nov. 9 | ε Tauri | 21 39 2 | 114 | 22 25 0 | 202 |

Veränderliche Sterne (M.E.Z.):

| | | | | | | | |
|----------------------|----------------|---------|---------------------------------|----------------|---------|-----------------|---------------|
| Okt. 2 | R Hydrae-Max. | Okt. 29 | 21 ^h 46 ^m | Algol-Min. | Nov. 18 | 20 ^h | δ Cephei-Max. |
| 6 22 ^h | δ Cephei-Max. | 30 | 21 | β Lyrae-Min. | 18 23 | 28 ^m | Algol-Min. |
| 6 23 14 ^m | Algol-Min. | Nov. 1 | 18 35 | Algol-Min. | 21 20 | 17 | Algol-Min. |
| 9 20 3 | Algol-Min. | 2 | 19 | η Aquilae-Min. | 24 19 | 7 | ζ Gemin.-Min. |
| 11 | o Ceti-Max. | 2 | 23 | β Lyrae-Max. | 25 18 | | β Lyrae-Min. |
| 17 23 | β Lyrae-Min. | 12 | 20 | β Lyrae-Min. | 28 20 | | β Lyrae-Max. |
| 21 19 | η Aquilae-Max. | 15 | 22 | β Lyrae-Max. | 29 20 | | ζ Gemin.-Max. |
| 24 | R Lyrae-Min. | 16 | | R Lyrae-Max. | | | |

F. Koerber.

Nachdruck nur mit Quellenangabe und mit Genehmigung der Verlagshandlung gestattet.