Zeitschrift
für den
Physikalischen und Chemischen Unterricht.

XII. Jahrgang. Viertes Heft. Juli 1899.

Die Grundgesetze der Elektrostatik und die Folgerungen aus ihnen.

Von
H. Kuhfahl in Landsberg a. W.

Eine experimentelle Einführung in den Begriff des elektrostatischen Potentials und seine Verwendung im Unterricht ist in dieser Zeitschrift mehrfach gegeben worden (vgl. Poske, *III 161*, Szymanski, *IV 11*, Noack, *VI 221*). Die folgenden Ausführungen bringen, auf dieser Grundlage weiterbauend, eine Entwicklung der wichtigsten elektrostatischen Erscheinungen, abgeleitet aus 4 experimentell zu beweisenden Grundgesetzen, in dem Umfange und der Ausführung, wie ich sie im Unterrichte der Prima des hiesigen Realgymnasiums am Schlusse des Kursus zusammenfassend gebe. Ausgelassen sind hier der Kürze wegen gewisse in die meisten Lehrbücher übergegangene Teile, wie die experimentelle Demonstration des Coulombschen Gesetzes und der Eigenschaft der Leiter sowie die Ableitung des Potentials eines geladenes Punktes. Die Entwicklung ist vollständig hypothesenfrei, denn wenn z. B. von geladenen Leitern gesprochen wird, ist durchaus nicht damit präjudiziert, dafs die Elektrizität ihren Sitz auf dem Leiter und nicht im umgebenden Dielektricum hat. Der Ausdruck ist ebenso berechtigt und hat nicht mehr zu bedeuten, als wenn wir etwa vom Untergange der Sonne sprechen. Die Kraftlinien sind nichts weiter als ein bequemes und anschauliches mathematisches Hilfsmittel, das oft schwierigere rechnerische Entwicklungen vorteilhaft ersetzt. Von hypothetischen Zug- und Druckspannungen ist nirgends die Rede. Ob der Beweis für das erste Grundgesetz sowie die Ableitung des inneren und äufseren Potentials einer homogenen Kugelschale neu sind, kann ich von hier aus nicht controlieren; ich habe sie aber bisher nirgends gefunden, obgleich sie so einfach sind. Noch will ich bemerken, dafs die vorkommenden Rechnungsausdrücke beim Unterrichte der Klarheit wegen zunächst immer an bestimmten Zahlenbeispielen entwickelt werden.

1. Grundgesetze.

I. Bei jeder Elektrizitätserregung entsteht ebensoviel positive wie negative Elektrizität.

II. Das Coulombsche Gesetz.

III. Es giebt Körper, in denen die Elektrizität frei beweglich ist — Leiter.

IV. Die Nichtleiter haben für die elektrischen Kraftwirkungen verschiedene Durchlässigkeit — dielektrische Körper.

2. Das elektrostatische Kraftfeld.

Um einen mit der Elektrizitätsmenge Q geladenen Massenpunkt denkt man sich concentrische Kugeln mit den Radien r und ρ gelegt, dann ist die Feldstärke auf der Oberfläche derselben $\frac{Q}{r^2}$ bezw. $\frac{Q}{\rho^2}$. Zieht man nun von dem Punkte strahlig und gleichmäfsig verteilt $4\pi Q$ Geraden, so ist die Dichtigkeit derselben auf den Kugelflächen (ihre Anzahl pro Flächeneinheit) $\frac{Q}{r^2}$ bezw. $\frac{Q}{\varrho^2}$. Die Dichtigkeit dieser Linien stellt also die elektrische Feldstärke, ihre Richtung die Richtung der Kraft dar — Kraftlinien. Umgekehrt: Wird Richtung und Gröfse der Feldstärke eines geladenen Punktes an irgend einer Stelle der Umgebung durch Richtung und Dichtigkeit von Linien an der betreffenden Stelle dargestellt, so endigen diese Linien nirgends blind und haben ihre Anfangspunkte in dem geladenen Massenpunkte. Ihre Gesamtzahl ist das 4π fache der Elektrizitätsmenge.

Durchdringen sich die Felder zweier geladenen Punkte an einer Stelle mit den Feldstärken m und n, deren Resultierende p ist, so gehen durch die zu p normale Einheitsfläche von dem einen Felde $m \cdot \cos mp$, von dem andern $n \cdot \cos np$, zusammen $m \cdot \cos(mp) + n \cdot \cos(np) = p$ Kraftlinien. Es folgt also allgemein: Wird Richtung und Gröfse der Feldstärke eines elektrostatischen Feldes mit beliebiger Massenverteilung durch Richtung und Dichtigkeit von Linien dargestellt, so ist die Gesamtsumme derselben gleich dem 4πfachen der gesamten Elektrizitätsmenge, also unabhängig von der Art der Verteilung derselben.

Da immer gleich viel positive und negative Elektrizität erregt wird, so entstehen ebensoviel Kraftlinienanfänge wie -enden. Es verlaufen also auch die Kraftlinien nicht blind in die Unendlichkeit, sondern haben ihren Anfang in einem positiv, ihr Ende in einem negativ geladenen Körper. Die Dichtigkeit der Kraftlinienanfänge bezw. -enden auf einem geladenen Körper ist gleich dem 4πfachen der Dichtigkeit der dort befindlichen Elektrizitätsmenge.

Die Dichtigkeit der Kraftlinien stellt ferner die Arbeit für die Bewegung der Elektrizitätseinheit über die Einheit des Weges in der Kraftrichtung dar und, da diese Arbeit das Mafs für die Potentialdifferenz abgiebt, so ist die Dichtigkeit der Kraftlinien gleich dem Potentialgefälle für die Wegeinheit. Dasselbe gilt auch für Richtungen, die mit der Kraftrichtung irgend einen Winkel bilden. Als Dichtigkeit der Kraftlinien ist natürlich hier wie überall die Anzahl der Kraftlinien zu nehmen, die die Einheit der zu jener Richtung normalen Fläche durchsetzen. Verfolgt man den Lauf der Kraftlinien oder auch nur einen Weg, der mit ihrer positiven Richtung einen spitzen Winkel bildet, so kommt man stets zu Stellen niederen Potentials.

3. *Potential eines ausgedehnten geladenen Leiters.*

Innerhalb eines massiven Leiters können nach dem 3. Grundgesetze keine Kraftlinien bestehen — das Potential ist überall dasselbe. Aber auch im Innern eines hohlen geschlossenen Leiters mufs das Potential constant sein, vorausgesetzt, dafs derselbe keine isolierten Elektrizitätsmengen einschliefst. Denn wenn eine Kraftlinie irgendwo in das Innere hineinginge, so müfste sie doch schliefslich wieder in dem Leiter endigen, und zwar nach dem Obigen an einer Stelle niederen Potentials, was dem Grundgesetze für Leiter widerspricht. Daher können keine Kraftlinien in das Innere hineingehen und demnach auf der Innenfläche sich auch keine Kraftlinienanfänge oder -enden, das heifst keine Elektrizitätsmengen befinden. Auch bei einem hohlen Leiter ist Elektricität nur auf der äufseren Fläche vorhanden und das Potential im Innern ist gleich dem dieser Fläche.

Das äufsere Feld einer homogenen Kugelschale ist aus Symmetriegründen gleichmäfsig geradstrahlig, wie wenn ihre Elektricitätsmenge im Mittelpunkte vereinigt wäre; aber auch die Gesamtzahl der Kraftlinien ist dieselbe, nämlich $4\pi Q$. Es folgt also, dafs eine homogene Kugelschale so nach aufsen wirkt, als ob ihre Masse im Mittelpunkte vereinigt wäre. Dafs das Potential einer homogenen Kugelschale im Innern constant ist, ist schon in dem Früheren mit enthalten. Diese Sätze gelten nun auch für andere Kräfte, deren Wirkung umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung ist, wie z. B. für die Gravitation.

4. *Experimenteller Beweis des ersten Grundgesetzes.*

Denkt man sich eine Anzahl positiv und negativ geladener Körper von einer leitenden Fläche umgeben, so verlaufen die Kraftlinien zum Teil von den positiven zu den negativen Teilchen, die übrigen werden von der Fläche aufgefangen. Ist die algebraische Summe der Ladungen im Innern gleich Null, so können keine Kraftlinien von der Fläche nach aufsen gehen. Denn zunächst müfsten ebenso viele negative wie positive Linien nach aufsen gehen, die positiven könnten aber nicht in den negativen zur leitenden Fläche zurücklaufen, weil diese sonst Stellen verschiedenen Potentials hätte. Die Linien können aber auch nicht in die Unendlichkeit verlaufen, denn wenn man diese Fläche mit einer zweiten leitenden Fläche einhüllte, so würde man von der ersten auf einer positiven Kraftlinie zu einem niederen und auf einer negativen zu einem höheren Potential der zweiten kommen, während dieses überall constant sein soll. Geht nun also von der ersten Fläche keine Kraftlinie nach aufsen, so ist ihr Potential gleich Null. Würde man in einem leitenden Hohlkörper die stärksten Elektrisiermaschinen in Thätigkeit setzen, so würden aufserhalb die empfindlichsten Elektroskope nichts davon nachweisen. Es ist dieses die Umkehrung des bekannten Faradayschen Versuches für die Constanz des Potentials im Innern eines hohlen Leiters. Während dieser der genaueste experimentelle Beweis für das Coulombsche Gesetz ist, leistet jener dasselbe für das erste Grundgesetz.

Um ihn im Kleinen auszuführen, setzt man auf ein Elektroskop ein hinreichend hohes leitendes Gefäfs — etwa ein mit Stanniol überzogenes Papprohr — oder verbindet ein solches isoliertes Gefäfs leitend mit dem Elektroskop. Reibt man nun das Ende eines Hartgummistabes mit einem Stück Tuch, das um das Ende eines eben solchen Stabes geleimt ist, und taucht den einen derselben in das Gefäfs, so divergieren die Blättchen des Elektroskopes. Bringt man aber auch noch das elektrisierte Ende des andern Stabes hinein, so verschwindet der Ausschlag, erscheint aber wieder, wenn man das eine Stäbchen herausnimmt. Es empfiehlt sich, die Griffenden der Stäbe durch Paraffin zu isolieren (d. Zeitschr. *X 148*).

5. *Influenz.*

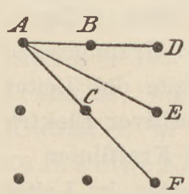
Wird ein ungeladener Leiter in ein elektrostatisches Feld gebracht, so müssen die ihn treffenden Kraftlinien in der Oberfläche der zugewandten Seite endigen; hier wird sich daher negative Elektricität befinden. Nach dem ersten Grundgesetze müssen aber ebensoviele positive Kraftlinien an der abgewandten Seite den Leiter wieder verlassen; an dieser Stelle befindet sich eine gleiche Menge positiver Elektrizität. Beide Elektrizitäten sind bei der Verteilung der Richtung der Kraftlinien — positiver bezw. negativer — gefolgt, die bei der Entstehung des Feldes im Leiter auftraten. Der Leiter hat ein positives Potential, obgleich seine Gesamtelektrizitätsmenge gleich Null ist, denn die von ihm ausgehenden positiven Kraftlinien laufen zu einer Stelle mit dem Potential Null, etwa zu der Erde.

6. Das Elektroskop.

Das Elektroskop mit leitender Hülle (Beetzsche Form) zeigt nur dann einen Ausschlag, wenn Kraftlinien von den Blättchen zur Hülle gehen, wenn diese also verschiedenes Potential haben. Die Elektroskope mit nicht leitender Umhüllung geben leicht zu Irrtümern Veranlassung, weil man das Potential der Umgebung der Blättchen vielfach nicht recht beurteilen, und weil auch die Umhüllung selbst Ladung annehmen kann. So wird z. B. der Versuch von Kolbe (d. Zeitschr. *I 154*) je nach der Art des Elektroskopes verschieden ausfallen. Werden 2 Elektroskope mit leitender Umhüllung in ca. 20 cm Abstand aufgestellt und nähert man dem einen eine geriebene Glasstange, während man beide Knöpfe durch einen Draht mit isolierender Handhabe verbindet, so erhält das ganze influenzierte Leitersystem ein positives Potential und positive Kraftlinien gehen von beiden Blättchenpaaren zu der Umhüllung mit dem Potential Null: beide Elektroskope divergieren mit positiver Elektrizität. Entfernt man nun den Verbindungsdraht und dann die Glasstange, so fallen die Blättchen des näheren Elektroskopes zunächst zusammen und divergieren dann mit negativer Elektrizität. Die Kraftlinien dringen zu Anfang des Versuches fast ausschliefslich in den Knopf des ersten Elektroskopes ein, während sie das Leitersystem wenigstens vorwiegend innerhalb beider Elektroskope verlassen. Nach Aufhebung der Verbindung enthält also das erste mehr Kraftlinienenden wie -anfänge, und bei Entfernung der Glasstange wandert die negative Elektrizität auch in die Blättchen. Besteht dagegen die Hülle aus nicht leitendem Glase, so kommt es darauf an, ob die äufsere Fläche derselben, wie gewöhnlich, durch Feuchtigkeit etwas leitend geworden ist; in diesem Falle wird dasselbe wie vorher eintreten. Findet dies aber nicht statt, so dringen die Kraftlinien des Stabes in das Innere des ersten Elektroskopes ein, und es kommt nun auf die Stellung desselben zu dem Glasstabe an, ob die Blättchen mit positiver oder negativer Elektrizität divergieren. Ist das Potential der Umgebung der Blättchen höher als das des Leitersystems, so wird negative, ist es niedriger, so wird positive Elektrizität angezeigt. Es kann auch der Fall eintreten, dafs gar keine Divergenz stattfindet, wenn nämlich die Blättchen und ihre Umgebung gleiches Potential haben. Wo im Folgenden vom Elektroskop die Rede ist, ist immer, wenn nichts anderes bemerkt, ein solches mit leitender Hülle gemeint.

7. Dichtigkeit der Elektrizität auf einer Platte.

Werden 9 gleich stark geladene Körperchen in der Form eines Quadrates angeordnet wie in der Figur, und bezeichnet man die verschiedenen Entfernungen je zweier derselben der Gröfse nach mit a, b, c, d, e (für AB, AC, AD, AE, AF), das Potential eines Körperchens in einer dieser Entfernungen mit P_a, P_b, P_c, P_d, P_e, das Potential jedes Körperchens, wenn die andern entfernt sind, mit P, so ist



$$P > P_a > P_b > P_c > P_d > P_e$$

und das Potential für den Punkt

$$
\begin{aligned}
&A\colon\ P_A = P + 2\,P_a + P_b + 2\,P_c + 2\,P_d + P_e,\\
\text{für } &B\colon\ P_B = P + 3\,P_a + 2\,P_b + P_c + 2\,P_d,\\
\text{für } &C\colon\ P_C = P + 4\,P_a + 4\,P_b,\\
\text{also } &\quad P_A < P_B < P_C.
\end{aligned}
$$

Werden die Punkte leitend mit einander verbunden, so wird Elektrizität von C nach B und von B nach A strömen. Die Entwicklung läfst sich leicht verallgemeinern, und so folgt, dafs in einer Platte sich die Elektrizität an den Kanten und noch mehr an den Ecken anhäuft.

8. Der Kugelcondensator.

Ist eine mit der Menge Q geladene Kugel von einer conzentrischen abgeleiteten Kugelschale im Abstande d umgeben, und ist der mittlere Radius der Zwischenschicht r, so verteilen sich die $4\pi Q$ Kraftlinien, die von der Kugel ausgehen, auf eine Fläche von der Gröfse $4\pi . r^2$. Daher ist die Dichte der Kraftlinien und damit das Einheitgefälle des Potentials $\frac{Q}{r^2}$ und das Gesamtgefälle, also auch das Potential der Kugel gleich $\frac{Q \cdot d}{r^2}$. Daraus folgt die Kapazität des Condensators $\frac{r^2}{d}$.

9. Der Plattencondensator.

Stellt man einer mit der Menge Q geladenen Platte zu beiden Seiten in hinreichend kleinen Entfernungen a und b gleiche abgeleitete Platten gegenüber, so ist das Gesamtgefälle des Potentials zu beiden Seiten dasselbe, daher das Einheitsgefälle und damit die Dichtigkeit der Kraftlinien umgekehrt proportional den Entfernungen: $d_a . a = d_b . b$. Kann die Zerstreuung der Kraftlinien am Rande vernachlässigt werden, so teilen sich die $4\pi Q$ Linien in dem angegebenen Verhältnisse. Ist noch a im Verhältnis zu b sehr klein, so gehen fast alle Linien in die erste Platte über, das Feld ändert sich nicht mehr wesentlich, wenn die zweite Platte ganz entfernt wird. Haben die Platten je den Flächeninhalt f, so ist die Dichtigkeit der Linien oder das Einheitgefälle des Potentials fast $\frac{4\pi Q}{f}$ und daher das Gesamtgefälle, also auch das Potential der Hauptplatte nahezu $\frac{4\pi Q a}{f}$. Die Kapazität folgt daraus $= \frac{f}{4\pi a}$. In Wirklichkeit wird immer noch ein kleiner Teil der Linien nicht zu der abgeleiteten Platte gehen, sondern sich zerstreuen, oder von den Blättchen eines etwa mit der Hauptplatte leitend verbundenen Elektroskopes zur Hülle gehen und eine Divergenz derselben hervorrufen. Wird die abgeleitete Platte um die Hälfte von a genähert, so wird etwa die Hälfte der zerstreuten Linien und auch der im Elektroskop nach derselben herübergezogen und daher die Divergenz der Blättchen entsprechend verringert. Die Dichtigkeit der Linien zwischen den Platten wird aber dadurch nicht merklich vergröfsert.

10. Allgemeine Sätze über Influenzwirkung.

Die letzten Betrachtungen können noch erweitert werden. Denken wir uns wieder einer geladenen Platte zwei gleiche abgeleitete zu beiden Seiten in gleichen Entfernungen gegenübergestellt, so wird, abgesehen von der Zerstreuung, die Hälfte der Linien in jede derselben übergehen. Nähern wir die eine um die Hälfte des Abstandes, so gehen in diese zwei Drittel der Linien über, in die andere ein Drittel und das Potentialgefälle auf dieser Seite, also auch das Potential der Hauptplatte wird im Verhältnis 2 : 3 verringert. Das Potential eines geladenen Körpers wird durch die Annäherung eines abgeleiteten verringert, die Kapazität erhöht. Der Erfolg hängt wesentlich von der Gröfse des abgeleiteten Körpers ab.

Denken wir uns ferner die Hauptplatte durch Verbindung mit einem Condensator auf constantem Potential P erhalten, eine zweite isolierte und ungeladene in 1 cm Entfernung gegenübergestellt und wieder dahinter in 1 cm Entfernung noch eine dritte — abgeleitete — Platte, so geht der gröfste Teil der Kraftlinien von der

Hauptplatte durch die zweite zur dritten. Das Gesamtgefälle des Potentials ist P und das Einheitsgefälle $\frac{P}{2}$; daher ist auch das Potential der influenzierten Platte $\frac{P}{2}$. Wird aber die dritte Platte der zweiten um $^1/_2$ cm genähert, so bleibt das Gesamtgefälle P, das Einheitsgefälle wird $^2/_3\,P$ und das Potential der influenzierten Platte wird $\frac{P}{3}$. Nähert man einem ungeladenen influenzierten Körper einen abgeleiteten, so wird das Potential verringert.

Wird aber die abgeleitete Platte zwischen die Hauptplatte und die influenzierte gestellt, so gehen gar keine Linien mehr zu der letzteren; ihr Potential geht auf Null herunter, die abgeleitete Platte wirkt als Schirm.

Der Unterschied der Schirmwirkung gegen die vorher besprochene besteht also darin, dafs bei jener die Anzahl der die influenzierte Platte treffenden Kraftlinien verringert wird, bei dieser aber nicht; ja dafs diese Zahl in letzterem Falle sogar vermehrt werden kann, wenn nämlich die Hauptplatte constantes Potential hat. Dafür wird aber hier die Länge des Gefälles zum Potential Null verkürzt.

Hieraus ergiebt sich für die von Herrn Szymansky (d. Zeitschr. *II 129*) beschriebenen Erscheinungen eine einfache und, wie ich glaube, vollständige Erklärung. Nähert man dem Knopfe des durch einen positiv geladenen Körper influenzierten Elektroskopes den Finger, so wird schon vor der Berührung das Potential desselben durch den vereinigten Einflufs der Verkürzung des Potentialgefälles und der Schirmwirkung verringert. Der Erfolg ist also derselbe, wie wenn man das Elektroskop etwas von dem geladenen Körper entfernt, dann auf das Potential Null bringt und hierauf wieder an seinen ersten Ort stellt.

Das Potential ist also noch positiv, aber verringert. Wird nun aber der geladene Körper entfernt, so fallen die Blättchen zunächst zusammen und divergieren dann mit negativer Elektrizität, da ja aus dem ungeladenen Elektroskop positive Elektrizität abgeleitet ist.

Als dritte in demselben Sinne wirkende Ursache kommt noch die Verringerung des Potentials des geladenen Körpers durch Annäherung des Fingers hinzu. Aber auch wenn man denselben auf constantem Potential hält, verläuft der Versuch in demselben Sinne.

Benutzt man als geladenen Körper eine Platte und nähert den Finger derselben von der abgewandten Seite, so tritt doch derselbe Erfolg ein. Wir haben hier eine Verringerung des Potentials der Platte und eine Verminderung der Zahl der das Elektroskop treffenden Kraftlinien, also eine Schirmwirkung vereinigt. Hält man aber die Platte auf konstantem Potential, so tritt keine Wirkung am Elektroskop ein.

Benutzt man in allen diesen Fällen zur Ableitung einen feinen Draht und verfährt möglichst schnell, damit keine erhebliche Spitzenausströmung stattfindet, so fallen die Blättchen zusammen und bleiben auch so, solange der geladene Körper an seiner Stelle bleibt. Jene drei Wirkungen sind eben wesentlich abhängig von der Gröfse des abgeleiteten Körpers, daher kann jetzt wenigstens keine merkliche Divergenz nach der Ableitung eintreten.

Verbindet man ferner das Elektroskop mit einem grofsen Conduktor und nähert den Finger dem entfernten Ende, so tritt keine merkliche Verringerung seines Potentials ein, da der Conduktor im Verhältnis zum Finger zu grofs ist, Schirmwirkung und Verringerung des Potentials des geladenen Körpers aber durch die zu grofse Entfernung ausgeschlossen sind. Nähert man aber den Finger dem Knopfe des Elektroskopes, so treten sofort diese beiden letzteren Einwirkungen auf und, wenn auch der geladene Körper auf konstantem Potential gehalten wird, bleibt immer noch die Schirmwirkung übrig. Alle diese Versuche lassen sich sehr leicht anstellen.

Schliefslich sei noch der Einflufs zweier geladenen Leiter auf einander untersucht. Es sei ein Körper mit der Menge $+Q$ geladen und sein Potential sei P. Es werden jetzt 2 gleiche je mit der Menge q geladene Leiter auf verschiedene Entfernungen genähert, dann ändert sich das Potential des ersten Körpers auf $P+p$, wobei p und q gleiches Vorzeichen haben. Werden nun die beiden genäherten Leiter leitend verbunden, so fliefst negative Elektrizität zu dem näheren, positive zu dem ferneren Körper, und das Potential des ersten Körpers nimmt ab auf $P+p-p_1$. Ist q und damit p positiv, so kann je nach Umständen $p-p_1$ positiv, Null oder negativ sein. Daher folgt: wird einem positiv geladenen Leiter ein anderer positiv geladener genähert, so kann das Potential des ersten steigen, kann aber auch fallen. Ist der zweite Leiter gar nicht oder negativ geladen, so fällt das Potential des ersten stets.

11. Das 4. Grundgesetz.

Zur Demonstration des dielektrischen Verhaltens der Körper benutze ich einen leicht herstellbaren Apparat, der auch schon zu den Versuchen für No. 8, 9 und 10 Verwendung findet, nämlich einen Schlittencondensator einfachster Form. Die Platten sind von Holz und mit Stanniol überzogen, befestigt durch Hartgummistäbe — Stücke von Federhaltern — auf Schlitten, die auf einer in cm geteilten Holzschiene gleiten, so dafs man die jeweilige Entfernung der Platten leicht ablesen kann. Die erste Platte wird mit dem Knopfe eines gut isoliert aufgestellten Aluminiumblatt-Elektroskops verbunden, und in eine an diesen Knopf gelötete Öse wird ein kurzer Draht gehängt, der die leitende Hülle berührt. Mit einem Hartgummistäbchen, das an einem kleinen Stativ befestigt ist, kann man den Draht etwas heben und so die leitende Verbindung zeitweilig unterbrechen. Der Versuch verläuft nun in folgender Weise: Man leitet die zweite Platte ab, ladet die erste ziemlich stark und setzt zwischen die Platten eine Paraffinscheibe auf einen geeigneten Schlittenuntersatz. Das Elektroskop zeigt noch keinen Ausschlag, weil Blättchen und Hülle gleiches Potential haben. Hebt man nun die leitende Verbindung auf, so darf auch jetzt im Verlaufe einer kurzen Zeit keine merkliche Divergenz eintreten, sonst ist nicht gut isoliert. Ist die Isolation hinreichend, so verbindet man noch wieder Draht und Hülle, hebt die Verbindung sofort wieder auf und entfernt die Paraffinscheibe. Die Blättchen divergieren jetzt, und man nähert die Platten einander so weit, bis die Divergenz wieder verschwunden ist.

Es sei die Dicke der Paraffinscheibe b, die Strecke, um die die beiden Platten einander beim Schlusse des Versuches genähert wurden, c, so ist die Paraffinstrecke b der Luftstrecke $b-c$ in Bezug auf das Potential gleichwertig, das Einheitsgefälle desselben im Paraffin mufs sich zu dem in der Luft umgekehrt wie $b:(b-c)$ verhalten. Dieser Quotient ist die Dielektrizitätsconstante des Paraffins oder genauer das Verhältnis derselben zu der der Luft. Daher ist im Paraffin auch die Dichtigkeit der Kraftlinien in demselben Verhältnisse geringer, in Luft d, in Paraffin $\frac{d}{K}$, und auf der der ersten Platte zugewandten Seite der Paraffinscheibe befinden sich Kraftlinienenden, also negative, auf der andern ebensoviele Anfänge, also positive Elektrizität.

Von den beiden Platten mufs die eine isoliert sein, die andere auf constantem Potential gehalten werden. Daher kann man den Versuch auch umkehren. Man stellt das mit der ersten Platte verbundene Elektroskop nicht isoliert auf und verbindet das andere mit einer geladenen Leidener Flasche; im übrigen verläuft der Versuch wie vorher. Es läfst sich aber in diesem Falle die Isolation nicht so bequem prüfen. Was den Zahlenwert für K anbetrifft, so erhielt ich bei Messungen meist Werte zwischen 2 und $2^1/_2$, sie sind also für Schulversuche hinreichend genau.

12. Das erweiterte Coulombsche Gesetz.

Bringt man einen mit der Menge Q geladenen kleinen Körper in eine dielektrische Flüssigkeit mit der Dielektrizitätsconstanten K, so ist die Dichtigkeit der Kraftlinien in der Entfernung r und damit auch die Kraftwirkung auf die Menge Eins gleich $\frac{Q}{K \cdot r^2}$. Daher wird die Menge Q' mit der Kraft $F = \frac{Q \cdot Q'}{K \cdot r^2}$ abgestofsen. Die Wirkung der Menge Q ist gewissermafsen durch das Dielektricum auf die einer Menge Q/K reduziert. Diese letztere Gröfse ist von **Hertz** als die freie Elektrizität bezeichnet worden im Gegensatz zu der bisher mit Q bezeichneten wahren Elektrizitätsmenge, der Menge, die bei der Überführung eines geladenen Körpers aus einem Dielektricum in ein anderes unverändert bleibt. Bezeichnen wir diese Gröfsen mit Q_f und Q_w, so ist die Kraftwirkung zwischen zwei Elektrizitätsmengen

$$F = \frac{Q_w \cdot Q_w'}{K r^2} = \frac{K \cdot Q_f \cdot Q_f'}{r^2} = \frac{Q_w \cdot Q_f'}{r^2}.$$

Apparat für Wechselströme.

Von

W. Weiler in Efslingen.

Aus dem Streben, das in Band VII (S. I) dieser Zeitschrift veröffentlichte und sich an den Doppelstromwechsler anschliefsende Influenzdrehfeld in einfacherer Form für den Unterricht darzustellen, ist der im folgenden beschriebene, auf ähnlichem Prinzip beruhende Apparat zur Erzeugung von Ein-, Zwei- und Dreiphasenströmen hervorgegangen. Äufserlich hat er einige Ähnlichkeit mit dem von **W. Thomson** 1867 construierten Replenisher. Dieser ist jedoch eine „aufhäufende Influenzmaschine", also ein Generator, der neue Apparat dagegen ein Stromwender und Stromumwandler, und zwar sowohl für Übergangs- als für Leitungsströme, wodurch er die statische und die dynamische Elektrizität in nahe Beziehungen bringt.

Er besteht (Fig. 1 und 2) aus einem Cylinder von Ebonit, Glas oder paraffiniertem Hartholz. Dieser ist oben tiefer eingedreht und trägt hier den Schleifring R aus Kupfer- oder Messingblech; über ein noch engeres Cylinderstück ist der zweite Schleifring R' geschoben. Die Stahl- oder Messingachse AA' durchsetzt den ganzen Cylinder; oben ist an dieser Achse eine Kurbel angeschraubt oder angenietet und unten ist mit Siegellack eine Glasröhre darüber gekittet; das Glasrohrstück reicht noch etwa 1 cm tief in den Cylinder hinein und bedeckt die Achse bis zur Spitze.

Längs zweier, diametral gegenüberliegender Mantellinien ist mit Schellack ein etwa 1 cm breiter Streifen CC' von dickem Stanniol oder dünnem Kupferblech aufgekittet; am Boden läuft dieser Streifen an der Achse vorbei und oben sind seine Enden unter die Schleifringe gepresst, aber so, dafs der Streifen, der zum obern

Ring R' führt (in der Figur 1 der hintere Streifen), vom untern Schleifring R wohl isoliert ist; das Ebonitcylinderstück unter R hat hierzu einen tiefen Einschnitt längs der Achse oder von unten nach oben. Verwendet man Glas, so wird man den untern Ring R durch Glimmer von dem darunter befindlichen Stanniolstreifen sicher isolieren. B und B' sind die Schleifbürsten, welche die Elektrizität von den Ringen R und R' abnehmen und zu den Messingklemmen KK' führen, welche auf Träger von Glas oder Ebonit aufgekittet sind. In der Figur 1 ist nur eine dieser Klemmen abgebildet.

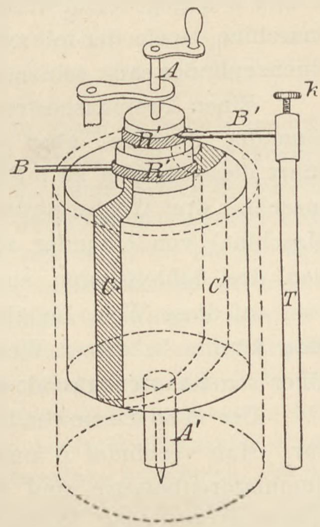


Fig. 1.

Dieser Cylinder hat nun in einem Glasgefäfs zu rotieren, das in Fig. 1 gestrichelt und in Fig. 2 durch den äufsern Kreis angedeutet ist. Es sind an ihm innen fast bis zum Boden reichende dicke Stanniolstreifen mm' und nn' angekittet, die zusammen etwa $^2/_3$ des Umfangs bedecken. Die mit N und S bezeichneten Klemmen führen diesen Polstreifen die Elektrizität zu. (Mit $^2/_3$ ungefähr umfassen auch die Polschuhe einer Zweipoldynamo den Anker.)

Wird N mit dem positiven Pol einer Influenzmaschine verbunden und S mit dem negativen, so wird durch mm' in dem Metallstreifen C bei seiner durch den Pfeil angegebenen Umdrehung negative Elektrizität und in C' positive Elektrizität induziert; die negative Elektrizität wird durch Ring R und Bürste (Feder) B und die positive Elektrizität durch Ring R' und Bürste B' abgeleitet. Es findet also bei jeder vollen Umdrehung des Cylinders im äufseren Kreise ein Elektrizitätswechsel statt.

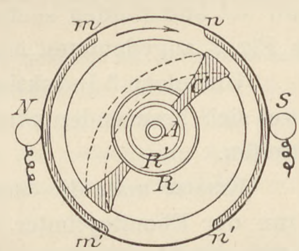


Fig. 2.

Die positiv und negativ geladenen Klemmen N und S mit ihren Polflächen mm' und nn' entsprechen dem magnetischen Felde N und S einer Dynamomaschine (Fig. 3). Durch den zwischen den cylindrisch ausgebohrten Polschuhen vorhandenen Magnetismus wird in der rotierenden Kupferdrahtschleife CC' ein elektrischer Strom induziert, der durch die Schleifringe R und R' und die Bürsten B und B' abgenommen und in den äufseren Stromkreis geführt wird. Auch hier wird bei der Drehung der Schleife um eine halbe Wendung die Stromrichtung umgekehrt.

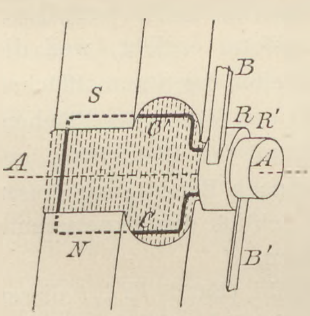


Fig. 3.

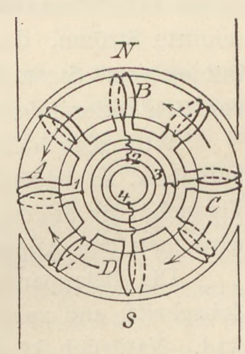


Fig. 4.

Bringt man zwei Metallstreifen auf dem Influenz- und Induktionscylinder an, die sich auf dem Boden rechtwinklig kreuzen, aber hier durch Glimmer von einander isoliert sind und die zu zwei weiteren Schleifringen und Bürsten geführt werden, so erhält man zwei Influenz- und Induktionsströme, die um je 90^0 nach einander sich entwickeln oder gegeneinander verschoben sind und ein Influenz- und Induktionsdrehfeld bilden. Nimmt man von der in Fig. 4 dargestellten Zweipolmaschine an den Punkten 1 und 3 Strom ab, so erhält man einen Einphasenstrom. Man kann aber von den Punkten 2 und 4 ebenfalls einen Wechselstrom abnehmen und dieser ist um 90° in der Phase gegen den von 1 und 3 abgegebenen Wechselstrom verschoben. Die Maschine ist eine Zweiphasenmaschine, sowie der mit zwei sich am Boden kreuzenden Stanniolstreifen versehene Influenzcylinder samt seinem elektrischen Felde einen Zweiphasenstromwender darstellt.

Einen Dreiphasenstrom erhält man mit 3 Mantelstreifen, die um je 120° von einander abstehen, aber am Boden metallisch mit einander verbunden sind. Man führt diese Streifen zu 3 Ringen und 3 Bürsten. Ebenso kann man von einer Dynamomaschine drei Wechselströme erhalten, die in der Phase um 120° (bei einer zweipoligen Maschine) von einander abstehen. Durch Verbindungen zwischen je zwei der von den drei Schleifringen ausgehenden Leitungen entsteht ein Wechselstrom und die drei auf diese Weise möglichen Wechselströme zeigen Phasenunterschiede von 120°. Man könnte in dieser Weise noch beliebig weiter gehen. Diese Fälle entsprechen einer sogenannten geschlossenen Verkettung der Ströme.

Der neue Stromwender ist aber auch für die dynamische Elektrizität verwendbar. Man verbindet N und S (Fig. 2) mit den beiden Polen einer Primär- oder Akkumulatorenbatterie und füllt etwa bis zu halber Höhe des Gefäfses verdünnte Kupfervitriol- oder Kochsalzlösung ein. Die Induktions- und Influenzstreifen CC' schneiden dann die Stromlinien, die sich in der Lösung zwischen den Polflächen mm' und nn' auszubilden suchen, wie die Drahtschleife CC' in der Dynamomaschine die in Fig. 3 angedeuteten magnetischen Kraft- oder Induktionslinien durchsetzen.

Um nicht 3 Induktionscylinder anschaffen zu müssen, giebt man dem einen die zwei sich kreuzenden Streifen, verwendet aber beim ersten Versuche nur den einen Streifen.

Ersetzt man die Stanniolstreifen durch starke Kupfer- oder Messingbleche, so kann der Ebonitcylinder wegbleiben und nur der Stromwenderteil desselben beibehalten werden. Auch wird so der Anker übersichtlicher und wohlfeiler, und mit nur einem Streifenpaar erhält man dann die volle Analogie zu Fig. 3.

In Fig. 1 und 2 ist ein cylindrisches Glasgefäfs angenommen und gezeichnet, um die Ähnlichkeit dieses Elektricitätsfeldes mit dem Magnetfelde einer Dynamomaschine hervortreten zu lassen. Man erhält damit Wechselströme, aber nicht in der Art, wie sie in magnet- und dynamoelektromagnetischen Maschinen erzeugt werden, nämlich Ströme von wirklicher oder doch angenäherter Sinusform. Dagegen liefert der Stromwender bei Benutzung eines Glasgefäfses von quadratischem Querschnitte Ströme, deren graphische Darstellung nahezu Sinusform ergiebt, weil die Influenz- und Stromlinien durch weitere Entfernungen an den Seiten der Stanniolflächen von den rotierenden Streifen mehr geschwächt werden als in den Mitten der Flächen.

Will man denselben Apparat für statische und dynamische Elektrizität gebrauchen, so beginnt man mit der Influenz und giefst erst nach Beendigung dieser Versuche die angegebene Lösung in das Glasgefäfs. Nach Schlufs der Experimente wird man den Apparat gut reinigen und sorgfältig abtrocknen.

Die Beiapparate sind dieselben, die zum Influenzdrehfeld (Band *VII*, *1* dieser Zeitschrift) und zum Apparat für Wechsel- und Drehströme (Band *V*, *189*) angegeben sind. Natürlich können auch andere geeignete Apparate, wie nicht zu empfindliche Elektroskope und Galvanoskope, benutzt werden.

E. Leybold's Nachfolger in Köln haben wie die Anfertigung des Influenzdrehfeldes so auch die dieses Stromwenders übernommen.

Zur Vorführung der Funkentelegraphie.

Von

H. Rebenstorff in Dresden.

Das Verhalten des Cohärers kann, wie schon mehrfach in dieser Zeitschrift erwähnt worden ist, ohne neue kostbare Apparate im Unterricht gezeigt werden. Die in einfachster Weise vom Lehrer selbst hergestellten Cohärer genügen, wenn die durch elektrische Schwingungen herbeigeführte Widerstandsverminderung mittels eines Galvanoskopes gezeigt wird.

Man kann sich einen solchen aus einem Glasröhrchen von ca. 10 cm Länge, zwei Kupferdrähten und einigen Kügelchen aus zusammengedrückter Aluminiumfolie zubereiten. Die Kügelchen müssen etwas kleiner als die Weite des Röhrchens sein, liegen also leicht beweglich in letzterem zwischen den ebenfalls zu Kügelchen gewundenen Enden der Kupferdrähte. Die Drähte sind vor den Enden etwas hin und her gebogen, so dafs sie in den Röhrchen durch Reibung festsitzen. Man schiebt mit ihnen die Aluminiumkügelchen so weit zusammen, bis ein mit dem Cohärer in den Stromkreis eines Leclanché-Elementes eingeschaltetes Galvanoskop Strom anzeigt. Dann genügt meist schwaches Aufklopfen, um die Ablenkung zu verkleinern, und der Apparat ist zur Aufnahme elektrischer Wellen bereit. Funken eines Elektroskopdeckels, welche man an die elektrische Tischleitung oder an die Gasleitung abgiebt, bewirken auch in meterweiten Abständen die Erregung dieses ziemlich empfindlichen Cohärers.

Bei Versuchen, ein gewöhnliches Läutewerk in Gang zu setzen, ist es erforderlich, über einen wenigstens einigermafsen gleichmäfsig wirkenden Cohärer zu verfügen. Soll die für Schüler entschieden eindrucksvolle Leistung des Apparates erzielt werden, dass der in der Ferne fast oder ganz unhörbar überspringende Funke stets ein momentanes Anklingeln hervorruft, so thut man gut, den Cohärer fertig zu beziehen; man kann sonst leicht recht viel Zeit unnütz aufwenden.

Eine Schwierigkeit, welche sich der Selbstherstellung eines Apparates mit der erwähnten Leistung entgegenstellt, liegt bekanntlich darin, dafs die bei dem Arbeiten des Läutewerkes auftretenden elektrischen Schwingungen den Cohärer an der Gewinnung seines früheren hohen Widerstandes hindern. Der Verfasser fand jedoch, dafs man auch bei Benutzung eines Relais älterer Construktion von einer gewöhnlichen elektrischen Hausklingel das Abklopfen des Relais besorgen lassen kann, wenn man die Klingel in einigem Abstande — etwa 1 m — aufstellt und zwischen dem Klöppel der Klingel und dem locker befestigten Cohärer einen Zwirnsfaden ausspannt. Diese Versuchsanordnung beseitigte in fast überraschender Weise die vorher so lästige Einwirkung der in der Nähe des Cohärers befindlichen Klingel.

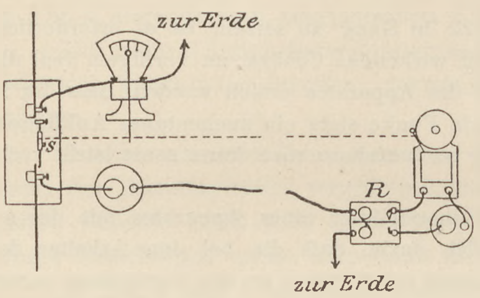
Der von der Firma G. Lorenz in Chemnitz bezogene Cohärer ist so zwischen zwei Klemmschräubchen auf einem Brette befestigt, dafs nur das eine Drähtchen fest eingespannt ist, während das am andern Ende des Cohärers herausragende Platindrähtchen locker gelassen wird. Durch die Elastizität des festgeklemmten Drahtes wird der leichte Cohärer nach der einen oder andern Seite gedrückt und strebt natürlich stets wieder dieser Seite zu, sobald der nach der entgegengesetzten Seite ziehende Faden momentan erschlafft. Es braucht kaum erwähnt zu werden, dafs man den am Cohärer befindlichen Platincontakt noch durch Anbringung von Platinblech an der Berührungsstelle des Drähtchens vervollständigen könnte; der Verfasser wird den unten genannten Firmen diese Einrichtung empfehlen. Mit den Klemmschräubchen stehen die beiden Streifen aus dünnem Kupferblech in Verbindung, welche zum Auffangen der elektrischen Schwingungen dienen, und deren Wirksamkeit man für Versuche bei grofsen Abständen des Funkengebers durch „Fangdrähte“ vermehren kann.

Den Cohärerapparat stellt man am besten auf ein verstellbares Tischchen; in hinreichendem Abstande wird in gleicher Höhe auf einem zweiten Tischchen oder mit einem

Stativ nebst grofser Klemme das Läutewerk angebracht, wodurch der Apparat zugleich an Übersichtlichkeit gewinnt. Der von der Mitte des Cohärerröhrchens ausgehende Faden wird am Klöppelstiele der Klingel dicht unter dem Anschlagescheibchen ebenfalls mittels einer Schlinge festgelegt. Bei mehrfachen Versuchen und Vorführungen gelang es dem Verfasser stets, in wenigen Augenblicken durch Verschiebung von Cohärerapparat oder Klingel dem Faden die für ein sofortiges, zuverlässiges Abklopfen des Cohärers erforderliche Spannung zu geben; Tischchen und Stativ müssen allerdings ohne zu wackeln aufgestellt sein. Ist der Faden zu schlaff, so wird der Cohärer nicht aus seiner Ruhelage herausgezogen und es klingelt fort, während der Faden die hübschen Schwingungen der Meldeschen Versuche zeigt. Man wählt am besten eine jener kleinen, billigen Klingeln aus, deren Klöppel nur geringe Schwingungsweite hat, sonst kann es vorkommen, dafs zwar das Abklopfen tadellos stattfindet, aber die Glocke nicht angeschlagen wird.

Um eine etwaige akustische Erregung des Cohärers seitens der Klingel auszuschliefsen, stelle man letztere nebst ihrer Stromquelle und dem Relais auf ein Nebentischchen oder wenigstens auf die zur Verlängerung des Tisches dienende Platte. Die zur Verbindung dieser Apparate bestimmten Drähte wähle man möglichst kurz.

Von den mit den Magnetspulen des Relais verbundenen Drähten führe man den einen zu dem kleinen und schwachen Elemente des Cohärerstromkreises, den andern unter Zwischenschaltung eines Vertikalgalvanometers von ca. 100 Ohm zum dauernd befestigten Cohärerende. Sollte bei einem ganz besonders empfindlichen Cohärer, der bei anderen Versuchsanordnungen vielleicht garnicht verwendbar ist, eine Anregung vom Relais her durch den zuletzt erwähnten Stromweg stattfinden, so kann man den letzteren durch zwei Zuleitungen zur Erde ersetzen (Gas-, Wasserleitung). Der andere zum Relais führende Draht kann keine störenden Wellen übertragen, da er zum Contakt des Cohärers geht, welcher gerade in solchen Augenblicken geöffnet ist, in denen die Extraströme auftreten. In der diese Versuchsanordnung darstellenden Figur ist C der Cohärerapparat, der nach dem Modell des Verfassers von G. Lorenz in Chemnitz und Müller-Uri in Braunschweig angefertigt werden wird. Der Cohärer erscheint durch den gestrichelt gezeichneten Faden von seinem Contakt abgehoben und gegen das Anschlagesäulchen r gerissen. Galvanoskop und Klingel sind im Aufrifs gezeichnet.



Das Relais stellt man unter Offenlassung des Stromkreises der Klingel so ein, dafs der Anker infolge Anregung des Cohärers durch einen Funken angezogen wird, und beim Abklopfen wieder um eine möglichst kleine Strecke zurückspringt. Die feinste Einstellung des Relais führt man erst aus, sobald der Stromkreis der Klingel an das Relais angeschlossen ist, und der Faden die richtige Spannung erhalten hat. Hierzu zieht man die Ankerfeder des Relais vorsichtig an, bis das Läuten infolge Eintretens des Ankercontaktes beginnt, und dreht alsdann langsam bis zum Aufhören des Läutens zurück. Gewöhnlich kann man jetzt noch wieder etwas vorschrauben.

Für die Versuche innerhalb des recht geräumigen Physikzimmers genügten zur Anregung des Cohärers bei den gröfsten erreichbaren Entfernungen und auch hinter den besetzten Bankreihen der kleine Funke eines Elektrophors, dessen Ebonitplatte nicht einmal am gleichen Tage wieder gerieben war. Der Funke des etwa 30 cm im Durchmesser grofsen Deckels wurde entweder an irgend einem gröfseren Metallgegenstand, z. B. einem eisernen Stativ, oder an dem in der andern Hand gehaltenen Teller des Elektrophors hervorgerufen und war innerhalb des Zimmers, sowie hinter einer nur 5 m entfernten Thür fast ausnahmslos wirksam. Die mit dem Knöchel gezogenen Funken wurden hingegen nur bei besonders günstigen Einstellungen des allerdings nicht besonders empfindlichen Relais durch Klingeln beantwortet. Oftmals vermochte aber selbst das ableitende Berühren des Elektrophordeckels den Cohärer genügend anzuregen.

Für die Versuche, durch mehrere Wände bei geschlossenen Thüren die Anregung des Cohärers zu zeigen, dienten die Funken einer einfachen Influenzmaschine. Dieselben sind besonders wirksam, wenn sie gegen den isoliert vor den Conductoren befestigten Elektrophordeckel überspringen. Um zu wissen, wann in dem entfernten Zimmer die einzelnen Funken entstehen, kann man einen langen, durch die Schlüssellöcher gezogenen Faden benutzen, dessen eines Ende der die Influenzmaschine langsam drehende Gehülfe bei jedem Funken etwas anzieht. Das andere Ende des Fadens ist mit einem von der Decke oder einem Gasarm herabhängenden Pendel verbunden, welches zugleich unten ein Blatt Papier zur besseren Sichtbarmachung trägt.

Construktion der wirksamen Strahlen beim Regenbogen.

Von

Dr. **C. Hofsfeld** in Eisenach.

Zur Erklärung der Thatsache, dafs die Regenbogenerscheinung an zwei ringförmige Bänder von 41° und 52° mittlerem Radius gebunden ist, verfolgt man nach den Grundsätzen der geometrischen Optik construktiv oder durch Rechnung in bekannter Weise den Verlauf der parallel auf einen als Kugel vorausgesetzten Wassertropfen auffallenden Sonnenstrahlen, indem man annimmt, dafs dieselben ins Innere gebrochen, dort ein- oder zweimal gespiegelt werden und dann den Tropfen wieder verlassen. Da der Vorgang der Brechung und Spiegelung für jeden Strahl in einer durch diesen und den Mittelpunkt der Kugel bestimmten Ebene sich abspielt, so genügt es, die Untersuchung auf einen gröfsten Kreis zu beschränken. Verschieben wir also einen Strahl a_1 aus seiner mittleren Lage als Durchmesser dieses Kreises parallel mit sich selbst bis in die tangentiale Lage, so zeigt uns die Construktion, dafs der aus dem Tropfen austretende Strahl b_1 seine Richtung stetig verändert, also eine krumme Linie als Enveloppe erzeugt. Für eine gewisse Lage von a_1, die wir mit a bezeichnen wollen, wechselt b_1 seinen Drehungssinn, hat also dann die geometrische Bedeutung einer Asymptote b der eingehüllten Kurve. In unmittelbarer Nähe dieser Asymptote drängen sich mithin die Strahlen relativ eng zusammen, divergieren nur schwach und vermögen daher auch in der gröfseren Entfernung, in der sich das Auge befindet, noch einen merklichen Farbeneindruck hervorzurufen. Zur Ermittelung der wirksamen Strahlen also, die den Regenbogen erzeugen, ist die Lösung der geometrischen Aufgabe erforderlich, die Asymptote der von den austretenden Strahlen eingehüllten Kurve zu finden. Man kann diese Aufgabe als Maximum- und Minimum-Aufgabe behandeln, da, wie man sofort erkennt, die Asymptote b gegen den einfallenden Strahl a bei einmaliger innerer Spiegelung (Hauptregenbogen) ein Minimum, bei zweimaliger Spiegelung (erster Nebenregenbogen) ein Maximum der Ablenkung aufweist.

Nun überzeugt man sich leicht, dafs die Asymptote b einem einfallenden Strahle a zugehört, der als Grenzlage zweier paralleler Strahlen a_1 und a_2 für verschwindenden Abstand derselben angesehen werden kann mit der Bedingung, dafs die zugehörigen austretenden Strahlen b_1 und b_2 ebenfalls parallel seien. Aus dieser Bedingung ergeben sich aber wichtige Beziehungen zwischen den Einfallswinkeln ε_1 und ε_2 der Strahlen a_1 und a_2 und den entsprechenden Brechungswinkeln β_1 und β_2. Die Gesamtablenkung zwischen a_1 und b_1 berechnet sich bekanntlich bei einmaliger Reflexion auf

$$A = \varepsilon_1 - \beta_1 + 2R - 2\beta_1 + \varepsilon_1 - \beta_1 = 2\varepsilon_1 - 4\beta_1 + 2R,$$

zwischen a_2 und b_2 auf

$$A' = 2\varepsilon_2 - 4\beta_2 + 2R,$$

und da $A = A'$ sein soll, so ergiebt sich

$$\varepsilon_1 - \varepsilon_2 = 2\,(\beta_1 - \beta_2) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1)$$

d. h. die Differenz der Einfallswinkel ist das Doppelte der Differenz der Brechungswinkel. Bei zweimaliger Reflexion ist entsprechend

$$A = \varepsilon_1 - \beta_1 + 2\,(2\,R - 2\,\beta_1) + \varepsilon_1 - \beta_1 = 2\,\varepsilon_1 - 6\,\beta_1 + 4\,R$$
$$A' = 2\,\varepsilon_2 - 6\,\beta_2 + 4\,R,$$

folglich, da $A = A'$ ist,

$$\varepsilon_1 - \varepsilon_2 = 3\,(\beta_1 - \beta_2) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (2)$$

Diese Bedingungsgleichungen pflegt man mit dem Ausdruck für das Brechungsgesetz $\sin \varepsilon = n \sin \beta$ zu verknüpfen und durch Elimination die trigonometrischen Funktionen des Winkels $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$ abzuleiten, die dann leicht geometrisch construiert werden können.

Im Gegensatz zu dieser landläufigen Behandlung der Aufgabe sei im Folgenden eine mehr geometrische Betrachtungsweise und eine darauf gegründete neue einfache Construktion der wirksamen Strahlen mitgeteilt.

Wir verwerten die Bedingungen (1) und (2) bei der bekannten Construktion der Strahlenwege von Reusch beim Übergang aus Luft in Wasser. Es sei SMT (Fig. 1) die Spur der brechenden Fläche in der Einfallsebene, XMY das Einfallslot, $A_1M = a_1$ und $A_2M = a_2$ zwei einfallende Strahlen. Construiert man um M als Mittelpunkt zwei conzentrische Kreise mit den Radien 1 und n (in der Figur $n = {}^4/_3$) und verlängert A_1M und A_2M bis zum Schnitt mit dem innern Kreis in C_1 und C_2, zieht ferner durch diese Punkte Parallelen zu XY bis zum Schnitt mit dem äufseren Kreis in B_1 und B_2, so stellen MB_1 und MB_2 die gebrochenen Strahlen dar. Nehmen wir nun an, dafs gemäfs der Bedingung (1) (beim Hauptregenbogen) $\measuredangle\, A_1MA_2 = 2 \measuredangle\, B_1MB_2$ sei, so gilt die Proportion:

$$\text{Bogen } C_1C_2 : \text{Bogen } B_1B_2 = 2 : n.$$

Verbinden wir C_1 mit C_2 und B_1 mit B_2 durch Gerade, die sich in D schneiden, so gilt:

$$C_1C_2 : B_1B_2 = C_1D : B_1D.$$

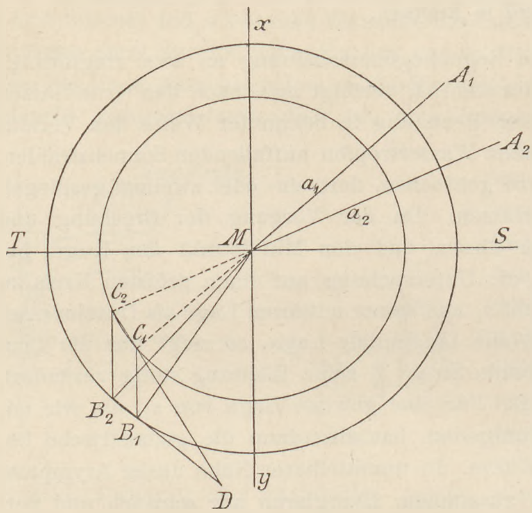


Fig. 1.

Sobald wir nun $\measuredangle\, A_1MA_2$ und also auch $\measuredangle\, B_1MB_2$ als verschwindend klein annehmen, wie es unser Problem verlangt, ist es gestattet, die Sehnen C_1C_2 und B_1B_2 durch die zugehörigen Bögen zu ersetzen, und da dann die Sekanten C_1D und B_1D in die Tangenten in C_1 und B_1 übergehen, so folgt für die letzteren, dafs sie sich wie $2 : n$ verhalten müssen. Analog ergiebt sich bei Berücksichtigung der Gleichung (2) (Fall des Nebenregenbogens) für die Tangenten das Verhältnis $3 : n$. Hiernach kommt es nur darauf an, bei gegebenem Einfallsstrahl AM (Fig. 2), dessen Verlängerung den innern Kreis mit dem Radius 1 in C schneidet, auf dem äufsern Kreise mit dem Radius n einen Punkt B zu ermitteln, dessen Tangente diejenige im Punkte D schneidet, so dafs sich BC zu BD wie $2 : n$, bezw. wie $3 : n$ verhält. Diese Forderung läfst sich leicht erfüllen. Man verlängert $MC = 1$ über C hinaus um die eigene Länge bis E (bezw. um das Doppelte bis E'), schlägt über EC ($E'C$) als Durchmesser

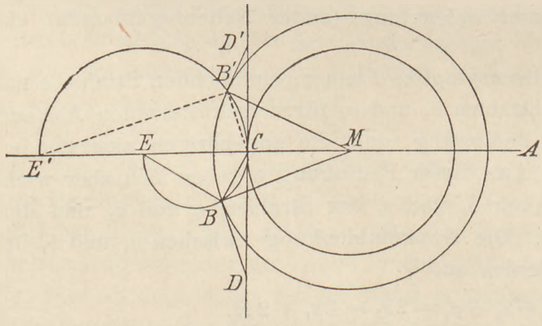


Fig. 2.

einen Halbkreis, der den äufsern Kreis in dem gesuchten Punkte B (B') trifft. Es ist dann BM ($B'M$) der gebrochene Strahl, BC ($B'C$) die Richtung des Einfallslotes. Construiert man nämlich in B (B') die Tangente BD ($B'D'$) an den äufseren Kreis, so ist $\Delta MEB \sim \Delta CDB$ ($\Delta ME'B' \sim \Delta CD'B'$), folglich

$$ME : MB = DC : DB = 2 : n$$
$$(ME' : MB' = D'C : D'B' = 3 : n).$$

Zur Mach'schen Massendefinition.

Von

Theodor Wulf, S. J., in Valkenburg in Holland.

Wohl allgemein bekannt ist der originelle Gedanke von E. MACH, die Massen zu messen mittels der allgemeinen Attraktionskraft[1]). Um das Verhältnis der Massen zweier Körper zu bestimmen, läfst er die Körper einander beschleunigen. Die Massen sind dann den erhaltenen Beschleunigungen umgekehrt proportional:

$$m : m' = -(\varphi' : \varphi).$$

Demgemäfs definiert MACH: „Körper, die sich gleiche entgegengesetzte Beschleunigungen erteilen, heifsen Körper von gleicher Masse. Den Massenwert eines Körpers erhalten wir, wenn wir die Beschleunigung, die er dem als Einheit angenommenen Vergleichskörper erteilt, durch die Beschleunigung dividieren, die er selbst erhält." Diese Massendefinition ist dann von den Gesetzen der Statik, wie auch von dem Kräftemafs vollständig unabhängig. Natürlich sind die Zahlenwerte, die man nach dieser Definition für eine beliebige Masse erhält, mit den üblichen Werten durchaus identisch. Denn der Grundgedanke der Messung ist die Verwendung des Prinzips der Aktio und Reaktio, nach welchem beide Körper in jedem Augenblick derselben Kraftwirkung unterliegen. Die Messung setzt keineswegs etwa die Richtigkeit des Newtonschen Attraktionsgesetzes voraus, sie würde auch gelten und dieselben Resultate ergeben, wenn auch die Abhängigkeit der Attraktion von der Entfernung oder von den anziehenden Massen eine ganz andere wäre, oder gar die Attraktionsconstante variabel, z. B. eine Funktion der Zeit würde. MACH vergleicht zunächst nur die Trägheit der Körper mittelst der Beschleunigungen, welche dieselbe Kraft ihnen erteilt und er verschafft sich die gleiche Kraft aus der Aktio und Reaktio.

Neuerdings wendet sich P. VOLKMANN gegen diese Massendefinition[2]), an welcher er die vorzeitige Einführung der Fernkräfte und die Verwendung derselben zur Grundlegung der Mechanik beanstandet[3]). Aber auch abgesehen von diesem Einwand, wird man die Möglichkeit einer experimentellen Ausführung der Messung bei der MACHschen Definition nur ungern vermissen. Es ist jedoch nicht schwer zu zeigen, wie sich diese zwei Mängel — wenn man sie schon als solche bezeichnen will — beseitigen lassen, ohne dafs der originelle Grundgedanke darunter leidet. Die Definition ist ja an die Attraktionskraft gar nicht gebunden, die vielmehr eine ganz zufällige Rolle dabei spielt. Man kann also statt ihrer eine ganz beliebige andere Kraft nehmen, mit welcher zwei Körper anziehend oder auch abstofsend auf einander einwirken; es werden die Beschleunigungen stets den Massen umgekehrt proportional sein. Die magnetischen oder elektrischen Ladungen, oder auch beide zusammen würden solche Kräfte zur Verfügung stellen. Ja man könnte die Körper auf

[1]) Der Aufsatz erschien zuerst in Carls Repertorium der Physik, Bd. 4, und wurde später vollständig abgedruckt in dem Vortrag von E. Mach, Erhaltung der Arbeit, Anm. 2, S. 50—54. Prag 1872. Auf diese Ausgabe beziehen sich die Citate in diesem Aufsatz. Man vergleiche übrigens auch Machs Mechanik S. 227 (1. Aufl.) und die betreffenden Stellen in dem bekannten Lehrbuch von Mach und Jaumann.

[2]) Vergl. Wiedem. Beibl. S. 917; 1898.

[3]) Man vergl. hierzu den Bericht in diesem Heft, Berichte 4 (*Unterricht und Methode*).

einer Flüssigkeit wie Quecksilber schwimmen lassen; die Beschleunigungen, welche sie sich unter dem Einfluſs anziehender oder abstoſsender Kapillarkräfte erteilten, würden den Massen ebenfalls proportional sein. Viel näher liegend jedoch als alles das ist die Verwendung der Trägheit selber als beschleunigender Kraft. Lassen wir zwei beliebige Körper central aufeinander stoſsen, so ist für die ganze Zeit, da sie einander berühren, Aktio gleich Reaktio. Ist p die Kraft in irgend einem Zeitmoment, so erteilt diese dem Körper von der Masse m die Beschleunigung

$$p\, dt = m\, dv.$$

Dieselbe Kraft wirkt in entgegengesetzter Richtung auf die Masse m'. Daher wird auch sein

$$-p\, dt = m'\, dv'.$$

Daraus folgt dann für die ganze Stoſszeit $t_1 - t_2$

$$\int_{t_1}^{t_2} p\, dt = m\,(v_2 - v_1) = -\, m'\,(v_2' - v_1')$$

oder

$$\frac{m}{m'} = -\frac{v_2' - v_1'}{v_2 - v_1}.$$

Wenn also Mach an die Spitze der Mechanik den Erfahrungssatz stellt:

„Gegenüberstehende Körper erteilen sich entgegengesetzte Beschleunigungen nach der Richtung ihrer Verbindungslinie,“

so möchte ich aus den oben angeführten Gründen diesen ersetzen durch den ganz analogen Erfahrungssatz:

„Central aufeinander stoſsende Körper erteilen sich entgegengesetzte Beschleunigungen in der Richtung der Verbindungslinie ihrer Schwerpunkte[4]).“

Hieran schlieſst sich dann unmittelbar die eingangs angeführte Definition und die übrigen Sätze genau wie bei Mach.

Da das angeführte Gesetz vom Elastizitätsgrad ganz unabhängig und somit für die wirklich existierenden Körper streng gültig ist, gleichviel ob dabei ein Teil der kinetischen Energie in Wärme verwandelt wird oder nicht, so läſst es sich leicht experimentell verifizieren. Einige solcher Messungen habe ich ausgeführt, um mich zu überzeugen, daſs man diese Definition auch praktisch durchführen kann, sei es als Vorlesungsversuch oder auch als Schülerübung. Zu beachten ist dabei nur, daſs der Stoſs nicht excentrisch kommt und so den einen Körper in Rotation versetzt, eine Bedingung, die man übrigens durch die Kugel- oder Cylinderform oder eine ähnliche reguläre Gestalt leicht erfüllen kann. Der Apparat bestand im wesentlichen aus zwei Kugeln, die an Fäden bifilar aufgehängt waren, so daſs sie sich im Zustand der Ruhe gerade berührten. Unten teilten sich die Fäden in je drei und endigten an drei Punkten in der Äquatorebene der Kugeln. Durch diese Anordnung wurden Nebenschwingungen um vertikale wie horizontale Achsen sehr wirksam unterdrückt. Dann wurde eine Kugel um ein gemessenes Stück abgelenkt und durch Abbrennen des Fadens freigelassen. In diesem Falle ergiebt sich die Geschwindigkeit vor und nach dem Stoſse bekanntlich aus der Fall- bezw. Steighöhe mittelst der Formel $v = \sqrt{2gh}$. Da aber $h = 2l \sin^2 \frac{\alpha}{2}$, wo l die Pendellänge und α der Ablenkungswinkel ist, so folgt

$$v = 2 \sin \frac{\alpha}{2} \sqrt{g\, l}$$

und daher unter der Annahme, daſs die Länge l für beide Pendel gleich ist

$$\frac{m}{m'} = -\frac{v_2' - v_1'}{v_2 - v_1} = -\frac{\sin {}^1\!/_2\, \alpha_2' - \sin {}^1\!/_2\, \alpha_1'}{\sin {}^1\!/_2\, \alpha_2 - \sin {}^1\!/_2\, \alpha_1}.$$

[4]) *Anm. d. Redaktion.* Die schulmäſsige Durchführung desselben Grundgedankens findet sich bereits bei O. Reichel, Beiträge zur Ableitung der ersten Grundlagen der Dynamik, in d. Zeitschr. *II* 265.

Zur Beobachtung wurde in der Schwingungsebene ein gerader horizontaler Mafsstab angebracht und durch eine schmale Flamme beleuchtet, der eine Rand des Fadenschattens wurde als Index benutzt und die Umkehrpunkte beobachtet. Die erhaltenen Ablesungen sind dann zunächst den Tangenten der Ablenkungswinkel proportional. Es ist vortheilhaft, möglichst langsam schwingende Pendel zu verwenden, einmal damit man bequemer ablesen kann, zweitens weil dann bei hinreichend grofsen Ausschlägen die Ablenkungswinkel so klein bleiben, dafs man einfach die Tangenten als den Sinus der halben Winkel proportional nehmen kann. Im andern Falle würde man am bequemsten mit Hülfe der Tabellen für die Poggendorffsche Spiegelablesung die Ausschläge auf Proportionalität mit den Sinus der halben Winkel corrigieren. Die so corrigierten Ausschläge können dann als Mafs für die Geschwindigkeit benutzt werden, und wir haben einfach

$$\frac{m}{m'} = -\frac{v_2' - v_1'}{v_2 - v_1} = -\frac{a_2' - a_1'}{a_2 - a_1},$$

indem wir mit $a_1\, a_1' \ldots$ die Ausschläge in Skalenteilen (mm) bezeichnen. Wo gröfsere Genauigkeit angestrebt wird, hat man noch Correktionen anzubringen wegen der Dämpfung der Pendelschwingungen und wegen der Parallaxe, da der Schatten des Fadens nur in der Ruhelage die wahre Stellung des Pendels bezeichnet.

Zwei Beobachtungsreihen erlaube ich mir zur Beurteilung der erzielten Genauigkeit hier anzuführen. Die Zahlen geben gleich die corrigierten Ausschläge. Tabelle 1 bezieht sich auf einen sehr günstigen Fall, wo die Massen nahezu einander gleich sind. In Tab. 2 dagegen stehen die Massen (eine unelastische Bleikugel und eine gut elastische Elfenbeinkugel) im Verhältnis von etwa 2,5 zu 1. Doch wird der Fehler der Einzelbeobachtungen auch hier nur einmal gröfser als 1 Prozent. Weit gröfsere Genauigkeit würde sich wohl erzielen lassen, wenn man Pendel von etwa 10 m Länge verwenden könnte.

Tabelle 1.

Zwei Elfenbein- (Billard-) Kugeln.
Blaue Kugel $m' = 125{,}3$ g
Weifse Kugel $m = 129{,}5$ g
Pendellängen $l = 3460$ mm
Dämpfungsverhältnis für eine ganze Schwingung bei beiden Kugeln $k = 1{,}017$.

$a_2' - a_1'$	$a_2 - a_1$	$\frac{a_2' - a_1'}{a_2 - a_1}$	Fehler in %
216,9	209,5	1,035	+ 0,07
214,85	207,2	1,037	+ 0,27
215,8	209,1	1,032	— 0,23
216,3	209,1	1,034	— 0,03
215,3	210,0	1,025	— 0,93
216,3	210,0	1,030	— 0,43
193,8	187,2	1,035	+ 0,07
193,8	187,8	1,032	— 0,23
194,3	188,0	1,034	— 0,03
194,3	187,7	1,035	+ 0,07
188,7	181,3	1,040	+ 0,57
188,7	181,8	1,038	+ 0,37
187,2	180,3	1,038	+ 0,37
	Mittel	**1,0343**	± 0,0011 (m. F.)

Die Beobachtung mit der Wage ergab

$$m : m' = 129{,}5 : 125{,}3 = \mathbf{1{,}0335}.$$

Die zwei Resultate weichen also nur 0,1% von einander ab.

Tabelle 2.

Bleikugel $m = 318{,}8$ g
Elfenbeinkugel $m' = 129{,}5$ g
Pendellängen $l = 3460$ mm
Dämpfungsverhältnis für eine ganze Schwingung
für die Bleikugel $k = 1{,}004$
für die Elfenbeinkugel $k = 1{,}017$.

$a_2' - a_1'$	$a_2 - a_1$	$\frac{a_2' - a_1'}{a_2 - a_1}$	Fehler in %
280,2	113,5	2,469	+ 0,32
279,9	114,5	2,445	— 0,64
280,9	114,0	2,464	+ 0,12
281,4	114,0	2,468	+ 0,28
280,9	114,5	2,453	— 0,32
268,0	109,5	2,451	— 0,40
281,2	114,5	2,456	— 0,20
281,9	115,0	2,451	— 0,40
281,4	114,5	2,458	— 0,12
281,9	114,5	2,462	+ 0,04
251,5	101,0	2,490	+ 1,16
281,1	114,5	2,455	— 0,24
249,5	101,0	2,470	+ 0,36
	Mittel	**2,461**	± 0,0033 (m. F.)

Aus der Bestimmung mit der Wage folgt

$$m : m' = 318{,}9 : 129{,}5 = \mathbf{2{,}4625}.$$

Wahre und scheinbare Homogeneïtät in den physikalischen Gleichungen[1]).

Von

Friedrich Pietzker in Nordhausen.

I.

Der von mir in den „Unterrichtsblättern für Mathematik und Naturwissenschaften" *(1898 No. 4)* veröffentlichte Artikel über „die Tragweite der Lehre von den physikalischen Dimensionen" hat auch in dieser Zeitschrift eine Reihe von Meinungsäufserungen hervorgerufen. Neben dem Referat des Herausgebers über meinen Artikel *(XII 45)* sind drei selbständige Aufsätze von Höfler, Schreber, Koppe *(XII 14, 144, 149)* über die von mir angeregte Frage zum Abdruck gelangt. So erfreulich es mir ist, dafs meine Ausführungen zu einer erneuten Diskussion der Frage Anlafs gegeben haben, so bin ich doch genötigt, mich gegen einen Teil der Auseinandersetzungen in den genannten Artikeln umsomehr zu wenden, als ich dabei auch einer mifsverständlichen Auffassung meiner eigenen Stellung zur Sache entgegentreten mufs.

Am wenigsten Ursache zur Entgegnung habe ich in Bezug auf den Schreberschen Aufsatz, in dem ich zu meiner Genugthuung ebenfalls den Standpunkt vertreten finde, dafs man derartige materielle Folgerungen, wie sie das von mir angegriffene Cziglersche Bei-

[1]) Anm. des Herausgebers. Dieser Aufsatz ist seinem wesentlichen Inhalte nach vom Verfasser bereits im Januar eingesandt gewesen und nur zurückgestellt worden, um erst anderweitigen Äufserungen über den Gegenstand Raum zu lassen.

spiel zieht, aus Dimensionsbetrachtungen nicht ohne weiteres ziehen könne. Nach der Form, in der Schreber meine Ausführungen citiert, darf ich vermuten, dafs er sie nur aus dem Bericht darüber und dem Höflerschen Aufsatz in dieser Zeitschrift kennt, sonst würde er vielleicht nicht die unzutreffende Behauptung aufgestellt haben, gegen die ich mich zuerst verwahren mufs, als ob ich andere Gleichungsformen als die der Proportion in der Physik nicht gelten lassen wolle. Die Höflersche Entgegnung gegen mich ist allerdings geeignet, diese Meinung aufkommen zu lassen, die nun auch noch durch Koppe einen besonders scharfen Ausdruck gefunden hat; Koppe bestreitet mir das Recht zur Zurückweisung desselben Mifsverständnisses seitens Kuhfahls, indem er sagt, nach der ganzen Tendenz meines Aufsatzes könne unter „Verhältnisgleichung" nur „Proportion" verstanden werden, wenn auch der synonyme Ausdruck „Gleichung zwischen Verhältnissen" eine andere Deutung zuliefse.

Da möchte ich zunächst betonen, dafs über die „Tendenz" eines Aufsatzes doch dessen Verfasser selber der bei weitem berufenste Ausleger ist und dafs es nicht angeht, diesem eine Tendenz unterzuschieben, die er selbst zurückweist. Ich behaupte vielmehr, der ganze Charakter meiner Ausführung schliefst eine so einseitige Auffassung aus; zum Überflufs habe ich an einer auch von Höfler citierten Stelle erklärt, dafs doch noch ganz andere Formen der Abhängigkeit denkbar seien als die Potenzgleichung. In der Stelle, wo ich von Verhältnisgleichungen spreche, hebe ich die Möglichkeit einer ganz anderen Gestalt besonders hervor, schliefslich formuliere ich meine Forderung dahin, „dafs der formelmäfsige Ausdruck eines physikalischen Gesetzes stets den Charakter einer Gleichung zwischen Verhältnissen unter sich gleichartiger Gröfsen tragen müsse".

Dieser Forderung entspricht eine ganze Zahl von physikalischen Gesetzen, die sicher nicht die Form von Proportionen haben. Ich nenne z. B. die barometrische Höhenformel $\frac{H}{18400} = \lg \frac{B}{\beta}$, in der B und β zwei Barometerstände, H und 18400 zwei in Metern ausgedrückte Längen vorstellen (18400 ist dabei der Quotient von 10,5 m durch die unbenannte Zahl lg 760/759), ferner die Formel für die Ausdehnung eines Körpers durch die Wärme, die man in der Form schreiben kann $\frac{V}{V_0} = 1 + \frac{\alpha}{\beta}\left(\frac{Q}{Q_0} - 1\right)$, wenn Q und Q_0 die Volumina des Quecksilbers bei zwei Temperaturen, V und V_0 die Volumina irgend eines anderen Stoffes bei denselben Temperaturen, α und β die Ausdehnungscoëffizienten dieses Stoffs und des Quecksilbers vorstellen. Drittens führe ich die Pendelformel in ihrer allgemeinen, nicht auf kleine Schwingungen beschränkte Gestalt an, wo sie bekanntlich aussagt $\frac{T}{t} = \sqrt{\frac{l}{2s}}\, F\left(\frac{k}{l}\right)$, wenn man unter T die Schwingungsdauer des Pendels, t die dem Fallraum s eines freifallenden Körpers entsprechende Fallzeit, unter l die Pendellänge, unter k die höchste Erhebung des Schwingungsmittelpunktes über der Gleichgewichtslage, endlich unter F eine transcendente Funktion versteht, auf deren Natur es hier weiter nicht ankommt. Das sind alles Gleichungen zwischen Verhältnissen von unter sich gleichartigen Gröfsen, wie ich sie u. a. im Auge hatte, als ich meinen ersten Artikel schrieb. Eine weitere Illustration wird mein Standpunkt in den weiterhin folgenden Ausführungen über die Pendelformel in ihrer gewöhnlichen Gestalt finden.

Ehe ich darauf komme, mufs ich indessen noch einen anderen Punkt aus dem Koppeschen Artikel erledigen. Mit Recht sagt Koppe, dafs auf dem Gebiete der Dimensionslehre Unklarheit herrsche, die wahre Quelle dieser Unklarheit hoffe ich im folgenden aufzuzeigen; wenn er mich dafür lobt, dafs ich „mit dem freimütigen Bekenntnis dieser Unklarheit hervorgetreten" sei, so mufs ich dieses Lob ablehnen, ich fühle in mir keinerlei Unklarheit, wohl aber vermisse ich die Folgerichtigkeit in den Ausführungen Koppes selbst, der im Anfang seiner Aufsätze energisch dafür eintritt, dafs die Gröfsen LMT keine reinen Zahlen, sondern qualitativ verschiedene Gröfsen seien, am Schlusse dagegen mich angreift, weil ich die Gleichung $c_1 c_2 r^{-2} = Z$ für eine Vergleichung von durchaus unvergleichbaren Dingen erklärt habe. Er sagt wörtlich: „Wieso? Es stehen doch nur Zahlen darin!"

Ja, wenn darin nur Zahlen stehen, so habe ich nichts dagegen einzuwenden. Als Anhalt für die Regel, nach der man beim Übergange von einem Maſssystem zum andern die für die Elektrizitätsmengen neu zu wählende Einheit zu bestimmen hat, lasse ich ja die aus der genannten Formel fliessende Dimensionsgleichung Dim. $E = L^{3/2} M^{1/2} T^{-1}$ ausdrücklich gelten[2]) und glaube mich dabei vollständig in Übereinstimmung mit Schreber und — nach den Schluſsausführungen seines Aufsatzes zu urteilen — auch mit Höfler zu befinden.

Und nun komme ich zu dem eigentlichen Kern der ganzen Sache, der kein anderer ist als die Frage: Was ist Homogeneïtät und welche Rolle spielt sie in den physikalischen Gleichungen?

Homogeneïtät der Gleichungen verlangen wir alle, ich ebenso wie meine Gegner, die von mir geforderten Verhältnisgleichungen sind in der Art homogen, daſs beide Seiten der Gleichung die Dimension „Null“ haben, aber auf diese Verfassung lassen sich ja nach dem von Koppe selbst citierten Ausspruch Oettingens auch alle anderen homogenen Gleichungen bringen. Und so bleibt nur in jedem einzelnen Falle die Frage übrig: Ist die auftretende Gleichung wirklich homogen oder sieht sie vielleicht nur so aus?

Die Homogeneïtät kann unter Umständen klar zu Tage liegen, das ist z. B. der Fall bei den geometrischen Gleichungen, die ich in meinem eigenen Unterrichte seit langen Jahren ebenso behandle, wie wohl alle anderen Fachlehrer auch. Ich leite meine Schüler an, die Homogeneïtät solcher Gleichungen wie $\varrho = \sqrt{\frac{(s-a)(s-b)(s-c)}{s}}$, wenn a, b, c, s, ϱ, die aus der Dreieckslehre bekannten Bedeutungen haben, als Kennzeichen für die Möglichkeit dieser Gleichung zu verwenden. Aber diese Homogeneïtät besteht doch eben nur, weil die ganze Gleichung, die selbst auf die Form $\frac{(s-a)}{\varrho} \cdot \frac{(s-b)}{\varrho} \cdot \frac{(s-c)}{s} = 1$ gebracht werden kann, aus ganz zweifellosen Proportionen durch algebraisch zulässige Umformungen gewonnen worden ist Wenn O die Kugeloberfläche, r den Kugelradius, V das Kugelvolumen bedeutet, so ist $O \cdot r = 3V$ sicher eine homogene Gleichung, gegen die ich gar nichts einzuwenden habe, da die Buchstaben O und V nur abgekürzte Bezeichnungen für Ausdrücke sind, die ihrer Entstehung nach zwei, resp. drei Linienfaktoren in sich einschlieſsen. In meinem Artikel über die Tragweite der Dimensionslehre[3]) räume ich die Möglichkeit ausdrücklich ein, daſs die Verhältnisgleichung äuſserlich eine ganz andere Gestalt hat, d. h. ich lasse es völlig zu, daſs sie durch algebraisch zulässige Umformungen in eine Form gebracht wird, wo beide Seiten in den einander korrespondierenden Teilen auf beiden Seiten Dimensionen aufweisen, die von Null verschieden sind.

Ich lasse diese Möglichkeit auch nicht nur für die Geometrie zu, sondern ganz ausdrücklich auch für die Mechanik, hinsichtlich deren ich wörtlich sage[4]): „Es ist auch trügerisch, aus der Homogeneïtät der Dimensionsformeln für die mechanischen Gleichungen, z. B. für die in dem vorstehenden Vortrag aufgeführte Gleichung $Kt = MV$, irgend welche Schlüsse zu ziehen. So lange man nur mit den Begriffen der reinen Mechanik zu thun hat, die alle durch die offiziellen Definitionen mit einander in Beziehung gesetzt sind, bewegt man sich immer in demselben Kreise; Gleichungen wie die eben erwähnte, sind im Grunde reine Identitäten, bei denen die beiden Seiten nur eine Verschiedenheit der Schreibweise aufweisen.“

Die Sache liegt demnach in der Mechanik ganz ähnlich, wie in der Geometrie, wo die Dimensionsgleichheit eine selbstverständliche Folge der Verhältnisse ist, aus denen die ganze Gleichung ihre Herleitung gefunden hat. So wie dort ein eine Fläche bezeichnender Buchstabe dem Produkt zweier zur Bezeichnung von Linien dienenden Buchstaben äquivalent ist, so steht es hier mit den Buchstaben für Kraft, Geschwindigkeit u. s. w., die abkürzende Bezeichnungen für gewisse Gröſsenverbindungen sind. Darum kann man aber auch in der

---

[2]) Unt., Bl. IV, 4, S. 68, Spalte 2.

[3]) Unt., Bl. IV, 4, S. 67, Sp. 2.

[4]) ebenda S. 68, Sp. 1.

Mechanik die Dimensionsgleichheit ebenso wie in der Geometrie zu weiter nichts, als zu einem rein formellen Prüfungsmittel für die Möglichkeit der aufgestellten Gleichung verwenden, irgend welche materiellen Schlüsse kann man aus der Dimensionsgleichheit nicht ziehen.

Wer bei der Betrachtung mechanischer Gleichungen solche Schlufsfolgerungen ziehen zu können meint, täuscht sich selbst, was durch kein Beispiel deutlicher illustriert werden kann als durch die Pendelformel. Ich bin Höfler dankbar, dafs er durch Berufung auf diese Formel mir eine vorzügliche Gelegenheit giebt, das Trügerische solcher Schlufsfolgerungen aufzuzeigen.

Schreibt man unter Festhaltung der üblichen Bezeichnungen diese Formel in der Gestalt

$$l = \frac{g\,T^2}{\pi^2}$$

oder noch besser in der Gestalt

$$l = \frac{8}{\pi^2}\,\frac{g}{2}\left(T_1\right)^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

indem man unter T_1 die halbe Schwingungsdauer versteht, so erkennt man sofort die Analogie mit der die gleichförmig beschleunigte Bewegung regierenden Formel

$$s = \frac{g}{2}\,t^2, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

welche aussagt, dafs in t Zeiteinheiten unter der Herrschaft einer gleichförmigen Beschleunigung, die g Längeneinheiten auf eine Zeiteinheit beträgt, s Längeneinheiten zurückgelegt werden. Und nun erinnere man sich, wie die ganze Pendelformel zustande kommt. Sie ist ja kein Produkt der Erfahrung, sie ist das Erzeugnis einer theoretischen Ableitung, bei der die Beweguug des Pendels von seinem gröfsten Ausschlag bis zur Gleichgewichtslage als ein fortgesetztes Fallen unter stetig sich ändernden Bedingungen aufgefafst wird. Bei dieser Herleitung wird nun fortwährend davon Gebrauch gemacht, dafs der zum Vergleich herangezogene freie Fall in Gemäfsheit der Gleichung (2) vor sich geht, so kommt schliefslich ganz naturgemäfs eine Formel heraus, die sich von der Gleichung (2) nur durch einen Zahlenfaktor unterscheidet. Das Integral der bei dem Pendelvorgang auftretenden Fallraumelemente ist linear durch die Pendellänge ausdrückbar, der hier auftretende Reduktionsfaktor fafst sich dann mit den Zahlenfaktoren, durch welche die fortwährend wechselnden Bedingungen des Falls ihren Ausdruck finden, (annähernd) in den Wert $\frac{8}{\pi^2}$ zusammen.

Wer argumentiert, wie Höfler (S. 16) mir entgegenhält: Wenn die Schwingungsdauer von l und g abhängt, so ist dies nur in der Weise möglich, dafs sie der Gröfse $\sqrt{\frac{l}{g}}$ proportional ist, der irrt sich, indem er glaubt, eine rein formelle Beweisführung zu geben. In der Annahme, dafs die Schwingungsdauer von g abhängt, liegt ein materielles Moment, nämlich die Berufung auf den Sachverhalt, der in der Gleichung (2) zum Ausdruck kommt. Und es ist ja auch eben nur diese selbe Gleichung, auf die man sich stützt, wenn man der Beschleunigung die Dimension LT^{-2} zuschreibt und durch Verwertung dieses Dimensionsausdrucks zu der in Rede stehenden Argumentation gelangt. Das Ergebnis der Argumentation hat man selbst vorher stillschweigend in diese Argumentation hineingelegt.

So darf ich denn dies mir entgegengehaltene Beispiel vielmehr selbst als einen vorzüglichen Beleg für die Richtigkeit des oben angeführten Satzes in Anspruch nehmen, in dem ich mich über den Charakter der Gleichungen rein mechanischen Inhalts ausspreche.

II.

Dieser Satz hatte in meinem Artikel noch eine Fortsetzung, die wörtlich lautete: „Die richtige Bedeutung der Dimensionslehre und die grofse Gefahr, die in der kritiklosen Verwendung dieser Lehre liegt, ergiebt sich in aller Deutlichkeit erst bei der Anwendung auf Gebiete, wo neben den mechanischen Begriffen noch andere eigenartige Begriffe auftreten.“

Und hier ist gerade der Punkt, an dem die Herrschaft der Unklarheit beginnt, deren Vorhandensein ich in Übereinstimmung mit Koppe anerkenne. In der Geometrie und in der Mechanik hat man von vornherein auf beiden Seiten der Gleichung gleichartige Gröſsen; da hat es einen Sinn, Dimensionsgleichheit in dem Sinne zu fordern, daſs links und rechts gleich viel Faktoren von der Art L, gleich viel von der Art M, gleich viel von der Art T auftreten. So lange man sich auf dieses Gebiet beschränkt, ist es richtig, unter L, M, T wirkliche Längen-, Massen- und Zeitgröſsen zu verstehen.

Aber bei diesen Gleichungen hat die Dimensionsgleichheit auch nur eine ganz untergeordnete Bedeutung, die Bedeutung einer rechnerischen Probe, daſs in den vorgenommenen Umformungen nirgends ein Fehler vorgekommen, nirgends ein Faktor vergessen, nirgends einer doppelt gesetzt ist. Materielle Schlüsse aus diesem Sachverhalt sind nirgends zu ziehen.

Erst dadurch, daſs man solche über die Bedeutung der Rechenprobe hinausgehende Schlüsse ziehen zu dürfee geglaubt hat, ist die Dimensionslehre zu ihrer Bedeutung gekommen. Solche materiellen Schluſsfolgerungen würden eventuell nur da möglich sein, wo Dinge mit einander in Vergleich treten, bei denen die den geometrischen und mechanischen Gleichungen eigentümliche Charaktergleichheit für beide Seiten der Gleichung nicht von vornherein besteht.

Und demgegenüber sage ich nun: Solche Gleichungen sind nicht mehr an sich homogen; indem man ihre beiden Seiten, die nicht von vornherein qualitätsgleich sind, als qualitätsgleich behandelt, legt man in diese Gleichungen vorher erst das hinein, was man hinterher aus ihnen herauslesen zu können sich einbildet. Wirkliche, nicht eingebildete Homogeneïtät erhalten solche Gleichungen erst dadurch, daſs man jede ihrer beiden Seiten mit einem Ausdruck, der ihres Gleichen ist, ins Verhältnis setzt, dann hat man eine homogene, rechts und links die Dimension Null aufweisende Gleichung, aus der man materielle Schlüsse freilich nicht mehr ziehen kann. Bei der Dimensionsvergleichung in solcher Gleichung hat man dann in der That nicht mehr mit Längen, Massen und Zeiten, sondern nur noch mit Längenverhältnissen, Massenverhältnissen und Zeitverhältnissen zu thun, die Bedeutung der Dimensionsvergleichung reduziert sich darauf, daſs sie einen brauchbaren Anhalt für die erforderliche Umrechnung beim Übergang von einem Maſssystem zu einem anderen giebt.

Das vorzüglichste Beispiel für das Auftreten neuer eigenartiger Begriffe neben den mechanischen Begriffen bietet die Elektrizitätslehre, auf deren Gebiet sich denn auch die weiteren Ausführungen meines mehrgedachten Artikels in den Unterrichtsblättern vorzugsweise bewegen. Doch kommen hier auch noch andere Gebiete der Physik in Betracht, so z. B. die Lehre von den Wellenbewegungen, aus der ich jetzt den Vorgang, der mir zu meinen Auseinandersetzungen in den Unterrichtsblättern den ersten Anlaſs gab, noch einmal herausgreife, um ihn im Lichte der mir namentlich von Höfler und von Koppe entgegengehaltenen Argumente einer neuen Beleuchtung zu unterziehen.

Zu diesem Zwecke erinnere ich zunächst an den Sachverhalt. Es handelt sich um die Fortpflanzungsgeschwindigkeit von Transversalwellen einer schwingenden Saite, diese Fortpflanzungsgeschwindigkeit soll abhängen von der Länge und der Masse der schwingenden Saite und auſserdem von der spannenden Kraft. Bezeichnet man diese vier Gröſsen der Reihe nach mit V, L, M, K, so hebt die von mir beanstandete Beweisführung der Dimensionslehre damit an, daſs sie die fragliche Abhängigkeit durch die Formel ausdrückt

$$V = M^x L^y K^z \quad \text{. . . . . (3)}$$

Indem sie dann die Dimensionen von V und K in Betracht zieht, folgert sie, daſs die oben aufgestellte Gleichung in Bezug auf die drei Fundamentalgröſsen Masse, Länge und Zeit (M, L, T) nur dann homogen sein könne, wenn $z = y = -x = {}^1/_2$ ist, wodurch die oben aufgestellte Formel in der That die in Bezug auf L, M, T homogene Gestalt annimmt:

$$V = \left(\frac{K\,L}{M}\right)^{1/2} \quad \text{. . . . . (4)}$$

Ich hatte nun behauptet, daſs die Gleichung (3) überhaupt der gehörigen Begründung ermangele, daſs sie vielmehr durch die Gleichung

$$\frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{K_1}{K_2}\right)^x \left(\frac{L_1}{L_2}\right)^y \left(\frac{M_1}{M_2}\right)^z$$

ersetzt werden müsse, welche zu der eben erwähnten Exponentenvergleichung deswegen keinen Anlafs mehr biete, weil auf beiden Seiten nur Gröfsenverhältnisse, also reine Zahlen stehen. Diese Behauptung glaubt Koppe damit widerlegen zu können, dafs er sagt (a. a. O. S. 147): „Man vergleiche jetzt eine gröfsere Zahl von Fällen miteinander, so kann man als Ausdruck dieser Vergleichung die Gleichung aufstellen

$$\frac{V_1}{M_1^x\, L_1^y\, K_1^z} = \frac{V_2}{M_2^x\, L_2^y\, K_2^z} = \ldots\ldots \frac{V_n}{M_n^x\, L_n^y\, K_n^z} = \text{Const.},$$

die sich in die kurze Form $V = \text{Const.}\, M^x\, L^y\, K^z$ zusammenfassen läfst. Er fährt dann wörtlich fort: „Drückt diese Gleichung erschöpfend die Abhängigkeit der Gröfse V aus so mufs sie sich aus den Grundgleichungen der Mechanik theoretisch ableiten lassen, kann also, wie jene, nur absolute Constanten enthalten, die nicht etwa selbst von den gewählten Einheiten abhängen.“ Durch die Ausführung dieses Gedankens gelangt er dann mit Notwendigkeit zu den vorhin angegebenen Werten für x, y, z.

Die Beweisführung ist mir sehr willkommen, weil sie geeignet ist, den Punkt deutlich hervortreten zu lassen, um den sich in Wahrheit alles dreht. Wenn Koppe sagt, die in Rede stehende Gleichung müsse sich aus den Grundgleichungen der Mechanik theoretisch ableiten lassen, so setzt er als anscheinend ganz selbstverständlich voraus, dafs es sich um einen rein mechanischen Vorgang handelte. Bei solchen Vorgängen liegt ja allerdings — wie ich unter Anführung eines Satzes aus meinem Artikel in den „Unterrichtsblättern“ oben bereits ausführte — die Sache so, dafs die sie zum Ausdruck bringende Gleichung von vornherein homogen ist.

Aber diese Voraussetzung, mit der die ganze Beweisführung steht und fällt, entbehrt der Begründung. Durch eine eingehende Analyse werde ich nunmehr nachweisen, dafs der in Rede stehende Vorgang nicht rein mechanischer Art ist. Dieser Nachweis erbringt sich am besten an der zu beweisenden Gleichung (4), der ich zu diesem Behufe die etwas veränderte Form gebe

$$\frac{M\,V^2}{L} = K \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

Auch in dieser Gestalt besitzt die Gleichung Homogeneïtät in Bezug auf die Einheiten L, M, T; wieviel auf diese Homogeneïtät zu geben ist, wird sich alsbald zeigen.

Der Faktor K der rechten Seite läfst sich in einen Massenfaktor und einen Beschleunigungsfaktor zerlegen. Einer entsprechenden Zerlegung ist auch die linke Seite der Gleichung fähig, nämlich in die Faktoren M und $\frac{V^2}{L}$. Dabei will ich, um die Untersuchung nicht durch Nebendinge aufzuhalten, vorläufig annehmen, dafs der Faktor $\frac{V^2}{L}$, der die Dimension einer Beschleunigung hat, auch wirklich eine Beschleunigung vorstelle. Dann weisen beide Seiten der Gleichung äufserlich ganz dieselbe Form auf.

Ich frage nun: Tragen sie unter diesen Umständen auch innerlich notwendig denselben Charakter?

Um die Antwort auf diese Frage zu finden, analysire ich jetzt die beiden durch die Gleichung (5) einander gleichgesetzten Ausdrücke, indem ich mich dabei an die Ausführungen Höflers anlehne. Ich stimme ihm vollständig zu, wenn er aufs neue betont, dafs z. B. der Begriff Geschwindigkeit nicht durch die formelle Definition erschöpft ist, welche die Geschwindigkeit zu Weg und Zeit in Beziehung setzt, dafs vielmehr diesem Begriffe ein ganz neuer, zwar zu Weg und Zeit in Beziehung stehender, aber keineswegs aus diesen beiden Begriffen rein mechanisch herauszuconstruierender Vorstellungsinhalt zukommt, und dafs es mit allen anderen Begriffen, welche durch die bekannten Formeln auf die physikalischen Fundamentalgröfsen „zurückgeführt“ werden, ganz ähnlich steht.

Die rechte Seite der Gleichung (5) bietet ein Beispiel hierfür. Indem die Masse mit der ihr erteilten Beschleunigung multipliziert wird, wird in der That mehr erhalten, als eine bloſs algebraische Gröſsenverbindung, es tritt etwas Neues auf, eine Gröſse, die das Maſs eines neuen Begriffes ist, nämlich der Kraft, die jener Masse eine Bewegung nach Maſsgabe der mit der Masse multiplizierten Beschleunigung erteilt hat oder zu erteilen fähig ist. Beide auf der rechten Seite auftretende Faktoren hängen also innerlich eng zusammen; vermöge dieses Zusammenhanges gehen die in dem sie beide zusammenfassenden Begriffe der Kraft derart auf, daſs sie nur noch als dessen Componenten erscheinen.

Wie steht es nun auf der linken Seite der in Rede stehenden Gleichung? Auch hier haben wir eine Masse und eine Beschleunigung, aber die gegenseitige Beziehung dieser beiden Faktoren ist ganz andererer Art, wie auf der rechten Seite. Rechts handelte es sich um die Masse, deren Bewegung gerade durch die mit ihr multiplizierte Beschleunigung bedingt war; die Beschleunigung, die links in Betracht kommt, hat mit der links auftretenden Masse direkt gar nichts zu thun, sie ist ja kein Bestimmungselement für eine Bewegung, in der sich diese Masse selbst etwa befindet; durch diese Beschleunigung wird etwas ganz anderes bestimmt, nämlich das Tempo in dem sich ein an dieser Masse zu beobachtender Zustand fortpflanzt. Das Produkt aus dem für die Fortpflanzung dieses Zustandes maſsgebenden Faktor V^2/L und der Masse, die als Träger dieses Zustandes auftritt, trägt also von vornherein einen ganz anderen Charakter als das entsprechende Produkt rechts, bei dem der innerliche Zusammenhang seiner beiden Faktoren von vornherein ersichtlich war. Die Frage nach der Art und dem Maſse des Zusammenhanges, der zwischen den beiden links auftretenden Faktoren besteht, ist also von vornherein an sich völlig offen.

Die Bedeutung der Gleichung (5) ist nun die, daſs sie auf diese Frage eine bestimmte Antwort erteilt. Der Inhalt dieser Antwort ist kein anderer als der, daſs bei gleichbleibender Spannung die Masse einer Seite und die für ihren Schwingungszustand maſsgebende Gröſse V^2/L sich gegenseitig in genau derselben Weise bedingen, wie die Masse eines durch eine Kraft in Bewegung gesetzten Körpers und die Beschleunigung seiner Bewegung bei gleicher Gröſse der wirkenden Kraft einander bedingen.

Das ist ein Sachverhalt, den kein Mensch für selbstverständlich halten kann, er bedarf zweifellos eines Beweises. Als solchen Beweis führen nun die Dimensionstheoretiker die Gleichung, die diesen Sachverhalt ausspricht, selber ins Feld. Diese Gleichung muſs homogen sein, das ist sie nur, wenn der Sachverhalt so liegt, wie oben angegeben, also sind wir genötigt, das Vorhandensein dieses Sachverhalts anzunehmen. Quod erat demonstrandum!

Die Homogenëitätsbetrachtungen, die den eigentlichen Kern dieser Beweisführung bilden, knüpfen ihrer Natur nach an die Gestalt der Gleichung an; diese Gestalt ist bereits festgelegt bei Bildung der Gleichung (3), von der Frage, ob die Bildung dieser Gleichung notwendig war oder nicht, ob sie eine einwandsfreie Formulierung der ganzen Sachlage darstellt oder ob sich in sie vielleicht allerhand willkürliche Annahmen stillschweigend eingeschlichen haben, von der Beantwortung dieser Frage hängt demnach der Wert ab, welcher der Beweisführung der Dimensionstheoretiker beizumessen ist.

Analysiert man nun die Gleichung (3), so stellt sie die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in Vergleich mit einer gewissen Länge, einer gewissen Masse, einer gewissen spannenden Kraft. Wenn und soweit dies rein mechanische Begriffe sind, so bedingen sie sich in der That vermöge der offiziellen Definitionen untereinander derart, daſs man die Gleichung gelten lassen kann — ich nehme dabei Bezug auf den Satz, den ich aus meinem Artikel in den „Unterrichtsblättern“ oben selbst angeführt habe. Die Länge und die Masse sind gewiſs rein mechanische Begriffe, aber schon bei der Kraft liegt die Sache etwas anders. Die Kraft, die in der reinen Mechanik auftritt, ist die treibende, Bewegung erzeugende oder vernichtende Kraft, in dieser Eigenschaft und nur in dieser oder vielmehr aus dieser Eigenschaft heraus wird sie durch das Produkt aus der Masse und der dieser

Masse erteilten Beschleunigung gemessen. Und nur unter der Voraussetzung, daſs es sich um nichts anderes, als um die Bewegung von Massen unter dem Einfluſs von Kräften handelt, die diesen Massen selber Beschleunigung und Geschwindigkeit verleihen, nur unter dieser Voraussetzung besteht für die Gleichungen der reinen Mechanik von vornherein eine Homogeneïtät ihrer beiden Seiten. Liegt bei der Kraft, von der die schwingende Saite gespannt wird, die Sache nun ebenso? Auch hier liegt ja eine Bewegung vor, nämlich die schwingende Bewegung der Seitenteilchen, aber diese Bewegung hat nicht, wie dort, ihren Ursprung in der dabei mitspielenden Kraft, diese Kraft tritt hier überhaupt nicht als Agens, als treibende Kraft auf, sie tritt auch nicht als éine die Bewegung vernichtende Gegenkraft auf, sie spielt in diesem Falle eine ganz andere Rolle, die Rolle einer Bewegungs-Bedingung, die den Grad der ganz unabhängig von ihr zu Stande gekommenen Bewegung beeinfluſst. Das ist schon ein ganz neues und eigenartiges, aus dem Gebiet der reinen Mechanik heraustretendes Moment.

Zweitens nehme man die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Saitenwellen. Ist das denn wirklich eine Geschwindigkeit in der Art, wie sie in der reinen Mechanik auftritt? In dieser handelt es sich um die örtliche Fortbewegung körperlicher Massen, diese erfolgt mit einer gewissen Geschwindigkeit, die wiederum von einer gewissen Beschleunigung abhängig ist. Bei den Saitenwellen handelt es sich nicht um die Bewegung körperlicher Massen von Ort zu Ort; was sich „fortpflanzt“, das ist ein gewisser Zustand, d. h., wenn man es genau überlegt, es pflanzt sich in Wahrheit überhaupt nichts fort, die sogenannte Fortpflanzung ist vielmehr nichts als die Erweckung eines gewissen Zustandes durch das Vorhandensein des gleichen Zustandes in der Nachbarschaft. Das Tempo, in dem diese Erweckung in den einander stetig folgenden Stellen des Raumes vor sich geht, das ist es, was man als Fortpflanzungsgeschwindigkeit bezeichnet. Und daraus folgt, daſs dieser Ausdruck, wenn man ihn überhaupt für zulässig halten will, doch in einem ganz wesentlich anderen Sinne gebraucht wird, als dem, den das Wort „Geschwindigkeit“ in der reinen Mechanik besitzt.

Und nun komme ich nochmals auf die Gleichung (3) zurück, bei deren Bildung die dort auftretende „Kraft“ und die dort auftretende „Geschwindigkeit“ ohne weitere Prüfung mit den rein mechanischen Gröſsen, die sonst erst in der Gleichung vorkommen, in Beziehung gesetzt sind. Obwohl diese beiden Begriffe hier einen ganz anderen Charakter tragen, werden sie wie rein mechanische Begriffe verwendet, sie werden verwendet, als ob es sich nicht um eine bedingende, sondern um eine treibende Kraft, nicht um Fortpflanzung eines an einer Masse auftretenden Zustandes, sondern um die Fortbewegung einer Masse selbst handelte. Wenn dann bei diesem Verfahren das Resultat herauskommt, daſs zwischen der bedingenden Kraft, der von ihr bedingten, aber nicht erzeugten Zustandsfortpflanzung und der Masse, an der dieser sich fortpflanzende Zustand auftritt, genau dieselben gegenseitigen Beziehungen obwalten, wie in der reinen Mechanik zwischen der treibenden Kraft, der von dieser Kraft erzeugten Bewegung und der Masse, die selbst das Bewegungsobjekt ist, so kann dies ja nicht Wunder nehmen. Das muſs eben herauskommen, weil es die unausgesprochene Voraussetzung war, unter der die Gleichung (3) überhaupt aufgestellt wurde, ohne die diese Gleichung ihren Sinn verliert.

Die Erschlieſsung des Gesetzes für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Schwingungen tranversal schwingender Seiten mittels der Dimensionsbetrachtungen ist also vollkommen illusorisch, man liest aus der Gleichung heraus, was man selbst erst in sie hineingelegt hatte. Die ganze Beweisführung ist ein ausgezeichnetes Beispiel eines echten Zirkelschlusses.

Will ich wirklich wissen, in welcher Weise die in Rede stehende Fortpflanzungsgeschwindigkeit durch die Faktoren bestimmt wird, von denen sie allen Versuchen nach abhängt, so muſs ich den Sachverhalt selbständig vor Aufstellung der zu seiner Formulirung bestimmten Gleichung untersuchen. Das kann durch ein mehr innerliches Verfahren geschehen, in dem ich die Natur der inneren Vorzüge, die sich bei dem Schwingungsprocefs vollziehen, analysire, also durch Betrachtungen, die in das Gebiet der Elastizitätslehre fallen.

Es kann auch in äufserlicher Art geschehen, indem man versuchsweise die Fortpflanzungsgeschwindigkeit gewissen Potenzen der für sie bestimmenden Faktoren proportional setzt Wohlgemerkt aber nicht gleich, sondern nur proportional. Und indem man dann unter Festhaltung der bisherigen Bezeichnungen $VKLM$ bei Unterscheidung verschiedener Fälle durch Anwendung gewisser Indices statt der Gleichung (3) vielmehr die Gleichung ansetzt

$$\left(\frac{V_1}{V_2}\right) = \left(\frac{M_1}{M_2}\right)^x \left(\frac{L_1}{L_2}\right)^y \left(\frac{K_1}{K_2}\right)^z \quad \ldots \ldots \ldots \quad (6)$$

bringt man auch in der Formel gerade das Verfahren zum Ausdruck, dafs man bei der Prüfung, inwieweit die vermutete Form des Gesetzes richtig sei, thatsächlich anwendet. Denn ein anderes Mittel als das, unter immer neu veränderten Verhältnissen Beobachtungen zu machen und diese Beobachtungen zu einander ins Verhältnis zu setzen, hat man ja praktisch überhaupt nicht.

Aufschlufs über die Gröfse der Exponenten $x\ y\ z$ giebt die oben aufgestellte Gleichung ja in keiner Weise, da sie eine reine Zahlengleichung ist. Die Homogeneïtätsbetrachtungen der Dimensionslehre versagen hier, aber nicht etwa darum, weil die Gleichung selbst der Homogeneïtät ermangelte. Sie erfüllt im Gegenteil die Forderung der Homogeneïtät im höchsten Grade, denn das Prinzip der Homogeneïtät sagt ja weiter nichts aus, als dafs nur Gleichartiges untereinander verglichen werden darf.

Wenn die Homogeneïtätsbetrachtungen der Dimensionslehre zu einem materiellen Aufschlufs über die Natur physikalischer Gesetze zu führen scheinen, so verdanken sie dies — die vorstehende Darlegung dürfte das völlig klargelegt haben — dem Umstande, dafs die Gleichungen, mit denen operiert wird, die volle Homogeneïtät nicht besitzen, dafs sie diese Homogeneïtät erst dann erlangen, wenn man ohne innerliche Prüfung Dinge, die durchaus verschiedener Art sind, auf Grund äufserlicher Übereinstimmung, für wesensgleich erklärt. D. h., diese Betrachtungen operiren mit der äufserlichen, der scheinbaren, der formellen Homogeneïtät, der ich hiermit die innerliche, die wahre Homogeneïtät, die Homogeneïtät der Sache entgegensetze.

III.

Ich wende mich nun zu den Folgerungen, die sich durch die Anwendung meiner allgemeinen Anschauung auf die Begriffe der Elektrizitätslehre ergeben. In dieser Hinsicht erhebt der Herr Herausgeber der Zeitschrift (in Heft 1, S. 42/43) gewisse Bedenken; mein Widerspruch gegen die Annahme verschiedener Dimensionen für die ruhende und die bewegte Elektrizität scheint ihm nicht berechtigt und zwar deshalb, weil die bewegte Elektrizitätsmenge sich thatsächlich in einem von dem Zustande der ruhenden Elektrizität qualitativ verschiedenen Zustande befinde, wie man schon daran erkenne, dafs bewegte Elektrizität auf einen Magnetpol wirke, ruhende aber nicht.

Ich befinde mich nun vollkommen mit ihm in Übereinstimmung, wenn er die Bewegung als einen Zustand bezeichnet, der eine Reihe von Folgen, wie sie im Ruhezustand nicht vorhanden sind, mit sich bringt, ich glaube auch, dafs dieses Moment in irgend welcher Art in den Formeln, die die Erscheinungen in beiden Fällen charakterisieren, zum Ausdruck kommen mufs. Aber dieser Zustand ist doch immer nur ein äufserlicher, der das Wesen des bewegten Objekts nicht ändert, die Berücksichtigung der besonderen aus der Bewegung sich ergebenden Momente ist doch auch sehr gut möglich, ohne dafs die Ausdrücke, mittels deren der Träger dieser Bewegung in die Formeln eingeführt wird, irgend welche Änderungen erleiden, es ist ja nur nötig, in diese Formeln neben den Gröfsen, die zum Ausdruck der bewegten Massen dienen, noch andere Gröfsen einzuführen, die sich auf die Bewegung selbst beziehen.

Und so kann man nicht nur verfahren, man verfährt auch in jedem anderen Falle wirklich in dieser Weise. Ich nehme das Beispiel der Energie einer mechanisch bewegten Masse; hier liegt ganz offenbar die Sache so, dafs durch die Bewegung Verhältnisse geschaffen werden, die ohne die Bewegung nicht vorhanden sein würden, denn der bewegte Körper erhält gerade durch die Bewegung die Energie, die Wucht, die ihn zu Leistungen befähigt, im Ruhezustand ist von dieser Energie nicht die Rede. Wird darum nun an dem Ausdruck für seine Masse irgend welche Änderung vorgenommen? Die Antwort lautet „Nein", denn in dem Ausdruck für seine Bewegungsenergie tritt seine Masse genau in derselben Art und mit derselben Bedeutung auf wie im Falle der Ruhe. Es tritt eben nur zu der Gröfse, die seine Masse bezeichnet, noch der Ausdruck für das halbe Quadrat seiner Geschwindigkeit hinzu, damit in der zusammengesetzten Gröfse $\frac{MV^2}{2}$ die Energie ihren sachgemäfsen Ausdruck findet.

Ich sollte meinen, dafs diese Anführung vollkommen genügt, um die Behauptung zu widerlegen, dafs die bewegte Elektrizität an sich eine andere Gröfse wäre als die ruhende Elektrizität, dafs beide Gröfsen also durch dimensionsverschiedene Ausdrücke dargestellt werden müfsten. Ich mufs an dem festhalten, was ich in meinem Aufsatz in den Unterrichtsblättern ausgeführt habe: der Satz, die elektrodynamische (resp. elektromagnetische) Mengeneinheit unterscheide sich von der elektrostatischen Mengeneinheit durch einen Geschwindigkeitsfaktor, steht im Widerspruch mit den Forderungen der Logik[5]).

Über dies Thema habe ich auf der Düsseldorfer Naturforscher-Versammlung in der Abteilung für Physik einige, den Inhalt des eben erwähnten Artikels noch weiter ergänzende Ausführungen gegeben. Ich wies dort auch auf die bedenklichen Folgerungen hin, die sich aus der Annahme der Dimensionsverschiedenheit bei den Elektrizitätsmengen für gewisse andere Begriffe der Elektrizitätslehre ergeben. Für den elektrodynamischen Stromwiderstand findet sich z. B. dabei die Dimension $\frac{L}{T}$; dies Resultat steht im Widerspruch damit, dafs dieser Widerstand der Länge des Stromwegs direkt, dem Querschnit des Stromwegs umgekehrt proportional ist. Da der Querschnitt selbst von der Dimension L^2 ist, ergiebt sich hieraus als Dimension der Länge im Ausdruck des Stromwiderstands nicht sowohl die Zahl $+1$, als vielmehr die Zahl -1, d. h. ein Sachverhalt, wie ihn die offizielle Angabe für die Dimension des elektrostatischen Stromwiderstands $\left(\frac{T}{L}\right)$ thatsächlich aufweist.

Vor allem aber habe ich in Düsseldorf gewisse, sich bereits in meinem mehrerwähnten Artikel findende Andeutungen weiter ausgeführt, die eine Kritik der Umstände enthalten, aus denen die Dimensionsverschiedenheit zwischen der ruhenden und der fliefsenden Elektrizität überhaupt herrührt. Die Bedeutung, die dieser Punkt besitzt, wird es rechtfertigen, wenn ich hier meine Argumentation ausführlich wiedergebe.

Auf die Dimension der elektrostatischen Elektrizitätsmenge kommt man bekanntlich dadurch, dafs man die elektrostatische Anziehung (resp. Abstofsung) zweier gleicher, in der Entfernung r befindlichen Elektrizitätsmengen e dem Ausdruck für die mechanische Kraftwirkung K gleichsetzt

$$\frac{e^2}{r^2} = K \ldots (7) \qquad\qquad e = r\sqrt{K} \ldots (8)$$

---

[5]) Anm. des Herausgebers. Ich kann auch die obigen Ausführungen nicht als zwingend erkennen. In Heft 1 S. 43 habe ich erklärt, dafs die Annahme einer qualitativen Verschiedenheit der strömenden Elektrizität von der ruhenden auch dann noch zulässig ist, wenn man für beide Erscheinungen ein identisches Substrat voraussetzt. Gegenüber dem erneuten Einspruch des Herrn Verfassers ist es aber wohl nötig, darauf hinzuweisen, dafs es eine blofse Analogie ist, wenn man das Verhältnis von bewegter und ruhender Elektrizität ebenso wie das von bewegter und ruhender Materie auffafst. Diese Analogie hat sich als überaus fruchtbar für die Untersuchung der strömenden Elektrizität erwiesen. Aber wir wissen weder, was ruht, noch was sich bewegt; keinesfalls ist es Materie. Darum lassen sich auch nicht Argumente darauf anwenden, die von der bewegten Materie hergenommen sind, und es ist anderseits nicht überraschend und kein Widerspruch, wenn sich neben den Ähnlichkeiten auch Unterschiede zwischen dem einen und dem andern Fall ergeben. Man müfste es sonst auch einen Verstofs gegen die Logik nennen, dafs im Weberschen Gesetz die Wechselwirkung zweier Elektrizitätsmengen von ihrer Geschwindigkeit abhängig gemacht wird, was bei ponderablen Massen, soweit unsere Erfahrung reicht, nicht der Fall ist.

Da nun K die Dimension MLT^{-2} hat, r die Dimension L, so erhält e die Dimension $M^{1/2} L^{3/2} T^{-1}$, wie bekannt.

Im Falle der Elektrodynamik nimmt man statt der beiden Elektrizitätsmengen e zwei parallele um r entfernte Stromelemente von gleicher Länge l und gleicher Stromintensität i und erhält, indem man deren gegenseitige Anziehung ganz ähnlich behandelt, die Gleichung

$$\frac{l^2 i^2}{r^2} = K \ldots (9)$$

Für die Stromintensität i setzt man dann den Quotienten aus der elektrodynamischen Elektrizitätsmenge E und einer Zeit t, dann hat man

$$E^2 = K \frac{r^2}{l^2} t^2 \ldots . (10) \qquad E = \sqrt{K} \frac{r}{l} t; \ldots . (11)$$

der für E so gewonnene Ausdruck weist die Dimension $M^{1/2} L^{1/2}$ auf [6]).

Jetzt vergleicht man beide Dimensionen mit einander, sieht mit Staunen, dafs die eine sich von der andern durch einen Faktor von der Dimension $\frac{L}{T}$ unterscheidet und bildet sich ein, hier einen qualitativen Unterschied der beiden Elektrizitätsmengen gefunden zu haben, den man hinterher auch ganz natürlich findet, weil er die Dimension einer Geschwindigkeit besitzt, und weil die Geschwindigkeit ja die vornehmste Qualität der Bewegung ist, durch die sich die eine Elektrizitätsmenge von der andern unterscheidet.

Das wäre, abgesehen von den später zu entwickelnden Bedenken, die sich gegen die Ansetzung der beiden Gleichungen (7 und 9) gemeinschaftlich richten, ja ganz schön, wenn die Verschiedenheit, die diese beiden Gleichungen gegeneinander aufweisen, ihren Ursprung in der qualitativen Verschiedenheit der Situation hätte, die in den beiden hier in Betracht kommenden Fällen, dem elektrostatischen und dem elektromagnetischen, vorliegt. Aber davon ist in Wahrheit keine Rede.

Der wahre Grund der Dimensionsverschiedenheit in beiden Fällen ist ganz allein der, dafs man die Rolle, die im elektrostatischen Fall die Gröfse e (die Elektrizitätsmenge selber) spielt, im elektrodynamischen (und ebenfalls im elektromagnetischen) Fall der Gröfse il zuweist, worauf dann noch die Gröfse i als Quotient der Gröfsen E und t aufgefafst, d. h. e als das Analogon zu $E \,.\, l/t$ angesehen wird.

Wie steht es nun mit der Berechtigung und dem Sinn dieses Verfahrens?

Bei der Wirkung des elektrischen Stromes, sei es dafs er auf einen zweiten Strom, sei es dafs er auf einen Magnetpol wirkt, kommt die Länge des wirkenden Stromstücks in Betracht; ein doppelt so langes Stromstück übt unter sonst gleichen Umständen die doppelte Wirkung aus, infolge dessen ist die Stromstärke i mit einem Faktor zu versehen, der diesem Umstande Rechnung trägt. Aber man sieht auch sofort, dafs dieser Faktor eine reine Zahl sein mufs, weil er eben nur der Multiplikator ist, durch den man der Vergröfserung der Wirkung bei Verwendung eines längeren Stromstückes Rechnung trägt. Der Faktor l, mit dem, wie eben erwähnt, i multipliziert ist, kann also vernünftiger Weise gar nicht als Länge betrachtet werden, er ist vielmehr ein dimensionsloses Längenverhältnis und weiter nichts.

---

[6]) Ähnlich liegt die Sache für die elektromagnetische Definition der Elektrizitätsmenge. Hier findet man zunächst für die magnetische Polstärke m mittels der Gleichung $\frac{m \cdot m}{r_1^2} = K$ dieselbe Dimension wie für die elektrostatische Mengeneinheit e, und indem man nun die Wirkung eines Kreisstromes vom Radius r_2 und der Intensität i auf einen in seinem Centrum befindlichen Magnetpol zu der Stärke m durch die Gleichung $\frac{2 r_2 i \pi m}{r_2^2} = K_2$ ausdrückt, zeigt sich, dafs $r_2 i$ dieselbe Dimension wie m, also auch wie e besitzt, worauf dann die weiteren Schlufsfolgerungen mit denen der rein elektrodynamischen Betrachtungsweise zusammenfallen.

Ebenso steht es mit der Gröfse t, mittels deren i auf e reduziert wird. Was hat die Zeit hiermit zu thun? Doch nur dies, dafs sie für die Zahl der Elektrizitätseinheiten bestimmend ist, die innerhalb des gedachten Stromstückes zur Wirkung gelangen. Je gröfser die Zahl dieser Einheiten ist, die in der Zeiteinheit diese Strecke passieren, um so gröfser ist die Wirkung — wenigstens nimmt man das an, es ist die Vorstellung, auf der die ganze Unterscheidung der bewegten von der ruhenden Elektrizität beruht — es ist die Vorstellung, die auch ich in diesem Augenblicke ohne weitere Prüfung als die gegebene Voraussetzung meiner Betrachtungen acceptiere.

Wenn dies nun zutrifft, so ist es klar, was dann der Ansatz $i = E/t$ bedeutet. Er sagt aus: Eine gewisse Elektrizitätsmenge E, die, den Stromquerschnitt in einer Sekunde passierend, eine bestimmte Stromstärke ergiebt, bringt nur den t-ten Teil dieser Stromstärke zuwege, wenn sie zur Passierung des Stromquerschnitts t Sekunden gebraucht, also sich mit einer Geschwindigkeit bewegt, die von der erst angenommenen nur den t-ten Teil ausmacht. Und auch hier wieder kann gar kein Zweifel obwalten, dafs t eine reine Zahl ist.

Der Faktor $1/t$, den man der elektrodynamischen Menge E hinzufügen mufs, damit ein Ausdruck herauskommt, der in den auftretenden Formeln dieselbe Rolle spielt, wie die elektrostatische Menge, dieser Faktor ist also ein Quotient zweier reiner Zahlen, mithin selbst eine reine Zahl, d. h. eine dimensionslose Gröfse.

Dies scheint im Grunde auch Maxwell zu fühlen, wenn er im Art. 786 (vgl. auch den Schlufs von Art. 768) seines berühmten Werkes (ich citiere nach der Weinsteinschen Übersetzung) sagt: „Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit V ist numerisch gleich der Anzahl elektrostatischer Elektrizitätseinheiten, die eine elektromagnetische Elektrizitätseinheit in sich fafst"[7]. Wenn die letztere Einheit demnach ein Vielfaches der ersteren ist, so kann der Faktor, durch den beide sich unterscheiden, nur eine reine Zahl, aber nicht eine Geschwindigkeit sein.

Man kann ja nun aus dem Vorhandensein eines bestimmten Zahlenverhältnisses zwischen der elektrostatischen und der elektrodynamischen Elektrizitätseinheit allerdings auf das Mitspielen einer gewissen den elektrodynamischen Vorgängen eigentümlichen Geschwindigkeit schliefsen, wenn man die nachfolgende Betrachtung anstellt, die zugleich einige weitere, der Dimensionslehre überhaupt und ihrer Anwendung auf die elektrischen Erscheinungen, insbesondere anhaftende Unklarheiten aufdeckt.

Den Beginn dieser Betrachtung mögen die offiziellen Definitionen der in Betracht kommenden Einheiten bilden. Nach diesen ist erstens die elektrostatische Mengeneinheit die Elektrizitätsmenge, welche auf eine ihr gleiche um die Längeneinheit entfernte Menge die Einheit der Kraft ausübt. Zweitens tritt die elektrodynamische Einheit der Stromstärke in zwei zu ihrer Verbindungslinie senkrechten, parallelen, um die Längeneinheit von einander entfernten Stromleitern auf, die sich bei einer der Längeneinheit gleichen Länge mit der Krafteinheit anziehen (oder abstofsen). Die elektrodynamische Elektrizitätseinheit ist dann die Elektrizitätsmenge, die in der Zeiteinheit durch den Stromquerschnitt fliefst.

Die beiden letzten Definitionen — bei denen ich der gröfseren Durchsichtigkeit wegen die elektrodynamische Definition gewählt habe, in der der Umweg über den Magnetismus vermieden wird — will ich jetzt dahin zusammenfassen:

Zwei stromdurchflossene parallele Leiter, die die Längeneinheit zur Länge haben und senkrecht zur Verbindungslinie ihrer Mitten stehen, die

[7]) Anm. des Herausgebers: Die Stelle heifst im Original (Art. 786): „*v is the number of electrostatic units of electricity in one electromagnetic unit.*" Ferner in Art. 768, wo dieselbe Gröfse mit n bezeichnet ist: „*n is a velocity, the absolute magnitude of which is the same, whatever units we assume.* Und in Art. 769, wo n mit der Geschwindigkeit v einer gleichförmig bewegten, mit elektrostatischer Ladung versehenen ebenen Fläche verglichen wird: *n must be a quantity of the same kind as v, that is a velocity. Hence we may define the ratio of the electric units to be a velocity, such that two electrical surfaces, moving in the same direction with this velocity, have no mutual action.*"

selber der Längeneinheit gleich ist, üben auf einander die Einheit der Kraft aus, wenn in der Zeiteinheit durch den Querschnitt eines jeden von ihnen die Einheit der Elektrizitätsmenge fliefst.

Das werde nun sofort auf den Fall des Centimeter-Gramm-Sekunden-Systems spezialisiert, dann hat man: in jedem von zwei 1 cm langen, um 1 cm von einander abstehenden parallelen Leitern muss per Sekunde die Elektrizitätseinheit durch den Querschnitt fliefsen, damit die zwischen ihnen auftretende Kraftwirkung die Gröfse einer Dyne habe.

Weifs man nun irgend woher, dafs in einer Sekunde w Elektrizitätseinheiten innerhalb dieser 1 cm langen Stromstrecke auftreten, so kann man schliefsen, dafs die Elektrizität sich mit einer Geschwindigkeit von w cm per Sekunde bewegen mufs, damit für das Auftreten von w Elektrizitätseinheiten auf der gedachten Strecke innerhalb einer Sekunde Platz geschaffen wird. (Dabei würde w den ungefähren Wert von $v \sqrt{2} = 3 \cdot 10^{10} \cdot 1{,}4 = 42 \cdot 10^9$ besitzen.)

Diese w elektrodynamischen Elektrizitätseinheiten in dem einen Stromleiter würden dann auf w elektrodynamische Einheiten in dem anderen Stromleiter dieselbe Kraft (nämlich eine Dyne) ausüben, die eine einzige elektrostatische Einheit auf eine zweite solche Einheit ausübt. Man hätte also als Ergebnis: eine elektrostatische Einheit wäre w elektrodynamischen Einheiten äquivalent, oder die elektrodynamische Einheit ist in der elektrostatischen w mal, die elektromagnetische Einheit also in der elektrostatischen Einheit v mal ($v = 3 \cdot 10^{10}$) enthalten. Die Sache würde also jedenfalls gerade umgekehrt liegen, als bei der MAXWELLschen Angabe, nach der die elektrostatische Einheit $v$mal in der elektromagnetischen enthalten sein soll.

Um zu dieser Angabe zu gelangen, mufs man von vornherein die elektromagnetische Elektrizitätseinheit anders, gewissermafsen umgekehrt definieren, nämlich so: Diese Einheit ist die gesamte innerhalb des betrachteten Leiterstücks während der Zeiteinheit zur Wirkung kommende Elektrizitätsmenge[8]). Wenn diese sich nun $v$mal so grofs findet, als die elektrostatische Mengeneinheit, so würde die elektrostatische Einheit gerade die Elektrizitätsquantität sein, die durch den Leiterquerschnitt fliefst.

Die MAXWELLsche Angabe ist also das Ergebnis einer Unklarheit in der grundlegenden Auffassung, deren Ursprung hier dahingestellt bleiben mag. Hier will ich nur auf einige Umstände hinweisen, die das Aufkommen solcher Unklarheit begünstigt haben. Der erste ist der Umweg, den man machen mufs, um das Verhältnis der beiden Elektrizitätseinheiten zum klaren Bewufstsein zu bringen. Nur die elektrostatische Einheit pflegt direkt durch Bezugnahme auf die Beobachtung definiert zu werden, dagegen wird die elektrodynamische Einheit durch eine rein theoretische Definition zu der Einheit der Stromstärke in Beziehung gesetzt, welche nun ihrerseits in ähnlicher Weise wie die elektrostatische Einheit durch Beobachtung der mit ihr zusammenhängenden mechanischen Wirkungen definiert wird. Es wird also jedenfalls das Verhältnis beider Mengen nur unter Heranziehung eines vermittelnden Elements, nämlich der Stromstärke, bestimmt. Bei der elektromagnetischen Einheit ist der Umweg noch stärker, weil der Magnetismus mit hineinspielt.

Der zweite, das Aufkommen der gedachten Unklarheit begünstigende Umstand ist der, dafs das gedachte Verhältnis in dem zu seiner wirklichen Bestimmung angestellten Versuche nirgends direkt bestimmt wird. Ich habe diesen Punkt bereits in meinem zu Herrn HÖFLERS Ausführungen Anlafs gebenden Artikel (*Unt.-Bl. IV, 4, S. 69*) erwähnt, hier möchte ich die dort gegebenen allgemeinen Bemerkungen noch durch zwei spezielle Hinweise ergänzen. Der eine betrifft die Thomson sche Methode, über die sich MAXWELL wie folgt äufsert (Art. 772 seines Werkes nach Weinsteins Übersetzung): „Offenbar hat man zwei Kräfte, die am Elektrometer und am Elektrodynamometer ausgeübten zu messen. Im Resultat erscheint jedoch nur der Quotient aus diesen Kräften. Da nun dieser Quotient eine Zahl sein mufs,

[8]) An diese Definition habe ich bei den Ausführungen angeknüpft, die ich auf der Düsseldorfer Naturforscherversammlung in der Abt. f. Physik (s. oben) vorgetragen habe. An der Richtigkeit der allgemeinen von mir gezogenen Schlufsfolgerungen wird dadurch nichts geändert.

so folgt, dafs die Reduktionszahl v in dieser Methode als Widerstand bestimmt wird. In der That ist auch der Widerstand eines Leiters elektromagnetisch gemessen von den Dimensionen einer Geschwindigkeit.“ Wie schwierig es ist, die Fülle verschiedenartiger Begriffe, die hier mit einander verflochten sind, gehörig auseinanderzuhalten, bedarf kaum noch eines Hinweises; auf die inneren Widersprüche, die der Satz an und für sich, sowie wegen der darin benutzten unzutreffenden Dimension des Widerstandes (s. oben S. 217) enthält, sei hier nur kurz hingewiesen.

In anderer Weise instruktiv ist das zweite, von mir auch in Düsseldorf angeführte Beispiel. In Art. 769 gibt Maxwell eine nähere Beschreibung eines Versuchs, der dazu dienen solle, sich von der Gröfse des Geschwindigkeits-Faktors, durch den sich die beiden Elektrizitätsmengen von einander unterscheiden, eine Vorstellung zu machen. Allerdings fügt er hinzu, dafs der Versuch praktisch unausführbar sei, trotzdem legt er ihm eine gewisse Bedeutung bei, weil er den Kern des Sachverhalts damit recht deutlich zu illustrieren hofft. Nun zeigt aber die Analyse dieses Versuches, dafs die durch ihn eventuell zu bestimmende Geschwindigkeitsgröfse mit der aus den Dimensionsverschiedenheiten der verschiedenen Mafssysteme hergeleiteten Geschwindigkeitsgröfse nichts zu thun hat. Die in diesem Versuch auftretende Geschwindigkeitsgröfse ist nichts als die Gröfse c aus dem Ausdruck des Weberschen Grundgesetzes für die Wechselwirkung zweier Elektrizitätsmengen $e_1\,e_2$, der nach Webers Bezeichnungen bekanntlich lautet

$$\frac{e_1\,e_2}{r_2}\left(1-\frac{1}{c^2}\left(\frac{dr}{dt}\right)^2-\frac{2}{c}\,r\,\frac{d^2r}{dt^2}\right);$$

dabei ist auch bemerkenswert, dafs für dieses c durch Weber und Kohlrausch gar nicht der der Lichtgeschwindigkeit entsprechende Wert $3\cdot 10$ cm-gr-Sek. gefunden worden ist, sondern der Wert $43\,945.\,10^6$ cm gr Sek., woraus der ungefähre Wert der Lichtgeschwindigkeit erst durch Division mit $\sqrt{2}$ hervorgeht.

Wie nun dem auch sein mag, jedenfalls läfst sich das Zahlenverhältnis zwischen der elektrostatischen und der elektrodynamischen (oder der elektromagnetischen) Mengeneinheit so deuten, dafs in der That die letzte Einheit sich in einem eine gewisse Geschwindigkeit aufweisenden Bewegungszustande befinde mufs. Ob diese ganze Auffassung nicht an dem eigentlichen Kern der Sache völlig vorbeigeht, wie sie sich überhaupt mit der ganzen neueren, gerade von Maxwell mit so grofsem Erfolg vertretenen Anschauung vom Wesen der Elektrizität verträgt, kann hier dahingestellt bleiben; an sich haftet, wie man einräumen mufs, der skizzierten Auffassung von der Verschiedenheit der Sachlage bei beiden Arten der elektrischen Vorgänge kein innerer Widerspruch an.

Aber ein gewisser Widerspruch macht sich doch geltend, der freilich erst hinterher hineinkommt, nämlich durch die Durchführung, die die eben gedachte an sich widerspruchsfreie Ausführung auf Grund der Prinzipien der Dimensionslehre erfährt. Um dies klar zu legen, gehe ich jetzt auf die Änderungen des Sachverhalts ein, die sich aus dem Übergang zu einem neuen Mafssystem ergeben. Es möge z. B. die Mafseinheit, wie die Zeiteinheit beibehalten werden, also als Längeneinheit statt des cm das Meter gewählt werden. Dann ändern sich die beiden für die Feststellung der elektrostatischen Einheiten bestimmenden Gröfsen, nämlich die Krafteinheit und die gegenseitige Entfernung der beiden auf einander wirkenden Elektrizitätsmengen; der Gesamteffekt dieser beiden Änderungen ergiebt, wie leicht zu sehen, dafs der Wert der elektrostatischen Einheit tausendmal so grofs wird, wie vorher.

Nun spielt im Falle der Elektrodynamik die Gröfse $i\cdot l=\frac{E\cdot l}{t}$, in deren Bezeichnung die Buchstaben die ihnen früher beigelegte Bedeutung beibehalten, wie oben betont, ganz dieselbe Rolle, wie in der Elektrostatik die Elektrizitätsmenge e. Läfst man also hier dieselben Änderungen eintreten wie im elektrostatischen Falle, d. h. vergröfsert man die behufs Messung der Wirkung herangezogene Krafteinheit und die gegenseitige Entfernung der beiden aufeinander wirkenden Elektrizitätsträger, so vergröfsert sich der Ausdruck $\frac{E\cdot l}{t}$ auch auf das Tausendfache.

Die Gröfsen $\frac{E \cdot l}{t}$ und e besitzen also auch unter der Herrschaft des neuen Mafssystems ganz dasselbe Verhältnis wie vorher, weil beide sich in gleichem Mafse vergröfsert haben. Will man nun bewirken, dafs auch die beiden Elektrizitätsmengen E und e das alte Verhältnis beibehalten, so mufs man dafür sorgen, dafs der Faktor $\frac{l}{t}$, mit dem die Gröfse E behaftet ist, sich nicht ändert; die beiden Gröfsen l und t, d. h. die Länge des Stromstückes, das bei der elektrodynamischen Wirkung in Betracht kommt, und ebenso die für das Passieren des Stromquerschnitts durch die elektrodynamische Elektrizitätsmenge erforderliche Zeit dürfen an der Veränderung, welche am Mafssystem vorgenommen wird, nicht partizipieren.

Nur wenn dies der Fall ist, behält das Verhältnis der elektrodynamischen zur elektrostatischen Einheit auch in dem neuen Mafssystem seinen Wert; nur unter dieser Voraussetzung erhält also dies Verhältnis den von der Wahl des Mafssystems völlig unabhängigen Charakter, den die gerade in diesem Verhältnis das wesentliche Kennzeichen des Unterschiedes zwischen den elektrostatischen und den elektrodynamischen Vorgängen erblickende Auffassung unabweislich fordert.

Aber diese Voraussetzung ist nicht erfüllt; eine verfehlte Vorliebe für die Systematik der Dimensionslehre führt dazu, dafs in den Definitionen der elektrodynamischen Einheiten von der Änderung des Mafssystems auch die oben erwähnten Gröfsen mitbetroffen werden. Das Verhältnis der beiden Elektrizitätsmengen erhält dadurch einen variablen Zahlenwert; das Unzulässige dieser Veränderlichkeit fällt nur darum nicht besonders ins Auge, weil man sich gewöhnt hat, dieser von Rechts wegen unbenannten Zahl als Benennung den Quotienten der jeweiligen Längeneinheit und Zeiteinheit zu geben, wodurch die Veränderlichkeit durch eine in entgegengesetztem Sinne hinzugefügte Veränderlichkeit gerade ausgeglichen wird[9]. Aber da wird eben ein Fehler nur durch einen anderen wieder gut gemacht.

Eine widerspruchsfreie Behandlung der elektrodynamischen Vorgänge mufs also zwischen den Gröfsen, durch die sich die äufseren Verhältnisse der zu messenden gegenseitigen Wirkung bestimmen, und den Gröfsen, die zur Definition der Träger dieser Wirkung dienen, sorgfältig unterscheiden. Jene Gröfsen sind veränderlich in Gemäfsheit des zur Anwendung kommenden Mafssystems, sie ändern sich im Falle der Elektrostatik und in dem der Elektrodynamik ganz gleichmäfsig; die letztgenannten Gröfsen, die nur im Falle der Elektrodynamik überhaupt mitspielen, müssen unabhängig von der Änderung des Mafssystems bleiben, wenn man nicht von vornherein sich in den Widerspruch verwickeln will, dafs man veränderliche Gröfsen mit andern ihnen gegenüber konstanten Gröfsen vergleicht, wobei ein festes Verhältnis überhaupt nicht herauskommen kann.

Man verbessere also die oben zusammengefafste Definition der elektrodynamischen Elektrizitätseinheit etwa in der Weise: Hat man zwei parallele, um die Einheit der Länge von einander abstehende, zur Verbindungslinie ihrer Mitten senkrechte Stromleiter von irgend einer ein für allemal feststehenden Länge (z. B. 1 cm), so ist die Einheit der Elektrizitätsmenge die Quantität, die in einer ein für allemal festbestimmten Zeit (z. B. in einer Sekunde) durch den Querschnitt eines jeden dieser Leiter fliefsen mufs, damit beide Stromstücke aufeinander die Einheit der Kraft ausüben. In ähnlicher Weise würde die Definition der elektromagnetischen Einheit zu verbessern sein.

Durch diese Definitionsänderung würde ein Teil der vorhandenen Widersprüche seine Erledigung finden, die einander entsprechenden elektrostatischen und elektrodynamischen (resp. elektromagnetischen) Grundgröfsen würden in jedem Falle dieselben Dimensionen erhalten, ihre Verhältnisse also, wie es die Logik erfordert, zu reinen Zahlen werden. Ferner würde der oben zur Sprache gebrachte Widerspruch aufhören, in dem die aus der Dimensions-

[9]) Folgt man der Maxwellschen Angabe, wonach die Gröfse v die Zahl der in der elektrodynamischen Einheit steckenden elektrostatischen Einheiten darstellen soll, so hat man statt dieser Ausgleichung vielmehr eine Verstärkung der einen Veränderlichkeit durch die andere, also einen noch gröfseren Widerspruch.

lehre sich ergebende Dimension des elektrodynamischen Stromwiderstandes zu der diesem Widerstand sonst zugeschriebenen Dimension steht.

Aber es würde allerdings auch nur ein Teil der vorhandenen Widersprüche fortfallen. Um gleich an den soeben erwähnten Umstand anzuknüpfen, so würde die Dimension des elektrodynamischen Widerstandes, indem sie den auch dem elektrostatischen Widerstand zukommenden Wert $T \cdot L^{-1}$ annimmt, sich den thatsächlichen Verhältnissen insoweit anpassen, als es sich um die vorkommenden Längenmafse handelt. Daneben aber enthält diese Widerstandsdimension noch die Gröfse T, und nun frage ich: Was in aller Welt hat denn der Stromwiderstand mit der Zeit zu thun? Ich glaube, die Antwort kann gar nicht anders lauten, als: „Nichts, rein gar nichts.“ Und ich frage gleich weiter: Wenn die elektrostatische Elektrizitätsmenge die Dimension $M^{1/2}\, L^{3/2}\, T^{-1}$ hat, was in aller Welt hat denn die elektrostatische Menge mit der Zeit zu thun? Wenn in dem Dimensionsausdruck für die elektrodynamische Menge etwas von der Zeit vorkommt, so wäre das ja weniger wunderbar, denn im Falle der Elektrodynamik haben wir es mit Bewegung zu thun, und Bewegung ist ein zeitlicher Vorgang. Aber gerade in dem Dimensionsausdruck für die elektrodynamische Menge ($M^{1/2}\, L^{1/2}$) fehlt die Zeit, und in dem für die elektrostatische Menge, die auch ihrem Begriffe nach eine von der Zeit total unabhängige Gröfse ist, kommt diese Zeit vor.

In der That sind die Widersprüche, die dieser Auffassung auch nach der ihr zu Teil gewordenen Verbesserung noch anhaften, so grofs, dafs es sich nur noch darum handeln kann, den Ursprung dieser Widersprüche aufzudecken.

Das ist ja ebenfalls glücklicherweise sehr leicht. Alle diese Widersprüche stammen aus den beiden Gleichungen, die ich oben mit (7) und (9) bezeichnet habe. Jede dieser Gleichungen leidet an dem Fehler, dafs sie die Gleichheit von völlig wesensverschiedenen Dingen aussagt. In beiden Gleichungen hat man rechts eine rein mechanische Gröfse, links aufser mechanischen Gröfsen noch die einem ganz anderen Erscheinungsgebiet angehörenden Gröfsen e und i. Durch Aufstellung dieser Gleichungen, aus denen dann die beiden Angaben (8) und (11) für e und i folgen, begeht man nicht nur einen logischen Fehler, man setzt sich auch in Widerspruch mit den Thatsachen. Denn die Sachverhältnisse, die durch die Gleichungen (7) und (9) ihren Ausdruck finden, sind völlig empirischer und nur empirischer Natur. Man weifs von ihnen ganz allein durch gewisse Beobachtungen, und zwar nur durch die Kombination dieser Beobachtungen. Bei keinem der beiden in diesen Gleichungen zum Ausdruck kommenden Wirkungsgesetze liegt die Sache so, dafs schon eine Beobachtung möglicherweise ausreichen würde, um das Gesetz zu erkennen, so dafs dann alle noch hinzukommenden Beobachtungen im wesentlichen nur den Wert von Bestätigungen des bereits erkannten Gesetzes haben würden. Man denke sich zwei gleichstarke geladene aus irgend einer Entfernung aufeinander wirkende Elektrizitätsträger und denke sich ein Gewicht, das die von diesen beiden elektrischen Ladungen aufeinander geübte Wirkung gerade aufhebt. Und nun frage ich: Ist es möglich, hieraus ein quantitatives Gesetz von der Art, wie es die Gleichung (7) hinstellt, herzuleiten. Offenbar nein! Erst indem man einen entsprechenden Sachverhalt unter veränderten äufseren Bedingungen zur Beobachtung bringt, erst dann ist man z. B. im stande, die Art zu erkennen, in der die gegenseitige Beeinflussung dieser beiden elektrischen Körper von ihrer Entfernung abhängt. Und wie kombiniert man diese beiden Beobachtungen mit einander, um die Erkenntnis dieser Abhängigkeit zu gewinnen? Doch auf keine andere Weise, als indem man die Wirkungen, um die es sich in beiden Fällen handelt, zu einander ins Verhältnis setzt, und dieses Verhältnis, wie es durch das Verhältnis der die Wirkungen aufhebenden Gewichte dargestellt wird, mit dem Verhältnis der in beiden Fällen vorhandenen Entfernungen zwischen den sich beeinflussenden Körpern vergleicht. Ich frage jeden Sachverständigen, ob man es anders macht, ob man es überhaupt anders machen kann! Und wenn, wie unausbleiblich, die Antwort auf diese Frage lautet: Nein, es geht überhaupt gar nicht anders!, dann sage ich: Wie kommt man denn dazu, solche Gleichungen aufzustellen, wie die Gleichungen (7) und (9)? Diese Gleichungen sind von vornherein falsch, sie entsprechen nicht den Thatsachen, die man durch sie zum

Ausdruck zu bringen beabsichtigt, diese Thatsachen finden ihren richtigen Ausdruck nur, wenn man z. B. statt der Gleichung (7) die Gleichung aufstellt

$$\left(\frac{e_1}{e_2}\right)^2 = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \cdot \frac{K_1}{K_2} \quad \ldots \ldots (12)$$

d. h. eine Gleichung, in der nur gleichartige Gröfsen ins Verhältnis gesetzt sind, aus der man dann freilich auch solche Schlüsse, wie sie die Dimensionslehre zu ziehen liebt, überhaupt nicht zu ziehen vermag.

Im übrigen verwahre ich mich dagegen, als ob es mir auf die Form dieser Gleichung besonders ankäme. Die Forderungen, die ich erhebe, gehen auf die Sache, es wird ihnen nichts vergeben, wenn man die Gröfsen, die in dem einen der beiden in Vergleich gezogenen Fälle auftreten, als Einheiten wählt und dann in der Gleichung nicht mehr besonders aufführt. Man nehme also für r_2 die Längeneinheit, für K_2 die Einheit der mechanischen Kraftwirkung, definiere dann die unter solchen Umständen zur Wirkung gelangende Elektrizitätsmenge e_2 als die Elektrizitätseinheit und schreibe

$$e = r\sqrt{K}.$$

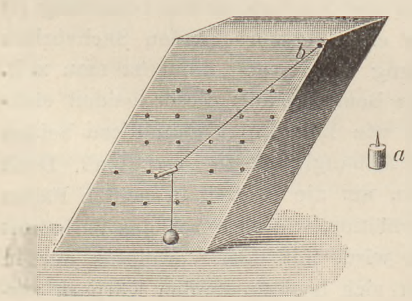
Das ist eine für die Praxis der Rechnung unzweifelhaft nützliche Vereinfachung. Nur bilde man sich nicht ein, dann noch mit den physikalischen Gröfsen selber zu thun zu haben. Wer bei dem Gebrauch dieser Gleichung so verfährt, als ob e eine wirkliche Elektrizitätsmenge, r eine wirkliche Länge, k eine wirkliche mechanische Kraft vorstellte, der stützt seine Argumentation auf eine Grundlage, die der Homogeneïtät entbehrt und diese ihr fehlende Homogeneïtät auch nicht dadurch gewinnt, dafs man nun durch einen Gewaltakt der Gröfse e die Dimension $L^{3/2}\, M^{1/2}\, T^{-1}$ verleiht, um die Forderung der Homogeneïtät äufserlich zu erfüllen. Wohl aber ist die Gleichung homogen, wenn man die in ihr auftretenden Gröfsen als das ansieht, was sie nach der Entstehung dieser Gleichung in Wahrheit sind, nämlich als Gröfsenverhältnisse, Verhältnisse der jedesmal in Betracht gezogenen Gröfsen zu den ein für allemal festbestimmten Einheiten. Das ist im Gegensatz zu der äufserlichen, der künstlich gemachten, der scheinbaren Homogeneïtät die innerliche, die natürliche, die wahre Homogeneïtät. Sie ist es, die ich für eine physikalische Gleichung fordere, von dieser Forderung kann ich kein Titelchen aufgeben.

Kleine Mitteilungen.

Ein Standfestigkeitsapparat.

Von **H. Kellermann** in Wien.

Der Apparat besteht aus einem kleinen schiefen, vierseitigen Prisma, dessen Rückwand fehlt, und in dessen Vorderwand eine Anzahl kleiner Löcher gebohrt sind. In diese kann ein mit einer Eisenspitze versehener Bleicylinder a von innen aus eingesteckt werden.



Dadurch ist es möglich, den Schwerpunkt nach verschiedenen Stellen zu verlegen. Ein Faden, der durch die in der oberen Ecke befindliche Bohrung b hindurchgezogen und an beiden Enden mit Metallknöpfchen versehen ist, kann um den hervorstehenden Eisenstift gelegt und so als Lot zur Bestimmung der Schwerlinie verwendet werden. Fällt das Lot über die Basis hinaus, so mufs der Körper fallen.

Weitere Versuche können so angeordnet werden, dafs man mehrere, z. B. drei gleichschwere Bleicylinder in verschiedene Löcher einsteckt. Steckt man dann auf die hervorvorragenden Eisenspitzen ein Blatt Papier, so ist es möglich, darauf den Massenmittelpunkt zu construieren. Mittelst einer Stecknadel kann in diesem das Lot befestigt werden, welches anzeigt, ob der Körper noch stehen kann oder umfallen mufs.

Berichte.

1. *Apparate und Versuche.*

Über das bei der sogenannten „totalen" Reflexion in das zweite Medium eindringende Licht. Von W. Voigt (*Wied. Ann. 67, 185; 1899*). Dafs bei der sogenannten totalen Reflexion die einfallende Welle auch in dem zweiten Medium eine Oscillation erregt, wird vom Verf. durch einen neuen Versuch gezeigt. An ein rechtwinkliges gleichschenkliches Glasprisma *e g f* (Fig. 1) wurde eine Fläche *a b* so angeschliffen, dafs Winkel $b\,a\,f = 20^{\circ}$ war. Es kommt darauf an, dafs die Fläche besonders an der Kante *a* sehr eben ist; der Schliff wurde von Zeifs in Jena sehr sorgfältig ausgeführt. Der Winkel zwischen *a b* und *a e* ist so gewählt, dafs eine senkrecht zu *b g* einfallende Welle sowohl an *a b*, wie auch an *a e* totale Reflexion erleidet. Die gebrochene Welle kann sich jetzt an der Kante *a* von der einfallenden und reflektierten Welle trennen und in die Luft austreten. Fällt das Licht einer Bogenlampe normal auf die Fläche *b g*, so sieht ein richtig eingestelltes Auge die Kante *a* in sehr hellem Lichte strahlen. Die Farbe dieses Lichts ist von dem Licht der Bogenlampe durch einen Stich ins Rötlichgelbe merklich unterschieden. Die Intensität ist am gröfsten parallel der Richtung *a c* und wird geringer, wenn das Auge auf einem Kreisbogen von *e* nach *h* bewegt wird. Bei wachsendem Einfallswinkel nimmt die Intensität der Lichterscheinung ebenfalls rasch ab. Ist das einfallende Licht unter einem Azimuth von 45° linear polarisiert, so scheint das von der Kante ausgehende Licht dieselbe Eigenschaft zu haben.

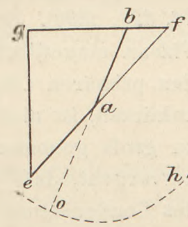


Fig. 1.

Der Versuch gelang auch mit einem Prisma von der Form der Fig. 2, wo eine totale Reflexion nur an *a b*, nicht auch an *a e* stattfindet. Hier ist Winkel $e\,a\,b = 135^{\circ}$. Fiel das Licht normal auf die Fläche *b g*, also unter 45° auf *a b*, so leuchtete die Kante *a* sehr hell, am stärksten in der Richtung *a o*. Mit Verkleinerung des Einfallswinkels auf *a b* nahm die Lichtstärke bedeutend zu und war in der Nähe des Grenzwinkels so stark, dafs auf einer matten Glasscheibe in einigen Centimetern Entfernung ein deutlicher Lichtschein erschien.

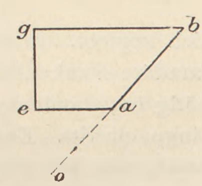
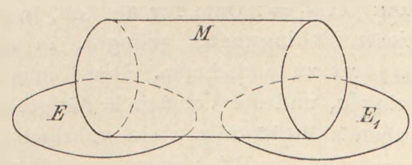


Fig. 2.

Von den theoretischen Ausführungen des Verfassers sei hier nur hervorgehoben, dafs die Amplituden der Componenten des gebrochenen Strahls sehr bedeutende Werte erreichen, woraus hervorgeht, dafs die bei totaler Reflexion in das zweite Medium eintretende Bewegung eine ziemlich grofse Intensität besitzt. Ferner ergiebt die Theorie, dafs die Intensität proportional ist der Wellenlänge, so dafs die Schwingungen mit grofsen Wellenlängen relativ stärker auftreten als die mit kleinen. Damit ist die rötliche Färbung der Lichterscheinung erklärt.

Die grofse Intensität des austretenden Strahlenbündels (die in einem sehr schmalen Bereiche beinahe das Dreifache der einfallenden Strahlung beträgt) macht die Erscheinung sehr geeignet, an Stelle der von einem Spalt ausgehenden Strahlen zu dienen. In der That gab besonders das Prisma in Fig. 1, wenn Sonnenlicht unter dem Grenzwinkel auf die Fläche *a b* fiel, eine sehr scharfe Lichtlinie und von dieser ein ausgezeichnetes Spektrum. *Schk.*

Eine Verbindung zweier Versuche von Ampère und Faraday beschreibt J. J. Taudin Chabot im *Phil. Mag. (5) 47, 331; 1899*. Ampère (*Recueil d'Observations p. 177, 1821; lettre à M. van Beck*) hat gezeigt, dafs ein Magnet sich unter dem Einflufs eines stetigen Stromes um seine Achse dreht, und Faraday (*Experimental Researches, series 2, § 217—230; 1832, Ostwalds Klassiker nr. 81, 71—75; vgl. auch series 28, 1851*) wies nach, dafs die Drehung eines Magneten um seine Achse einen stetigen Strom erzeugt. Durch die Verbindung beider Versuche erhält man einen Fall der Induktion durch stetige Ströme. Bildet ein sich drehender Magnet *M* (s. Fig.) das Zwischenglied, so erzeugt ein stetiger Primärstrom in dem Kreise *E* oder E_1 einen stetigen Sekundärstrom in dem



Kreise E_1 oder E. Zum Nachweis dieser Wirkung lege man an den Magneten eine allmählich wirkende Bremse und schalte eine Batterie in den Kreis E oder E_1 und einen Stromanzeiger in den anderen Kreis E_1 oder E. Beim Schliefsen des Stromes bleibt der Zeiger des Galvanometers auf Null stehen; beim Entfernen der Bremse von dem Magneten aber beginnt dieser sich zu drehen, und das Galvanometer zeigt einen Ausschlag, der so lange zunimmt, bis der Magnet sich völlig frei dreht. *H. H.-M.*

---

2. *Forschungen und Ergebnisse.*

Über die Vorgänge im Induktionsapparat. Von B. Walter. (*Wied. Ann. 62, 300; 1897; 66, 623; 1898*). Am Eingang seiner Untersuchungen erörtert der Verf. die Bedeutung des von Fizeau eingeführten Condensators. Die Auffassung, dafs der Condensator den Zweck habe, den primären Öffnungsstrom vom Öffnungsfunken wegzuziehen, um so dessen Zeitdauer abzukürzen, ist nicht vereinbar mit der Thatsache, dafs der Condensator unter Umständen auch zu grofs genommen werden kann. Dieses wird durch eine Versuchsreihe belegt, aus der hervorgeht, dafs bei dem benutzten Apparat die Funkenlänge mit der Zunahme der Gröfse des Condensators von 0 bis 0,05 Mikrofarad sehr schnell, von da bis zu 0,2 Mikrofarad nur allmählich wächst, um dann mit zunehmender Capazität langsam und gleichmäfsig abzunehmen.

Der Verf. untersucht zunächst die Bedingungen, unter denen der primäre Schliefsungsstrom zu stande kommt. Ist E_1 die Gröfse der ursprünglichen elektromotorischen Kraft, R_1 der Widerstand des ganzen primären Stromkreises, L_1 der Selbstinduktionscoëfficient der primären Rolle, i_1 die Stromstärke, so wird

$$R_1 i_1 = E_1 - L_1 \frac{di_1}{dt}, \text{ woraus } i_1 = \frac{E_1}{R_1}\left(1 - e^{-\frac{R_1}{L_1} t}\right)$$

sich ergiebt. Beim Beginn der Öffnung erhält i_1 seinen Maximalwerth I_1, von dem die sekundäre Funkenlänge abhängt. Aus der obigen Gleichung läfst sich die Zeit berechnen, die nötig ist, damit der primäre Strom die Stärke I_1 erlangt, bei der eine erwünschte Funkenlänge eintritt. Ebenso ergiebt sich daraus, wie grofs die Betriebsspannung E_1 sein mufs, wenn man bei gegebener Geschwindigkeit des Unterbrechers bei jeder Unterbrechung die volle Funkenlänge erzielen will.

Verf. demonstriert dieses an dem von ihm benutzten Kohlschen Induktionsapparat, der eine Funkenlänge von 30 cm liefern soll. Man erhält diese (für $R_1 = 0{,}56\ \Omega$, $L_1 = 0{,}113$) wohl schon bei $E_1 = 4$ Volt, doch tritt die für jene Funkenlänge nötige Stromstärke $I_1 = 6$ Amp. dann erst nach 0,36 Sek. ein. Das würde aber unter Zurechnung der für die Öffnung nötigen Zeit nur zwei Unterbrechungen in der Sekunde ermöglichen, wenn man jedesmal die maximale Funkenlänge haben will. Erhöht man aber die Betriebsspannung auf 12 Volt, so wird (bei denselben Werten von R_1, L_1 und I_1) $t = 0{,}064$ Sek., und man kann für die Zeit von einer Unterbrechung bis zur andern etwa 0,1″ rechnen. Giebt der Apparat also 10 Unterbrechungen in der Sekunde, so wird jedesmal die maximale Funkenlänge eintreten.

Der Versuch bestätigte die Theorie vollkommen. Der Widerstand liefs sich bis auf 1 Ohm erhöhen; bei weiterer Vergröfserung aber und Erhöhung der Zahl der Unterbrechungen hörten die Funken auf. — Nimmt man eine Betriebsspannung von 24 Volt, so erhält man bei $R_1 = 2$ Ohm für die Zeit, in welcher $I_1 = 6$ Amp. wird, $t = 0{,}038''$. Es mufs also unter diesen Bedingungen gelingen, in einer Sekunde 20 Funken von 30 cm Länge aus dem Apparat zu entnehmen. Der Kohlsche Unterbrecher liefs sich gerade noch auf 20 Touren bringen, und der Versuch bestätigte auch hier die Theorie. „Es ergab sich unter den angegebenen Verhältnissen ein wahrhaft imposanter Hagel von Blitzen, der aber sofort aufhörte, wenn man den Widerstand um ein weniges erhöhte.“

Zur theoretischen Untersuchung des primären Öffnungsstroms nimmt der Verf. an, dafs der Strom an der Unterbrechungsstelle U (Fig. 1) beim Beginn der Öffnung sofort aufhört und sich mit voller Stärke in den Condensator, dessen Capazität C_1 ist, ergiefst. Die elektromotorische Kraft E_1 der Betriebsbatterie tritt gegen die von der Selbstinduktion herrührende E.M.K. (die 1000 Volt übersteigt) ganz zurück und kann daher unberücksichtigt bleiben. Da es nur auf die dem sekundären Funken vorausgehenden Zustände ankommt, so kann auch — wenigstens bei kleinen Sekundärrollen mit geringer Capazität — die Rückwirkung dieser auf die primäre Rolle vernachlässigt werden. Die E.M.K. des Öffnungsstroms ($i_1 R_1$) setzt sich dann zusammen aus der E.M.K. der Selbstinduktion und derjenigen der Condensatorladung, d. h. $i_1 R_1 = - L_1 \frac{di_1}{dt} - \left[\frac{\int i_1\, dt}{C_1}\right]$. Durch Integration gelangt der Verf. (nach Berücksichtigung der Grenzbedingungen und Fortlassung sehr kleiner Glieder) zu dem Ausdruck

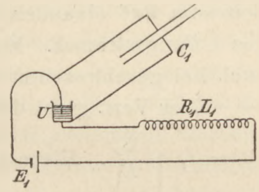


Fig. 1.

$$i_1 = I_1\, e^{-\frac{R_1}{2 L_1} t} \cdot \cos 2\pi \frac{t}{T}, \text{ wo } T = 2\pi \sqrt{L_1 C_1}$$

ist. Aus der Gleichung geht hervor, dafs der Öffnungsstrom eine Schwingungsbewegung ausführen mufs, deren Dauer T nur von L_1 und C_1 abhängt. Der Faktor $e^{-(R_1/2 L_1) t}$ zeigt, dafs wir es mit gedämpften Schwingungen zu thun haben.

Der Nachweis dieser Schwingungen gelang sehr gut mit der von Braun angegebenen Kathodenstrahlenröhre (d. Z. *X 193*). Ein durch ein enges Diaphragma abgegrenztes Bündel Kathodenstrahlen erzeugt auf einem phosphoreszierenden Schirm einen kleinen hellen Fleck, der den schnellsten Änderungen des magnetischen Feldes folgt und mit einem rotierenden Spiegel betrachtet wird. Dadurch läfst sich der zeitliche Verlauf des Feldes und des erzeugenden Stromes sehr genau studieren. Die Braunsche Röhre mufs so aufgestellt werden, dafs das Diaphragma sich in der Verlängerung der Achse der primären Rolle befindet. Die Rotation des Spiegels wurde bei Untersuchung des Schliefsungsstromes mit der Hand vorgenommen. Die Stromkurve erhält hierbei das Aussehen der Fig. 2, bei der BC und EF das Anwachsen des Stroms vom Momente des Schliefsens an, CD und FG den Öffnungsstrom darstellen. Letzteren geben die Figuren 3 bis 6 genauer; der Spiegel wird dazu von der Motorachse des Unterbrechers selbst in Bewegung gesetzt. Fig. 3 giebt den Öffnungsstrom ohne Condensator, die Fig. 4, 5 und 6 mit Condensator von bezw. 0,01, 0,22 und 0,90 Mikrofarad Kapazität. Fig. 4 zeigt gegenüber Fig. 3, dafs der Condensator in der That die Dauer des Öffnungsstroms abkürzt. Bei Vergröfserung der Kapazität entstehen die von der Theorie geforderten Schwingungen; der Abfall des Stromes in Fig. 5 ist noch steiler und tiefer, was eine geringe Zunahme der sekundären Funkenlänge zur Folge hat. Bei noch gröfserer Kapazität (Fig. 6) werden die Schwingungen langsamer, und der Abfall des Stromes ist wieder weniger steil, d. h. die Funkenlänge mufs abnehmen. Das entspricht aber den am Eingang erwähnten Beobachtungen. Die Kapazitäten in Fig. 5 und 6 verhalten sich etwa wie 1 : 4, und die Dauer der Schwingungen verhält sich auch — der Formel entsprechend — wie 1 : 2. Die Dämpfung ist gröfser, als sie der Dämpfungsfaktor in der abgeleiteten Formel angiebt. Das beeinflufst aber nicht die Richtigkeit der übrigen Gröfsenbeziehungen.

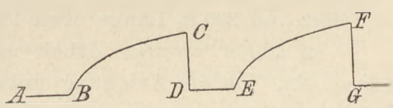
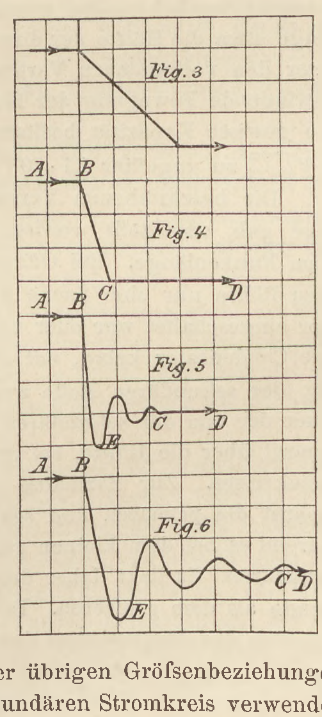


Fig. 2.



Die Braunsche Röhre läfst sich nur bei geöffnetem sekundären Stromkreis verwenden.

Ist dieser geschlossen, so paralysieren sich die magnetischen Wirkungen beider Ströme. Doch giebt die Betrachtung des sekundären Funkens im rotierenden Spiegel ein Bild wie Fig. 7, d. h. eine Reihe von Einzelentladungen, die — wie die Messung zeigt — in demselben Zeitraum auf einander folgen, wie die Auf- und Niedergänge in den Schwingungskurven des Öffungsstromes. Man kann hieraus rückwärts auf das Bestehen dieser Schwingungen auch bei geschlossenem sekundären Stromkreise schliefsen.

Der Verf. giebt dann noch eine Theorie der sekundären Maximalspannung E_2 und findet $E_2 = J_1 \sqrt{\frac{L_2}{C_1}}$. Hiernach müfste die sekundäre Spannung um so höher sein, je kleiner die Kapazität des primären Condensators ist. Das trifft nur darum nicht ganz zu, weil der Öffnungsfunke dann zu stark wird. Wird dieser (z. B. durch Entladung in Petroleum) abgeschwächt, so kann der Apparat auch einen kleineren Condensator haben. Ferner zeigt die Formel, dafs die sekundäre Spannung wächst, wenn man den Selbstinduktionscoëfficienten L_2 des sekundären Stromkreises möglichst grofs macht. Das geschieht durch Einbringung eines Eisenkernes. Dass E_2 proportional J_1 ist, wurde dadurch bestätigt, dafs die Schlagweite des benutzten Induktoriums dem Maximalwerte J_1 des primären Stroms vollkommen proportional war. Verf. nimmt dabei an, dafs auch Schlagweite und Spannung einander proportional sind. Aus der Kenntnis beider Werte für sein Induktorium sucht er unter jener Annahme die Spannung eines Blitzes annähernd zu berechnen. Ein Funken von 1 m Länge würde einer Spannung von 650 000 Volt, ein Blitz von 200 m Länge etwa 130 Mill. Volt entsprechen.

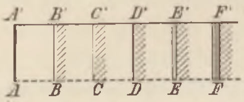


Fig. 7.

In seiner zweiten Arbeit geht Walter auf die Kapazität der sekundären Rolle näher ein. Da die Anlegung unbedeutender neuer Kapazitäten die Funkenlänge sehr erheblich herabsetzt, ebenso die Länge der entstehenden Schwingungen sehr vergröfsert, so schliefst Verf., dafs die der Rolle eigene Kapazität nur klein sein kann. Dafs eine solche aber vorhanden war, bewies folgender Versuch. Brachte man die primäre Rolle allein ohne Condensator zur Einwirkung auf die Braunsche Röhre, so zeigte das Bild des Kathodenstrahls keine Schwingung. Wurde aber die sekundäre Spule über die primäre geschoben, so waren deutlich einige, wenn auch stark gedämpfte Schwingungen wahrzunehmen, deren Länge etwa die Hälfte der durch den primären Condensator veranlafsten Schwingung betrug. Unter den vorhandenen Versuchsbedingungen konnte diese nur veranlafst sein durch eine schwingende Bewegung der Elektrizität in der sekundären Rolle; und diese mufste daher eine gewisse Kapazität besitzen. Diese Kapazität bestimmt Walter aus der Formel $T_2 = 2\pi \sqrt{L_2 C_2}$ zu ungefähr $1{,}1 \cdot 10^{-12}$ Farad.

Die beschriebenen Versuche waren mit einem Induktorium, das bis 30 cm Funkenlänge gab, angestellt worden. Das Ergebnis wurde ein anderes mit einem Apparat von 60 cm Funkenlänge. Bei Öffnung des primären Stromes hatte hier die Kurve in der Braunschen Röhre nur eine flache Ausbuchtung, und zwar ganz gleich, ob der primäre Condensator eingeschaltet war oder nicht. Entfernte man aber die sekundäre Rolle, so zeigten sich ohne Condensator keine, mit Condensator sehr gut ausgebildete Schwingungen. Die Kapazität der sekundären Rolle war bei dem zweiten Induktorium $C_2 = 6{,}5 \cdot 10^{-12}$ Farad. Die Dauer der von der sekundären Rolle herrührenden Schwingungen betrug bei dem kleineren Apparat über die Hälfte, bei dem gröfseren ebensoviel wie die Schwingungen des primären Stromkreises. Zur Erzielung der günstigsten Wirkung werden daher bei dem grofsen Apparat die primären und sekundären Schwingungen auf Resonanz gestimmt sein müssen, während es bei dem kleinen günstiger ist, wenn die primären erheblich gröfser sind als die sekundären. Es liegt daher dem kleineren Apparat ein ganz anderes Constructionsprinzip zu Grunde als dem gröfseren. Den Grund dafür findet der Verf. darin, dafs bei kleineren Induktorien der Magnetismus des Eisenkerns den rasch abnehmenden Schwingungen nicht zu folgen vermag, so dafs man suchen mufs, sie zu verringern. Bei gröfsern Instrumenten sind dagegen die Eigenschwingungen der sekundären Rolle schon selbst so langsam, dafs der Magnetismus ihnen ohne grofse Verluste folgen kann. Daher ist hier das Prinzip der Resonanz beider Stromkreise das günstigste.

Aus theoretischen Überlegungen folgert der Verf., dafs die in einem grofsen Induktorium erreichte Spannung wesentlich von der Gröfse des Dämpfungscoefficienten der primären und sekundären Stromschwingung abhängt. Die Berechnung dieser Gröfsen ist noch nicht gelungen. Es wird aber bei gröfseren Instrumenten darauf ankommen, durch geeignete Wickelung und ein passendes Dielektricum die Kapazität der sekundären Rollen möglichst zu verkleinern. Ferner mufs bei allen Apparaten ein magnetisches Material genommen werden, das mit einer möglichst grofsen Susceptibilität eine möglichst geringe Hysteresis verbindet.

Die von Walter beschriebenen Schwingungen des sekundären Induktionsstromes hat W. Hess mit Hülfe der im elektrischen Felde eintretenden Doppelbrechung eines Dielektrikums sichtbar gemacht (*Wied. Ann. 66, 980; 1898*). Verf. benutzte den Quinckeschen Flüssigkeitscondensator: ein mit Schwefelkohlenstoff gefülltes Gefäfs mit zwei Elektrodenplatten, die mit den Polen des Induktoriums verbunden werden. Der Flüssigkeitscondensator steht zwischen zwei gekreuzten Nicols, die so aufgestellt sind, dafs ihre Polarisationsebenen unter 45° gegen die elektrischen Kraftlinien geneigt sind. Die von dem Licht einer Bogenlampe ausgehenden Strahlen werden durch den ersten Nicol polarisiert, gehen dann zwischen den Elektrodenplatten durch die Flüssigkeit hindurch und werden von dem zweiten Nicol ausgelöscht. Durch eine Linse kann das Bild eines zwischengestellten Spaltes auf einen Schirm oder eine photographische Platte geworfen werden. Während bei gekreuzten Nicols dieses Bild dunkel bleibt, entstehen bei jeder Entladung des Induktoriums Aufhellungen. Um zur genaueren Beobachtung der Entladungsvorgänge diese Lichterscheinungen zu zerlegen, war für subjektive Beobachtung eine senkrecht zur optischen Bank rotierende Linsenscheibe, für photographische Aufnahmen eine Pendelvorrichtung angebracht. Das Pendel unterbrach den Primärstrom in dem Momente, wo auch die photographische Platte das Objektiv passierte. Die Geschwindigkeit des Pendels beim Durchgang durch die Gleichgewichtslage wurde vermittelst Photographie einer senkrecht zur Schwingungsrichtung des Pendels schwingenden Stimmgabel bestimmt. Mit zwei Stimmgabeln von den Schwingungszahlen 256 bezw. 435 ergab sich die Geschwindigkeit des Pendels im Mittel zu 113 cm/sec.

Die Sekundärspule des Induktors war mit einer Funkenstrecke verbunden, die so reguliert wurde, dafs bei Entladungen der Funke hier und nicht im Flüssigkeitscondensator übersprang. Parallel zu beiden war ferner ein Condensator mit veränderlicher Kapazität eingeschaltet.

Um den oscillatorischen Vorgang messen zu können, stellte Verf. zwischen Spalt und Flüssigkeitscondensator ein quadratisches Glasstück, das durch Druck doppeltbrechend gemacht wurde. Man erhält dann im Gesichtsfeld einen dunkeln, von zwei hellen eingeschlossenen Streifen. Werden die Platten des Flüssigkeitscondensators elektrisiert, so wird der Schwefelkohlenstoff doppeltbrechend, seine Wirkung combiniert sich mit der des Glasstücks, und das Streifensystem verschiebt sich. Die Gröfse der Verschiebung giebt ein Mafs für die Gröfse der Doppelbrechung, d. h. für das Quadrat des Potentials. Zieht man das Spaltbild in seiner zeitlichen Veränderung räumlich auseinander, so erhält man statt des geraden Streifensystems eine Kurve, deren Gestalt die Spannungsschwankungen des Induktoriums wiedergiebt.

Hess hat für drei Induktorien die elektrischen Eigenschwingungen der Sekundärspulen bei verschiedenen Werten der angehängten Kapazität nach der beschriebenen Methode photographisch aufgenommen. Mit einem Glasmafsstabe wurde die Wellenlänge der einzelnen Schwingungen gemessen und mit der vorher ermittelten Geschwindigkeit des Pendels die Schwingungsdauer berechnet. Letztere wurde auf die Dämpfung Null reduziert. Die Quadrate dieser reduzierten Schwingungsdauer ergaben sich, der Theorie entsprechend, als annähernd proportional den angehängten Kapazitäten. Verf. findet ebenso wie Walter, dafs die Eigenkapazität des Induktoriums vernachlässigt werden kann im Verhältnis zu den angefügten Kapazitäten, ebenso, dafs die Dämpfung erheblich gröfser ist, als sie nach der Theorie sein sollte. Den Einflufs des Eisenkerns findet Hess dagegen bedeutender als Walter, da ohne Eisen eine Verschiebung des Interferenzstreifens überhaupt nicht eintrat.

Die beschriebene Methode läfst sich auch vorteilhaft auf Entladungserscheinungen, sowohl zwischen Kugeln in Luft wie in Geifslerschen Röhren, anwenden. Die dabei auftretenden Schwingungen machen sich deutlich bemerkbar und werden vom Verf. näher geschildert.

Über die Spannung an dem Pole eines Induktionsapparates hatte Oberbeck bereits früher einige Untersuchungen veröffentlicht, über die in dieser *Zeitschrift XI 142* berichtet wurde. Eine Fortsetzung jener Arbeit giebt derselbe Verf. in *Wied. Ann. 64, 193; 1898.* Als wichtigstes Resultat seiner früheren Untersuchungen hatte sich ergeben, dafs die sekundäre Spannung der primären nahezu proportional ist. Da diese leicht zu messen ist, so hat man die Möglichkeit, Induktionsströme von bestimmter Spannung herzustellen oder deren Stärke zu messen. Um hierzu die Primärspannung continuierlich ändern zu können, schaltet Verf. in den Stromkreis von 9 Akkumulatoren aufser dem Starkstromwiderstand Lampenkohle ein, die in ein Quecksilbergefäfs taucht und durch eine Zahnstange gehoben oder gesenkt werden kann. Von den Enden des ganzen Widerstandes zweigt die Leitung zum Induktorium ab; die Potentialdifferenz jener Punkte wird durch ein Voltmeter gemessen.

Eine Veränderung des Widerstandes des Primärkreises hat auf die Sekundärspannung nur geringen, die Schliefsungszeit grofsen Einflufs. Um eine möglichst hohe Sekundärspannung zu erhalten, soll der Gang des Unterbrechers nicht zu schnell, die Zeit, während welcher der primäre Strom geschlossen ist, möglichst lang sein. Bei der Construktion der Unterbrecher mufs dieses beachtet werden.

Bei den bisherigen Versuchen war die Spannung des einen Pols untersucht worden, während der andere Pol zur Erde abgeleitet war. War der andere Pol gleichfalls isoliert, so sank die Sekundärspannung nicht, wie man annehmen sollte, auf die Hälfte, sondern auf beinahe zwei Drittel ihres ersten Wertes herab. Der Grund dieser Erscheinung liegt möglicherweise darin, dafs der sekundäre Strom in der langen Drahtleitung nicht überall gleiche Phasen hat. Solange dieses nicht festgestellt werden kann, hält Verf. jede Theorie des Induktionsvorganges für unvollständig und die Berechnung der Sekundärspannung für aussichtslos.

Verf. bestimmte ferner die Beziehungen zwischen Funkenlänge und Funkenpotential. Er benutzte dazu ein Funkenmikrometer, das grofse Funkenstrecken zu messen gestattete. Durch continuierliche Änderung der Primärspannung wurde die sekundäre Spannung so weit gesteigert, dafs bei einer bestimmten Funkenstrecke eben noch ein fortdauernder Funkenstrom überging. Traten in diesem eine kleine Anzahl Versager auf, so wurde die dabei erhaltene Spannung als die gesuchte angesehen. Die Ergebnisse zeigen einige Verschiedenheiten, je nachdem beide Elektroden gleich oder ungleich, isoliert oder zur Erde abgeleitet sind. Natürlich nehmen die Spannungen mit den Funkenstrecken, wenn auch nicht immer proportional, zu. Bei Kugelelektroden sind die Spannungen für kleine Funkenstrecken erheblich gröfser, wenn die Kugeln lange gebraucht oder nicht gut poliert sind. Bei grofsen Funkenstrecken sind die Spannungen von der Beschaffenheit der Kugeln weniger abhängig. Nimmt man als Elektroden eine Spitze und eine Platte, so erhält man bei isolierter Spitze nur dann grofse Funken, wenn die Spitze positiv, bei isolierter Platte, wenn diese negativ ist. Bei grofsen Funkenstrecken zeigen die Beobachtungsreihen für verschiedene Elektroden einen gleichmäfsigeren Verlauf als bei kleinen. Die Entladung geht hierbei immer von der positiven Elektrode aus. Damit diese von einer positiven Spitze auf einen Leiter in 10 cm Entfernung übergeht, sind ungefähr 45 000 Volt, für 20 cm Entfernung etwa 75 000 Volt erforderlich. Nimmt die Spannung in gleicher Weise mit der Entfernung zu, so müfste man, um eine Funkenstrecke von einem Meter zu erhalten, eine Potentialdifferenz von etwa 200 000 Volt anwenden.

Eine Funkenentladung bedarf zweier Elektroden, eine Büschelentladung nur einer

Bei mittleren Funkenstrecken geht das positive Büschel leicht in einen Funken über, das negative Büschel nur beim Übergang von Spitze zu Spitze. In allen andern Fällen gelingt es nur bei kleinen Entfernungen, das negative Büschel in Funken überzuführen.

In Ergänzung der hier beschriebenen Versuche mit hohen Potentialen bei langen Funkenstrecken untersucht Oberbeck in seiner neuesten Arbeit (*Wied. Ann. 67, 592; 1899*) Entladungen bei kleinen Funkenstrecken in freier Luft sowie bei mittleren Funkenstrecken in verschiedenen Gasen und bei verschiedenem Druck. Auch hier wurde stets die Maximalspannung des Induktoriums als Funktion der Primärspannung festgestellt. Ein Vergleich der vom Verf. bei zwei Kugelelektroden in freier Luft erhaltenen Zahlen mit den von Kohlrausch für elektrostatisches Potential und Schlagweite gefundenen Gröfsen ergab, dafs die Funkenpotentiale bei kleinen Funkenstrecken für langsame Ladung niedriger sind als für das Induktorium. Bei grofsen Funkenstrecken ist es gerade umgekehrt. Eine Spitze und Platte als Elektroden zeigten wieder ein sehr verschiedenes Ergebnis, je nachdem die Spitze positiv oder negativ war; die Kurven, welche für diese beiden Fälle die Entladungspotentiale als Funktionen der Funkenstrecken darstellen, kreuzen sich bei kleinen Funkenstrecken, d. h. hier ist das Entladungspotential der negativen Spitze kleiner als das der positiven, während es bei gröfseren Funkenstrecken umgekehrt ist.

Bei verschiedenen Gasen und bei Veränderung des Druckes untersuchte Verf. die Entladungspotentiale, bei denen sowohl Büschel- als auch Funkenentladung eintritt. Als Elektroden dienten zwei Messingkugeln in 6 cm Abstand; sie befanden sich in einem Raum, der mit Gasen gefüllt und evakuiert werden konnte. Die Primärspannung wurde zunächst so weit erhöht, dafs an den Kugeln im völlig verdunkelten Zimmer schwache Lichterscheinungen auftraten und sich dauernd erhielten; dann wurde sie weiter vergröfsert, bis Funkenentladung eintrat. In beiden Fällen wurde daraus die Sekundärspannung festgestellt. Läfst sich bei starker Verdünnung das Büschellicht durch Steigerung der Spannung noch durch den dunklen Kathodenraum bis zur Berührung mit der Kathode hindurchtreiben, so bezeichnet Verf. dieses noch als Funkenentladung. Die nebenstehende Figur 8 zeigt die Änderung der beiden Spannungen mit dem Druck für Luft, Kohlensäure und Wasserstoff; die Kurven für die Funkenpotentiale sind ausgezogen, die für Büschelpotentiale gestrichelt. Die Funkenpotentiale für Luft bleiben mit sinkendem Druck bis zu 300 mm nahezu constant, sinken rasch bis auf ein Minimum (bei 200 mm) und steigen dann wieder stark an. Der letzte Teil der Kurven giebt eben die Spannung an, bei der die Entladung noch zur Kathode herangetrieben wird. Bei einem Druck von unter 100 mm erreicht sie diese auch bei den gröfsten Spannungen nicht mehr. Ähnlich ist die Kurve für Kohlensäure, ganz anders aber für Wasserstoff, wo das Entladungspotential schon bei gewöhnlichem Druck sehr grofs ist, bei sinkendem Druck zunimmt und unter 500 mm Druck keine Funkenentladung mehr entsteht. Die entsprechenden Kurven für die Büschelentladung verlaufen einfacher. Bei Kohlensäure sind die beiden Potentiale bis zu 400 mm Druck herab nicht von einander verschieden, bei Wasserstoff ist der Unterschied von Anfang an sehr grofs. Für Luft zeigt die Büschelkurve nur das Minimum an, da das Potential bei noch weiterer Verdünnung wieder stark zunimmt.

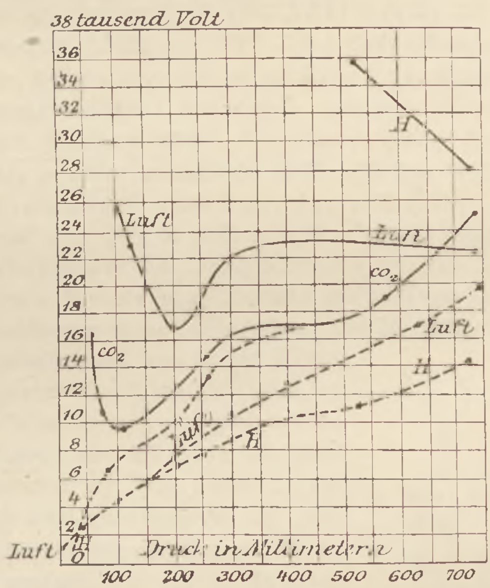


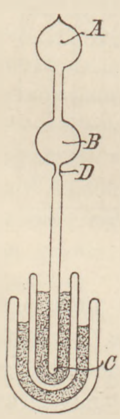
Fig. 8.

Auf Grund dieser Beobachtungen stellt Oberbeck die Hypothese auf, dafs es für jedes Gas bei einer bestimmten Funkenstrecke einen gewissen Druck giebt, oberhalb dessen eine Entladung nur in Funkenform übergeht. Unterhalb jenes Drucks lassen sich Büschel- und Funkenentladungen getrennt beobachten, erstere für ein niedrigeres, letztere für ein höheres Entladungspotential. Mit sinkendem Druck nehmen beide Potentiale bis zu einem Minimum ab, um dann wieder zu wachsen. *Schk.*

Untersuchungen bei tiefen Temperaturen. Über die spezifische Wärme einiger Metalle bei tiefen Temperaturen. Von U. Behn (*Wied. Ann. 66, 237; 1898*). Zur Abkühlung der Metalle wurde flüssige Luft verwendet, die eine Lindesche Maschine lieferte. Daneben diente für das Gebiet von — 80° bis Zimmertemperatur eine Mischung von Alkohol und fester Kohlensäure. Die angewandte Methode war die der Mischung; die Temperaturen wurden mit Thermoelementen von Eisen-Constantan und einem Zeigervoltmeter gemessen. Der zu untersuchende Metallcylinder wurde in einem gut verschlossenen Reagensglase in das Kältebad getaucht, hier 90 Min. darin gelassen, dann rasch aus dem Reagensglase herausgezogen und schnell in das Calorimeter gebracht. Die bei der Überführung eintretende geringe Erwärmung wurde als Correktur in Rechnung gezogen. Verf. bestimmte so die spezifischen Wärmen von Pb, Pt, Ir, Pd, Cu, Ni, Fl, Al bis zu Temperaturen von — 186°. Die spezifische Wärme nimmt bei allen Metallen mit der Temperatur ab und zwar am meisten bei denen mit grofser spezifischer Wärme. Die graphische Darstellung dieser Abnahme läfst die Möglichkeit zu, dafs alle Kurven sich bei der absoluten Temperatur 0° schneiden, so dafs die einzelnen spezifischen Wärmen dort einen gleichen, sehr kleinen Wert annehmen.

Eine Untersuchung der lichtempfindlichen Haloidsalze, die A. und L. Lumière (*C. R. XXVIII, 359; 1899*) vornahmen, ergab, dafs Bromsilbergelatine von maximaler Empfindlichkeit bei — 191° eine 150 bis 400 mal so lange Expositionszeit braucht, um dieselbe Einwirkung des Lichts zu erlangen als bei gewöhnlicher Temperatur. Die durch die Lichtstrahlen erregten chemischen Veränderungen werden also durch Abkühlung unterdrückt. Auch phosphoreszierende Stoffe verlieren die Fähigkeit, zu leuchten, wenn man sie auf — 191° abkühlt. Beim Erwärmen erlangen sie dieselbe sofort wieder.

Die Herstellung hoher Vakua durch flüssigen Wasserstoff ist J. Dewar gelungen (*Nature v. 19. Jan. 1899, S. 280*). Aus theoretischen Betrachtungen findet derselbe nämlich, dafs bei dem Siedepunkt des Wasserstoffs (35° absolut) der Dampfdruck des Sauerstoffs nur ungefähr ein Achtmillionstel einer Atmosphäre betragen kann. Hieraus ergiebt sich ein bequemes Mittel, um hohe Vakua herzustellen. Eine gewöhnliche Vakuumröhre AB (s. Fig.) von 15 bis 25 ccm Inhalt hatte unten ein etwa ein Fufs langes Ansatzrohr, das bei D bis auf 1 mm verengert war, so dafs es hier leicht abgeschmolzen werden konnte. Das Ende C lief bisweilen in eine kleine Kugel aus, wodurch die abzukühlende Oberfläche vergröfsert wurde. Diese und ähnliche Röhren waren mit Luft, Sauerstoff und Stickstoff von Atmosphärendruck gefüllt. Zur Evakuierung wird das Ende C auf etwas über eine Minute in ein mit flüssigem Wasserstoff gefülltes Vakuumgefäfs getaucht, das sich selbst in einem ähnlichen, mit flüssiger Luft gefüllten Gefäfs befindet. Die in dem Rohre vorhandene Luft wird dadurch in flüssigen und festen Zustand übergeführt und sammelt sich in dem Ansatzrohr C an. Wird dieses bei D abgeschmolzen, so ist in AB ein dauerndes Vakuum hergestellt. Der hohe Grad der Verdünnung zeigt sich in dem grofsen Widerstande, den es einer elektrischen Entladung entgegensetzt, und der hellen Phosphorescenz des Glases. Zwei auf die beschriebene Art von Crookes hergestellte Röhren mufsten erhitzt werden, um überhaupt einen Funken durch zu lassen. Damit ist bewiesen, dafs die Dampfspannung des festen Stickstoffs und Sauerstoffs bei der Temperatur des siedenden Wasserstoffs unter ein Millionstel Atmosphäre beträgt.



Über die Wirksamkeit verschiedener Isolationsmittel für Arbeiten bei niederen Temperaturen hat W. Hempel in den *Ber. d. d. chem. Ges. XXXI 2993 (1898)* Untersuchungen veröffentlicht. Danach bewirkten Eiderdaunen die beste Isolation, die Temperatur stieg in ca. 1 Stunde von — 78° auf — 67°; zunächst kam trockne reine Wolle (— 77° bis — 64°), Baumwolle, Seide. Eine gut evakuierte Dewarsche Röhre zeigte ein Ansteigen von — 78° bis — 31°, eine ebensolche von Bender-Holbein in München von — 77 bis — 54°; eine schlecht evakuierte Dewarsche Röhre von — 70 bis — 23°. Gute Dienste, insbesondere zur Verdichtung von Gasen, leistete ein Gemisch von fester Kohlensäure mit Äther in einem Zinkkasten, der durch trockene reine Wolle isoliert war. *Schk.*

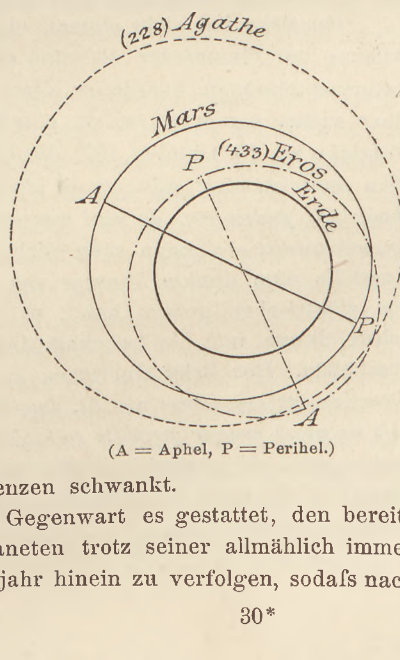
Weiteres vom Planeten Eros. Unsere in dieser Zeitschrift *(XII 34)* ausgesprochene Vermutung, dafs sich vielleicht ältere, für eine baldige genaue Bahnbestimmung höchst wünschenswerte Beobachtungen des merkwürdigen Gestirns würden auffinden lassen, ist überraschend schnell zur Thatsache geworden. Dank den mit aufserordentlichen Hülfsmitteln und bewundernswerter Ausdauer unter der genialen Leitung E. C. Pickerings unternommenen, photographischen Arbeiten der Harvard-Sternwarte ist es Mrs. Fleming nach langem Suchen in den seit mehreren Jahren bereits aufgestapelten photographischen Himmelsarchiven gelungen, eine gröfsere Anzahl von Platten ausfindig zu machen, auf welchen sich das damals noch unentdeckte Objekt bereits unverlöschlich eingezeichnet hatte. Aus der Opposition 1893/94 gelang es auf diese Weise, nicht weniger als 12 Planetenörter, und aus der von 1896 deren vier festzulegen.

Chandler hat auf Grund dieser älteren Beobachtungen in Verbindung mit den vorjährigen das folgende schon sehr zuverlässige Elementensystem abgeleitet, das die vorläufigen Rechnungen Berberichs glänzend bestätigte:

Epoche		1898 Aug. 31,5	M. Greenw. Zt.
mittlere Anomalie:	=	221° 35′ 45,″6	
Abstand des Perihels vom Knoten:	=	177° 37′ 56,″0	1898,0
Länge des aufsteigenden Knotens:	=	303° 31′ 57,″1	1898,0
Länge des Perihels:	=	121° 9′ 53,″1	1898,0
Neigung der Bahn:	=	10° 50′ 11,″8	1898,0
Excentrizitätswinkel:	=	12° 52′ 9,″8	(e = 0,22 273)
mittlere tägliche Bewegung:	=	2015″,2326	
halbe grosse Asche	=	1,458101	

(Umlaufszeit = 643,10 Tage)

Die nebenstehende Figur stellt die diesen Elementen entsprechende relative Lage der Bahnen der Erde, des Mars, des bisher innersten Planetoiden (228) Agathe und des Eros dar. Bei der Betrachtung der von Chandler nach den angegebenen Elementen für 1893/94 berechneten Ephemeride zeigt sich, dafs infolge der aufserordentlichen Erdnähe (0,153 Erdbahnhalbmesser), in welcher sich der Planet bei dieser selten günstigen Opposition befand, seine Helligkeit die siebente Gröfse erreicht haben mufs und dafs seine Bewegung in Länge während der ganzen Opposition rechtläufig blieb, während jeder andere Planet bekanntlich um die Zeit seiner Opposition für eine gewisse Dauer rückläufig wird. Es erklärt sich diese ganz abnorme Erscheinung dadurch, dafs Eros damals sich im Perihel befand und seine Winkelgeschwindigkeit daher den Durchschnittswert ganz wesentlich übertraf, während die Winkelgeschwindigkeit der Erde wegen der geringen Excentrizität der Erdbahn nur innerhalb sehr enger Grenzen schwankt.



(A = Aphel, P = Perihel.)

Übrigens haben die lichtstarken Fernrohre der Gegenwart es gestattet, den bereits zur Zeit der Entdeckung ziemlich lichtschwachen Planeten trotz seiner allmählich immer gröfser werdenden Entfernung bis in das heurige Frühjahr hinein zu verfolgen, sodafs nach

Abschlufs der diesjährigen Beobachtungen bereits ein äufserst reiches Material für die noch ausstehende definitive Bahnberechnung mit Berücksichtigung der Störungen vorliegen wird.

Eine Opposition unter ähnlich günstigen Verhältnissen wie die von 1893/94 wird sich leider erst 1924 wiederholen, indessen sind auch die in den Jahren 1900 und 1917 zu erwartenden Erscheinungen leidlich günstig. Pickering erhofft übrigens nicht nur von den Positionsbestimmungen des Eros wichtige Förderung mancher, von uns bereits früher erwähnter Probleme, sondern glaubt, dafs auch die Astrophysik an der Ausbeute dieses merkwürdigen Himmelskörpers partizipieren wird, da z. B. bei den erheblichen Schwankungen der Helligkeit durch sorgfältige photometrische Untersuchungen das Gesetz der quadratischen Abnahme der Lichtstärke wird geprüft werden können, worauf sich dann eventuell Schlüsse in Bezug auf ein etwa im Weltraum vorhandenes, Licht absorbierendes Medium würden stützen lassen.

F. Kbr.

3. Geschichte.

Die ersten Beobachtungen über elektrische Entladungen unterzieht Ferdinand Rosenberger in den *Abh. z. Gesch. d. Math. 8. Heft, 89—112*; *1898* einer eingehenden geschichtlichen Untersuchung. Otto von Guericke widmete das 4. Buch seiner *Experimenta nova Magdeburgica* den 'virtutes mundanae', von denen er einige mittels einer zwei Fäuste grofsen Schwefelkugel in dem 15. Kapitel oculariter demonstrierte. Die mit seiner trockenen und harten Hand geriebene Kugel zog ein leichtes Flaumfederlein anfangs an, stiefs es aber bald wieder ab und zog es erst dann wieder an, wenn es mit einem anderen Körper in Berührung oder einer Flamme nahe gekommen war. Die Anziehungs- und die Abstofsungskraft konnte von der Kugel durch Leinenfäden über eine Elle weit fortgeleitet werden. Die nachts in einem dunklen Zimmer geriebene Kugel leuchtete wie Zucker, den man stöfst. Guericke gebrauchte das Wort Elektrizität in diesem 15. Kapitel überhaupt nicht; doch nannte er die Anziehung der Schwefelkugel, die er als fortpflanzungsfähig von der magnetischen bestimmt unterschied, in dem vorangehenden 8. Kapitel eine elektrische Erscheinung. Guericke war jedoch so vollständig in seinen Vorstellungen über die Weltkräfte befangen, dafs er den Zusammenhang obiger Erscheinungen nicht erfassen konnte. Rosenberger tritt mit Recht der Ansicht entgegen, dafs Guericke, der in seinem Brief an Leibniz vom 16. Juni 1671 ausdrücklich hervorhebt, dafs nicht eine, sondern etliche viventes virtutes in der Schwefelkugel verborgen seien, den Zusammenhang zwischen der Lichterscheinung und der elektrischen Anziehung klar erkannt habe.

Guericke hat nicht einmal, obgleich Rosenberger es zu beweisen versucht, die Abstofsung der Flaumfeder als eine elektrische Erscheinung erkannt; nach seinen gesamten Naturvorstellungen konnte er diese virtus expulsiva nicht mit der elektrischen Anziehung, einer virtus conservativa, zu einem Begriff zusammenfassen. Auf die Worte, mit denen Guericke am 13. Oktober 1671 die Übersendung einer Schwefelkugel an Leibniz begleitete: '*Wen man nicht rächt weifs, wie sie [die Kugel] zu atteriren und zu perstringiren, so nehme man sie bei abends ins finstere vor, da wird man sehen, uf welche art sie am besten schein von sich gibt, also will sie auch tractirt sein*' kann man nicht, wie Rosenberger thut, die Vermutung stützen, dafs Guericke eine dunkle Ahnung von der Zusammengehörigkeit der Lichterscheinungen mit den elektrischen gehabt habe; es ergiebt sich daraus nur, dafs Guericke die Güte der Schwefelkugel und die Zweckmäfsigkeit der Handhabung nach der Stärke des Glimmlichtes abschätzte. Der Brief Guerickes an Leibniz vom 1. März 1672 beginnt mit den Worten: '*Desselben gar angenehmes vom 31. Januarii hat mich die uberkunft der schwäfelkugel verständiget, und dafs sie wegen anderer geschöfte noch nicht rächt probiret werden können; doch hette er die wärme und funken gar wohl gespüret etc. Nun weifs [ich] nicht, ob etwa ein mifsverstand hierbei, weil mir von wärme bei der kugel nichts bewust*[1]), *die funken aber müssen etwa von dem leüchten zu verstehen sein.*

[1]) *Phil. Schriften* v. G. W. Leibniz, hrsg. v. C. J. Gerhardt, *I, 107 Nr. 6* und Rosenberger: *beweist.*

Wan man sie mit trucken henden bei der nacht oder im finstern gemach bestreichet, so gibt sie wie der zucker leüchtung von sich.' Rosenberger glaubt aus dieser Stelle schliefsen zu dürfen, dafs Guericke nie einen elektrischen Funken gesehen habe, und bedauert den Verlust des hier angezogenen Briefes von Leibniz, der nach seiner Meinung beweisen müfste, dafs dieser der erste gewesen sei, der einen elektrischen Funken beobachtet habe. Bedenkt man jedoch, dafs Guericke, der ein hervorragender Experimentator und Beobachter war, oft und sorgfältig die Lichterscheinungen an geriebenen Schwefelkugeln untersucht hatte, und beachtet man, dafs Leibniz wegen anderer Geschäfte die Kugel noch nicht recht probiert hatte, so erscheint es wenig wahrscheinlich, dafs letzterer eine Erscheinung bemerkt habe, die ersterem entgangen wäre. Es dürfte hier weniger eine neue Beobachtung als die Einführung eines neuen Wortes zur Bezeichnung der 'leüchtung' vorliegen. Guericke hat zwar an der Schwefelkugel die elektrische Abstofsung, die Fortpflanzung der Elektrizität in Leinenfäden und das elektrische Glimmlicht entdeckt und klar beschrieben, er hat aber das Wesen der beobachteten Erscheinungen nicht erkannt.

Den Zusammenhang der Lichterscheinungen mit dem Auftreten elektrischer Anziehungserscheinungen hat, wie Rosenberger darlegt, erst Francis Hawksbee durch bahnbrechende einfache Versuche nachgewiesen, die er von 1704 an in den *Transactions der Royal Society* und 1709 in seinem zusammenfassenden Werke *Physico-mechanical experiments on various subjects touching light and electricity* beschrieb; doch fiel es selbst diesem Forscher noch schwer, die beobachtete Gleichzeitigkeit für einen wesentlichen und nicht blofs für einen zufälligen Umstand zu halten. In der 2. Hälfte des 17. Jahrhunderts hatte man bei der Untersuchung der Phosphorescenzerscheinungen das matte Leuchten des Quecksilbers in der Torricellischen Leere eines sanft geschüttelten Barometers entdeckt und es den mercurialen Phosphor genannt. Doch bemühte man sich lange vergeblich, sichere Vorschriften für dessen Erzeugung zu finden. Hawksbee brachte auf dem grofsen Recipienten einer Luftpumpe ein kleines Gefäfs an, das mit etwa anderthalb Pfund Quecksilber etwas über die Hälfte gefüllt wurde und mit dem Recipienten durch eine enge Öffnung im Boden in Verbindung stand, die durch einen an einem langen Stiel sitzenden Holzpfropfen verschlossen werden konnte. Unter dem Recipienten war eine kleine Glasglocke so aufgestellt, dafs das aus dem oberen Gefäfse ausfliefsende Quecksilber darauf fiel und an den Wänden herabflofs. Wurde der Recipient hinreichend ausgepumpt und dann der Pfropfen etwas gelüftet, so leuchtete das an der Glasglocke herabfliefsende Quecksilber mit mattem sich gleichmäfsig ausbreitenden purpurnen Lichte; sobald eine gewisse Menge Luft in den Recipienten eingeströmt war, zeigte sich ein anderes weifsliches Licht, das blitzstrahlenartig von den fallenden Quecksilbertropfen nach allen Seiten hin und besonders nach der Recipientenwand hinübersprang.

Hawksbee erkannte bald, dafs das Leuchten bei diesem Versuche durch den Grad der Verdünnung bedingt wurde, und glaubte die Reibung des Quecksilbers an den Wänden als Ursache der Erscheinungen ansehen zu dürfen. Zur Prüfung dieser Annahme schüttelte er Quecksilber in gläsernen Hohlkugeln, die er nach Belieben luftleer machen oder mit Luft füllen konnte. War die Kugel nahezu luftleer, so erschien das Licht zusammenhängend und purpurn gefärbt, schüttelte er aber die Kugel lufterfüllt, so zeigten sich nur Lichtfunken, weifslich leuchtend wie die Sterne der Milchstrafse. Hiermit hatte Hawksbee sichere Vorschriften für die Erzeugung des mercurialen Phosphors gewonnen. Er ging nun daran, dessen Eigenschaften genauer zu untersuchen. Er vermutete, dafs das Quecksilber zur Erzeugung der beiden Lichter nicht wesentlich wäre und nur das Reiben des Glases mit geeigneten Stoffen in luftverdünnten oder lufterfüllten Räumen hierfür notwendig sei. Er stellte zur Prüfung dieser Vermutung besondere Vorrichtungen her, mit denen er Glas oder Bernstein mit Wolle, oder Glas mit Austernschalen u. s. w. in der Luft oder der Luftleere reiben konnte. Auch hierbei entstanden die beiden Lichter, das zarte purpurgefärbte Glimmlicht oder das weifsliche lebhafte Blitzlicht, je nachdem diese Gegenstände im luftverdünnten oder lufterfüllten Raume sich aneinander rieben. Zur weiteren Untersuchung baute Hawksbee eine (in dieser Zeitschr. *XI 293* beschriebene) Maschine, die gestattete, eine hohle Glaskugel von 9″ Durchmesser rasch zu drehen und zugleich durch die hohle Achse luftleer zu machen oder mit Luft zu füllen. Berührte er die luftleere Glaskugel während der Drehung mit der trockenen Hand, so zeigte sich in der Dunkelheit ein so helles Glimmlicht, dafs man bei seinem Scheine in einiger Entfernung von der Kugel noch lesen konnte. Liefs er Luft hinein, so entstand das Blitzlicht. Näherte er nun von aufsen der Kugel einen Finger, so fuhren in der Kugel Lichtblitze nach ihm hin. Näherte er der Kugel den Finger bis auf einen Zoll Entfernung, so fuhr ein Blitz aus der Kugel gegen den Finger hin. Hawksbee erwähnt bei der Beschreibung der bis jetzt erwähnten Versuche die Elektrizität nicht, es wurde dem besonnenen und vorsichtigen Forscher offenbar schwer, eine Verbindung zwischen zwei so fremden Gebieten anzunehmen.

Während er bisher die Vorgänge im Innern der geriebenen Körper beobachtet hatte, untersuchte er nun die Vorgänge aufserhalb derselben und gelangte so zu einer gewissen Erkenntnis des Übergangs der Elektrizität oder der Entladungserscheinungen zwischen verschiedenen Körpern, doch hinderte ihn die Aufmerksamkeit, die er den Lichterscheinungen im luftverdünnten Raume schenkte, an einer fruchtbaren Verfolgung der gewonnenen Einsichten. Hawksbee stellte jetzt elektrische Versuche in der gewöhnlichen Form an; er rieb eine Glasröhre von 30″ Länge und etwa 1″ Durchmesser mit der recht trockenen Hand, bis sie ziemlich warm wurde. Bei der Anstellung der Versuche im Dunkeln beobachtete er, dafs der reibenden Hand ein helles Licht in der Röhre stetig folgte. Hielt er die andere Hand von aufsen an die geriebene Röhre, so brach das Licht nach der Hand hin frei aus der Röhre heraus, und er hörte ein knisterndes Geräusch, ähnlich dem eines grünen Blattes im Feuer, nur nicht so laut. Machte er die Röhre luftleer, so entstand beim Reiben der mercurialische Phosphor, dessen Licht jedoch nicht die Fähigkeit hatte, auf einen Körper aufserhalb der Röhre überzuspringen. Stärkere Lichtfunken erhielt er mit seiner lufterfüllten Glaskugel.

Fast gleichzeitig mit Hawksbee veröffentlichte ein anderes Mitglied der Royal Society, Dr. Wall, angeregt durch die Beobachtungen Robert Boyles, der elektrisches Glimmlicht an einem im Dunkeln geriebenen Diamanten bemerkt hatte, in den *Transactions* einen Brief über Funken, die er durch Reiben eines Bernsteinstückes mit Wolle erzeugt hatte. Wall, viel kühner als der besonnene Hawksbee, war auch ohne die erforderlichen Beweise durch Versuche überzeugt, dafs die meisten durch Reiben elektrisierbaren Körper auch Lichterscheinungen zeigen müfsten, weil nach seiner Meinung nur der in allen Körpern enthaltene Licht- oder Feuerstoff die Ursache der elektrischen Wirkungen sein könne. Hawksbee hingegen wagte es nicht, die Wesenseinheit der elektrischen Licht- und Anziehungserscheinungen sicher zu behaupten, sondern bemühte sich, den zeitlichen Zusammenhang beider Erscheinungen festzustellen. Für seine Lichtmaschine, die sich drehende Glaskugel, wies er die elektrische Natur der auftretenden Erscheinungen dadurch nach, dafs er über und neben der Glaskugel und auch in ihrem Innern an Metalldrähten frei herabhängende Baumwollfäden anbrachte, die bei der Berührung der Kugel mit der trockenen Hand nach der Glasfläche auch der Schwere entgegen hingezogen wurden.

Am Schlusse seiner Untersuchungen machte Hawksbee noch eine wunderbare Entdeckung, die lebhaft an die Versuche mit Röntgenstrahlen erinnert. Sah er in die im Innern zu beiden Seiten des Äquators mit Siegellack überzogene und von aufsen mit der Hand geriebene Glaskugel hinein, so bemerkte er auf der inneren Seite des Siegellacks die Umrisse seiner Hand. Liefs er ein wenig Luft in die Kugel hinein, so verschwand die Erscheinung und der Siegellack wurde wieder undurchsichtig. Vgl. diese Zeitschr. *XI 36.* Hawksbee erklärte die Erscheinung so: Elektrizität und Licht seien körperliche Ausflüsse aus den elektrischen oder leuchtenden Körpern. Glas und Siegellack seien ähnliche elektrische Körper, hätten also auch gleiche körperliche Ausflüsse und es vermöge der eine die Ausflüsse des anderen aufzunehmen und wieder auszusenden. Der undurchsichtige Siegellack verhalte sich den Ausflüssen des elektrisch ähnlichen, aber durchsichtigen Glases gegenüber ganz wie dieses und werde für die Strahlen, die durch das letztere hindurchgegangen, in gewissem Grade durchsichtig.

Hawksbees schöne Entdeckungen, die sich nur schwer in den Rahmen der seither gewonnenen physikalischen Erkenntnisse einordnen liefsen und daher nicht als vollberechtigt anerkannt wurden, fanden bei den Physikern, die mit dem Ausbau der Newtonschen mathematischen Physik beschäftigt waren und mit den neuen, sie nur störenden elektrischen Erscheinungen nichts anzufangen wufsten, nicht die gebührende Beachtung. Auch waren Hawksbees Versuche zu mühsam und kostspielig und die nur im Dunkeln zu beobachtenden Lichterscheinungen zu zart, um zu ähnlichen Untersuchungen anzureizen. Aufserdem stellte Hawksbee die theoretische Bedeutung seiner Entdeckungen nicht klar, er vermied jeden kühnen Schlufs aus seinen Erfahrungen und war bemüht, die neuen Erscheinungen in der hergebrachten Weise zu erklären. Die elektrischen Kräfte geriebener Körper waren ihm Ausflüsse feiner Stoffe aus den Körpern, die durch das Reiben herausgetrieben in krummen Linien bald wieder in die Körper zurückkehrten, so dafs die durch das Reiben erregten Eigenschaften nach kurzer Zeit wieder verschwanden und eine Mitteilung und Bewegung der Elektrizität, eine Ladung und Entladung und die Ansammlung von Elektrizität nicht möglich erschien. Um den elektrisierten Körper bildeten sich Wirbelbewegungen, die nahe Körper in ihren Wirkungskreis hineinzogen. Die Lichterscheinungen entstanden dadurch, dafs die elektrischen Ausflüsse den Lichtstoff mit sich rissen und dadurch äufserlich sichtbar machten. Hawksbee unterschied bis zuletzt sorgfältig zwischen den elektrischen Kräften und den sie begleitenden Lichterscheinungen.

Der weitere Fortschritt knüpft an die von Hawksbee entdeckten, aber nicht recht gewürdigten Funkenentladungen an. Stephen Gray hatte schon 1720 bei elektrischen Versuchen mit Glasröhren und Flaumfedern, die an dünnen Stäben befestigt waren, oft bemerkt, dafs die Strahlen der Federn, die erst angezogen und dann abgestofsen wurden, sich nun zu dem Stabe hinbogen, als ob dem Stabe oder der Feder Elektrizität mitgeteilt worden wäre. Elf Jahre später versuchte er, ob er nicht den Körpern ebenso wie Licht auch Elektrizität mit der geriebenen Glasröhre mitteilen könne. Er benutzte dabei eine 3′ 5″ lange etwa 1$^1/_5$′ dicke Glasröhre, die er an beiden Enden zur Abhaltung des Staubes zukorkte. Als er den Einflufs dieses Verschlusses auf die elektrische Erregung der Röhre untersuchte, fand er, dafs ein solcher nicht vorhanden sei, dagegen bemerkte er, dafs nicht nur die Röhre, sondern auch die Korke die Probefedern anzogen, dafs also den Korken Elektrizität mitgeteilt worden sein mufste. Nun steckte er in den einen Kork der Reihe nach Stäbchen von 4′, 8′ und 20′ Länge, an die er mit dünnen Baumwollfäden eine Elfenbeinkugel hängte, dann ersetzte er die Stäbchen durch Drähte aus verschiedenen Metallen; stets fand er, dafs auch die Elfenbeinkugel die Fähigkeit des Anziehens und Abstofsens bei dem Reiben der Röhre erlangte. Damit hielt er die Fortpflanzungsfähigkeit der Elektrizität in Körpern für erwiesen und untersuchte nun die verschiedenen Stoffe auf ihre Fähigkeit, die Elektrizität fortzuleiten. Er erfand das Verfahren, einen leitenden Körper an nichtleitenden Schnüren aufzuhängen, und wies nach, dafs der tierische und menschliche Körper leitend sei, und dafs man Elektrizität in ihnen ansammeln könne. Die Thatsache, dafs auch der menschliche Körper die Elektrizität aufnehmen könne, erregte allgemeines Aufsehen, jetzt erst erlangte die Elektrizität die Anerkennung als würdiger Gegenstand wissenschaftlicher Forschung. Der Aufseher der königlichen Gärten zu Paris, Charles du Fay, machte die Versuche nach und liefs sich selbst an isolierenden Schnüren aufhängen und elektrisieren. Als dabei sein Gehülfe ein Goldblatt, das sich an du Fays Fufs angehangen hatte, wegnehmen wollte, hörte er in dem Augenblicke, wo er dessen Fufs mit der Hand nahe kam, ein Knistern, zugleich spürte er im Finger und du Fay an seinem Fufse einen schwachen stechenden Schmerz. Bei der Wiederholung des Versuches im Dunkeln fand du Fay, dafs dem knisternden Geräusche ein Lichtblitz, also ein Übergang von Lichtstoff aus dem elektrischen in den unelektrischen Körper, entsprach. Er wurde so zu dem Begriff der elektrischen Entladung geführt, doch glaubte er, dafs man die Funken nur aus lebendigen Körpern ziehen könne, und dafs tote organische Körper nur ein mattes Glimmlicht beim Elektrisieren zeigen würden.

Hatte man bisher nur Nichtleiter durch Reiben elektrisch gemacht, so zeigte nun Gray (1735) durch Versuche mit Leitern, dafs mit dem Herausbrechen von Licht aus elektrischen Körpern auch immer deren Elektrizität ganz oder zum Teil verschwindet. Er hing einen Knaben an Seidenschnüren auf und elektrisierte ihn mit dem geriebenen Glasstabe. An die eine Seite des Knaben stellte er einen Herrn mit einem Fadenpendel in der Hand. Dieser diente also als Elektroskop, mit dem er den elektrischen Zustand des Knaben untersuchte. An die andere Seite des Knaben stellte er einen anderen Herrn auf eine Harzplatte. Dieser diente als zweiter Conduktor. Näherte der Knabe dem zweiten Herrn seine Hand so weit, dafs ein Funke übersprang, so liefs sich mit dem Fadenpendel eine Verminderung der Elektrizität des Knaben und eine Elektrisierung des zweiten Herrn nachweisen. Nach mehrmaligem Überschlagen der Funken war alle Elektrizität von dem Knaben auf den isolierten Herrn übergegangen. Dem neuen Begriffe der elektrischen Entladung konnte man ohne zu grofse Umwälzung der alten Vorstellungen theoretisch gerecht werden. Unter dem Einflufs der Newtonschen Schule hatte sich die Meinung ausgebildet, dafs alle physikalischen Kräfte an besondere Stoffe gebunden seien, die allgemeine Anziehung an die schweren Stoffe, die Leuchtkraft an den Lichtstoff u. s. w. Diese Ansicht liefs sich auf die elektrischen Erscheinungen übertragen, wenn man die wirbelnden Ausflüsse aus den elektrischen Körpern nicht mehr wie seither in diese zurückkehren, sondern von ihnen frei auf andere unelektrische Körper übergehen liefs. Den elektrischen Stoff durfte man freilich nicht mehr als an einzelne Körper gebunden ansehen, sondern mufste ihn als einen neuen selbständigen physikalischen Stoff wie Licht und Wärme anerkennen. Nach der vollkommneren Ausbildung der Elektrisiermaschine und der Erfindung der Verstärkungsflasche konnte man immer stärkere Entladungserscheinungen hervorrufen, und bald zweifelte niemand mehr an dem Vorhandensein des neuen schwerelosen Stoffes, der Elektrizität. Die Thatsache, dafs durch Reiben manche Körper vorzugsweise elektrisch, andere vorwiegend erwärmt wurden, führte man auf die verschiedene Beschaffenheit der geriebenen Stoffe und die Art des Reibens zurück, und Prof. Matthias Bose kam sogar bereits zu der Vorstellung, dafs Wärme und Elektrizität immer gleichzeitig entständen, und dafs ihre Mengen immer im umgekehrten Verhältnisse ständen. Vgl. jetzt auch F. Rosenberger, *Die moderne Entwicklung der elektrischen Prinzipien 7 ff., 1898.* *H. H.-M.*

---

4. Unterricht und Methode.

Newtons Prinzipien der Mechanik. Über Newtons „Philosophiae naturalis principia mathematica“ und ihre Bedeutung für die Gegenwart hat P. Volkmann 1898 in der physik.-ökon. Gesellschaft zu Königsberg i. Pr. zwei Vorträge gehalten, die in den Berichten dieser Gesellschaft veröffentlicht sind. Da es sich darin wesentlich um die wissenschaftliche Begründung der Elemente der Mechanik handelt, so haben diese Vorträge auch für den physikalischen Unterricht ein unmittelbares Interesse. Der Verfasser ist der Ansicht, dafs Newtons Prinzipien auch heute noch die beste Einführung in die Mechanik darbieten, ja dafs die gegenwärtig wachsenden erkenntnistheoretischen Interessen dem Werke noch eine ansteigende Würdigung zu teil werden lassen könnten. Er stellt die Elemente der Newtonschen Mechanik mit denen Euklids auf gleiche Stufe, wie denn in der That Euklids Elemente Newton als Muster vorgeschwebt haben. „Es handelt sich in beiden um eine Reihe von Definitionen und Postulaten — erkenntnistheoretische Elemente, durch welche im wesentlichen die Sprache geschaffen wird, welche für die Behandlung angemessen erscheint.“ Die innere Verwandtschaft der Elemente auf beiden Gebieten läfst sich durch den Vergleich des Parallelenaxioms mit dem Trägheitssatz zutreffend erläutern: in beiden wird die sinnliche Wahrnehmung zu einer Thatsache von unbegrenzter Genauigkeit erhoben.

Man verkennt den Charakter der Newtonschen Prinzipien, wenn man ihre Bedeutung in deduktiver Richtung sucht; vielmehr ist „keine neuere Mechanik so von dem Argument der Induktion durchtränkt“; auch Mach hat bekanntlich auf die wiederholte ausdrückliche Versicherung Newtons hingewiesen, dafs es ihm um Untersuchung und Constatierung des Thatsächlichen zu thun sei. Von diesem Gesichtspunkte unterzieht Volkmann zunächst die von Newton an den Anfang seines Systems gestellten Definitionen einer näheren Betrachtung; er sieht in diesen, ebenso wie Dühring, nur eine Art von Präliminarien oder Prolegomenen, die zur vorläufigen Orientierung über die Grundbegriffe dienen sollen. Es seien im grofsen und ganzen einfache Nominaldefinitionen, keine Realdefinitionen. „Durch die Zweckmäfsigkeit ihrer Wahl bereiten sie die präcise Behandlung der Materie in geschickter Weise vor, der Folge es überlassend, in die zunächst leeren Formen einen realen und präcisen Inhalt zu giefsen.“ Die Definition I (*Quantitas materiae est mensura ejusdem orta ex illius densitate et magnitudine conjunctim*) sieht wie eine Zirkeldefinition aus, da Dichtigkeit selbst nur die Masse der Volumeinheit bedeutet. Einem solchen Vorwurf gegenüber macht Volkmann geltend, die Absicht Newtons scheine nur die zu sein, festzulegen, in welchem Sinne das Wort Masse zunächst gebraucht werden soll; durch die weiteren Bemerkungen, dafs man die Masse eines Körpers durch Wägung bestimme und dafs die Masse eines Körpers dem Gewicht proportional sei, weise Newton von vornherein auf die spätere experimentelle Stützung dieses Grundbegriffes hin. Dementsprechend würde als das Wesentliche an jener Definition der Hinweis anzusehen sein, dafs die Masse eines Körpers etwas ist, was bei jeder Änderung seiner Dichte und seines Volumens unverändert bleibt, oder dafs das Produkt beider eine Constante ist. Die Beispiele Newtons beziehen sich nur auf verschiedene Dichtigkeitszustände eines und desselben Körpers; die Ausdehnung der Definition auf verschiedenartige Körper wird von Volkmann auf eine ideelle Vergleichung ihrer Dichten zurückgeführt. [Newton selbst dürfte jedoch an eine solche von hypothetischen Vorstellungen nicht freizuhaltende Erweiterung nicht gedacht haben, ihm genügte für seinen Zweck, dafs er „durch sehr genau angestellte Pendelversuche“ die Proportionalität der Masse mit dem Gewicht gefunden hatte. Der an die Spitze gestellten Definition kommt daher auch innerhalb der Erörterung des Massenbegriffs wohl nur die Rolle einer einleitenden Veranschaulichung zu.]

Die Definition II (*Quantitas motus est mensura ejusdem orta ex velocitate et quantitate materiae conjunctim*) ist ebenfalls eine Nominaldefinition. [Sie schliefst aber den wichtigen Hinweis ein, dafs bei der Bewegung eines Körpers etwas constant bleibt, wenn sich die bewegte Masse und die Geschwindigkeit in umgekehrtem Verhältnis ändern, womit gewisse induktive Ergebnisse der Untersuchung des Stofses stillschweigend vorausgenommen sind.] Die Definitionen III und IV handeln von der *„materiae vis insita“* und der *materiae vis impressa.* [Dies sind offenbar Festsetzungen Newtons, in welchem Sinn er die beiden von der älteren Physik überkommenen Begriffe noch gelten lassen, bezw. weiter brauchen wolle. Die viel benutzte Übersetzung von Wolfers giebt von allen diesen Definitionen ein ganz falsches Bild und läfst insbesondere Definition III als blofse Vorwegnahme des Trägheitsgesetzes erscheinen. Man vergleiche dagegen den Originaltext: *Materiae vis insita est potentia resistendi, qua corpus unumquodque, quantum in se est, perseverat in statu suo vel quiescendi vel movendi uniformiter in directum;* auf deutsch: Unter einer der Materie innewohnenden Kraft verstehe ich die Widerstandsfähigkeit, vermöge deren jedweder Körper, soviel an ihm ist, im Zustande der Ruhe oder der gleichförmig gradlinigen Bewegung verharrt. Ähnlich ist es mit IV: *Vis impressa est actio in corpus exercita, ad mutandum ejus statum vel quiescendi, vel movendi uniformiter in directum,* d. h. Unter einer der Materie aufgezwungenen Kraft verstehe ich eine auf einen Körper ausgeübte Einwirkung, die darauf gerichtet ist, seinen Zustand der Ruhe oder der gleichförmig gradlinigen Bewegung zu ändern.] Von beiden Definitionen sagt Volkmann, dafs sie mehr dazu dienen, die Vorstellung und Anschauung in einer gewissen Richtung für die „Axiomata sive leges motus“ vorzubereiten, als die Begriffe endgültig zu präcisieren. Mit dem Gesagten stimmt auch gut zusammen, dafs von dem Begriffe der *vis insita* in der Folge überhaupt kein Gebrauch gemacht ist; er wird eben durch das Trägheitsgesetz völlig überflüssig.

Aus allem Gesagten erkennt man, dafs diese Definitionen nicht eigentlich als Definitionen von der Art der Euklidischen gelten wollen, sondern echt induktiv nur die vorläufige Verständigung mit dem Leser über gewisse der Physik eigentümliche Begriffe zum Zwecke haben. Nicht zu übersehen ist allerdings, dafs IV die Grundlage für den Kraftbegriff im neueren Sinne enthält. Die noch übrigen Definitionen V bis VIII betreffen die Centripetalkraft und sind nur Spezialfälle der in IV vorbereiteten Kraftdefinition.

Die den Definitionen folgenden Betrachtungen Newtons über Zeit und Raum sind in neuerer Zeit mehrfach Gegenstand der Diskussion gewesen (vgl. d. Zeitschr. *X 256*, *XII 40*). Volkmann vertritt hinsichtlich der Annahme eines absoluten Raumes den Newtonschen Standpunkt, ebenso auch in der Unterscheidung von absoluter und relativer Drehung. Die Newtonsche Forschung selbst habe dagegen entschieden, dafs der Fixsternhimmel als sich im Kreise drehend angesehen werden könne, eine solche Drehung würde ein überaus künstliches System von Kräften im Sinne Newtons voraussetzen.

Aus der Interpretation der drei berühmten „Axiomata sive leges motus“ heben wir nur Folgendes heraus. Gesetz I und II (Trägheitssatz und Zusammenhang zwischen Kraft und Bewegungsänderung) beziehen sich auf theoretisch sehr einfache Vorgänge, die sich streng genommen praktisch garnicht realisieren lassen, Gesetz III (Wirkung und Gegenwirkung) bezieht sich auf theoretisch complizierte Vorgänge, die praktisch ihre beständige Realisierung finden. Erstere sind wesentlich Elementarprinzipe (auf infinitesimale Verhältnisse anwendbar), letzteres ein Integralprinzip (auf endliche Verhältnisse anwendbar), alle drei aber sind, obwohl aus der Erfahrung hergeleitet, doch Postulate, insofern sie aller ferneren Erfahrung mit dem Anspruch auf Allgemeingültigkeit zu Grunde gelegt werden.

Als ein Vorzug der Newtonschen Mechanik ist es anzusehen, dafs speziellere physikalische Annahmen, wie besonders die Vorstellung von den Fernkräften und die Atomistik daraus völlig ferngehalten sind. Entgegen neueren Wendungen in der Behandlung der Mechanik vertritt Volkmann den Standpunkt, dafs dies auch ferner der Fall sein müsse. Auch an anderer Stelle (*Wied. Ann. Bd. 66, 781*) hat er dagegen Einspruch erhoben, dafs man mit Helmholtz die Centralkräfte zur Begründung des Axioms III heranziehe; dies Axiom gehöre auch nicht in die Dynamik eines materiellen Punktes, sondern in die Dynamik eines Massensystems. Wir sind der Ansicht, dafs man das letztere zugeben kann, ohne doch auf die Erläuterung des Axioms III durch die bei der Gravitation auftretende Gleichheit von Aktion und Reaktion zu verzichten, da ja diese Gleichheit abgesehen von aller Hypothese über die Fernkräfte als eine Erfahrungsthatsache angesehen werden mufs. Andrerseits würde sicher der Newtonschen Mechanik ihre Geschlossenheit und Thatsächlichkeit genommen werden, wenn man in ihre Grundlagen auch Festsetzungen über Centralkräfte zwischen materiellen Punkten oder über die atomistische Constitution der Materie aufnehmen wollte. Durch solche Einfügungen würde die Mechanik schon in der Grundlegung die Schranken sinnlicher Wahrnehmung übersteigen, während die Newtonsche Mechanik zwar mit ihren Postulaten auch gewisse Schranken überschreitet, indem sie sich zur unbegrenzten Genauigkeit der Anschauung erhebt, aber selbst hierbei doch nicht für jene physikalischen Hypothesen auf ein sinnlich heterogenes Gebiet übergreift.

In gewisser Hinsicht hält der Verfasser auch das Newtonsche System noch einer wesentlich redaktionellen Verbesserung für fähig. In erster Reihe würde eine Voranstellung der „Regulae philosophandi“, die jetzt das 3. Buch eröffnen, den induktiven Charakter des Werkes deutlicher hervortreten lassen. Diese Regeln enthalten eine kurzgefafste Methodenlehre und grade hier sind präcisere Fassungen möglich, als sie Newton darbietet. Der Verfasser hebt besonders das auch anderwärts schon von ihm betonte Prinzip der Isolation und Superposition hervor (das übrigens schon bei Dühring in seiner Logik und Wissenschaftstheorie sich als Gegensatz von unzerlegbaren Thatsachen und gedanklicher Zusammensetzung dargelegt findet). Von diesem Gesichtspunkte würde die Trägheit als ein Isolationsprinzip für alle Fragen aufzufassen sein, die sich auf Weg, Geschwindigkeit und Beschleunigung einer Masse in jedem Augenblick beziehen; die „actio“ (Masse mal Beschleunigung) als ein weiteres Isolationselement für denselben Zweck. Als ein Gesetz, das neben die drei Leges Newtons zu stellen wäre, käme das Prinzip der Energie in Betracht, das nach Inhalt und Form ganz in den Rahmen der Newtonschen Physik hineinpafst und als Integralgesetz neben Axiom III den richtigen Platz fände.

Zu den vorstehenden Ausführungen vergleiche man die in mehreren Punkten abweichende Darstellung Machs in dem Werke „Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch kritisch dargestellt“, wo die Newtonschen Elemente einer ausführlichen Analyse und Kritik (III. Aufl. S. 180—269) unterzogen sind.

Im Anschlusse an das Vorstehende sei auf einen Aufsatz von P. Volkmann „Über die Frage nach dem Verhältnis von Denken und Sein und ihre Beantwortung durch die von der Naturwissenschaft nahegelegte Erkenntnistheorie“, aufmerksam gemacht, der in den Sitz.-Ber. der Wien. Ak. (Math.-Naturw. Klasse, Bd. 106, Abt. II a, Dez. 1897) erschienen ist. Entgegen der Auffassung, dafs Notwendigkeit nur auf logischem Gebiet vorhanden sei, auf dem Gebiet des Naturgeschehens aber nicht existiere, entwickelt der Verfasser die Ansicht, im äufsern Geschehn dränge sich schon dem kleinsten Erfahrungskreise Notwendiges und Gesetzmäfsiges auf, und diese Notwendigkeit des Naturgeschehens sei die Quelle für die Notwendigkeit des Denkens. Die Möglichkeit eines solchen Zusammenhangs wird durch die von Mach näher untersuchte Thatsache der psychischen Anpassung begründet; die natürlichen Bedingungen der Existenz des Menschen mit ihrer Notwendigkeit des Geschehens waren das zuerst Vorhandene, was auf die Fähigkeiten des Menschen bestimmend und gestaltend einwirkte. Andererseits wird der Ursprung des Causalbegriffs in das Handeln der menschlichen Freiheit nach Gründen und Zwecken, also in das subjektive Gebiet verlegt.

P.

---

5. *Technik und mechanische Praxis.*

Über Nickelstahl hat Herr Dr. Guillaume eine ausführliche Untersuchung in dem *Bulletin de la soc. d'encouragement p. l'ind. nat. XCVII, 260; 1898* (*Deutsche Mechaniker-Zeitung 1898, S. 121, 129 und 137*) veröffentlicht. Vor etwa 10 Jahren erregte das eigenartige magnetische Verhalten der Eisen-Nickel-Legierung die Aufmerksamkeit der Physiker. Es zeigte sich, dafs einige Legierungen völlig unmagnetisch sind. Kühlt man sie ab und bearbeitet man sie mechanisch, so werden sie magnetisch, wobei sie sich ausdehnen und härter werden; erhitzt man sie dann bis zur Rotglut, so erhalten sie wieder ihre früheren Eigenschaften. Später führten Arbeiten des Internationalen Bureaus für Mafs und Gewicht zur Entdeckung der unregelmäfsigen Ausdehnung des Nickelstahls und gaben so den Anstofs zu einer eingehenden Untersuchung der Legierungen von Eisen und Nickel. Da reines Nickel und reines Eisen spröde und technisch nicht verwertbare Stoffe liefern, machte man die Untersuchungen an Legierungen, die etwa 1 % Kohlenstoff, Silicium oder Mangan enthielten. Übersteigt der Nickelgehalt nicht 50%, so sind diese Legierungen schmied- und ziehbar. Sie sind dann sehr homogen, nehmen eine gute Politur an und gestatten das Aufbringen sehr scharfer Striche. Gegen kaltes und laues Wasser sind sie unempfindlich, warmes Wasser und Dampf wirken nur sehr langsam darauf ein. Ist aber eine Stelle einmal angefressen, so schreitet die Rostbildung von ihr aus leicht weiter. Die von Guillaume untersuchten Stäbe stellte die Société de Commentry-Fourchambault auf dem Stahlwerke zu Imphy her und lieferte sie dem Internationalen Bureau unentgeltlich. (In Deutschland verfertigt Friedr. Krupp zu Essen Nickelstahl.) In magnetischer Beziehung lassen sich scharf zwei Gruppen von Nickelstahl unterscheiden: die eine umfafst die Legierungen von einem Nickelgehalte bis zu etwa 25%, die andere die von höherem Gehalte. Bei der ersten Gruppe sind die magnetischen Eigenschaften bei demselben Wärmezustande verschieden, je nachdem der Nickelstahl durch Erwärmen oder Abkühlen auf diesen Wärmezustand gebracht worden ist. Guillaume nennt diese Legierungen irreversibel. Der Magnetismus verschwindet bei ihnen beim Erhitzen und zwar zwischen beginnender und Kirsch-Rotglut; bei dem darauf folgenden Abkühlen stellt er sich erst bei einem niedrigeren und zwar bei um so tieferem Wärmezustand ein, je stärker der Nickelgehalt ist, z. B. erst unter 0° bei einer 24%igen Legierung. Bei den Legierungen von mehr als 25% Nickel ist die Magnetisierbarkeit im wesentlichen von dem Wärmezustand selbst abhängig. Guillaume nennt diese Legierungen reversibel. Ein Zusatz von Chrom zu irreversibelen Nickelstahlen setzt die Temperatur der magnetischen Veränderung herab: ein Stahl von 22% Nickel und 3% Chrom blieb sogar unmagnetisch, als er durch Eintauchen in flüssige Luft auf — 182° abgekühlt wurde. Auch in Bezug auf die Ausdehnung durch die Wärme scheiden sich die irreversibeln Nickelstähle scharf von den reversibeln. Von den ersteren hat Guillaume die Legierung von 15% Nickel genau untersucht. Wurde der Stab von etwa 250° an abgekühlt, so zog er sich zunächst zusammen, bei 130° begann er sich wieder auszudehnen, wie Fig. 1 zeigt, in der die Stablängen als Ordinaten und die zugehörigen Wärmezustände als Abscissen gezeichnet sind. Wenn der Stab bis D gelangt war, ging er beim Wiedererhitzen aber nicht entlang der Kurve DBA zurück, sondern dehnte sich entlang der Linie DC aus; kühlte man wieder ab, so zog sich der Stab wieder längs CD zusammen, bei D verlängerte er sich wieder entlang der Kurve etc. Bei den Legierungen von 15% und 24% Nickel ging der Stab beim Abkühlen nach dem Auftreffen auf die Kurve über diese hinaus entlang der Geraden, die er seither verfolgt hatte, und sprang dann nach weiterer Abkühlung um etwa 15° unter plötzlicher Verlängerung in die Kurve zurück; diese Erscheinung erinnert an die Überhitzung und Unterkühlung der Flüssigkeiten. Für die reversibelen Legierungen fand Guillaume bei Wärmezuständen zwischen 0° und 38° folgende Ausdehnungscoëffizienten:

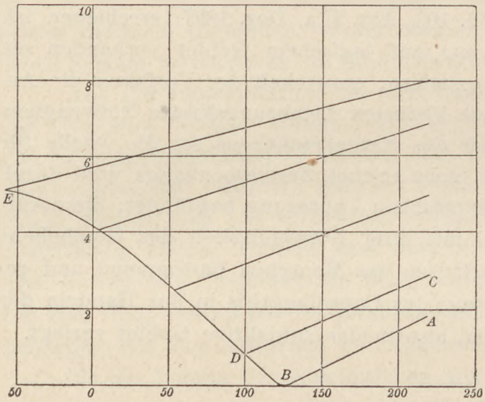


Fig. 1.

Nickelgehalt in %	26,2	27,9	28,7	30,4	31,4	34,6	35,6	37,3	39,4	44,4
Ausdehnung für 1 m und 1° in μ	13,1	11,3	10,4	4,6	3,4	1,4	0,9	3,5	5,4	8,5

Die Ausdehnung geht also einerseits über die des reinen Nickels (12,5) hinaus, andererseits sinkt sie bis zu Werten herab, die bei Messungen mittlerer Genauigkeit eine Berücksichtigung des Wärmezustands überflüssig machen. Der Ausdehnungscoëffizient hängt ausser vom Nickelgehalt auch von der Behandlung ab. Nach dem Abschrecken, das den Nickelstahl übrigens weicher macht, ist die Ausdehnung geringer; sie sinkt weiter, wenn man den Stab darauf walzt, man kann so bei demselben Stoffe eine Änderung des Ausdehnungscoëffizienten bis zum Doppelten seines Betrages herbeiführen. Die Untersuchungen Guillaumes bei höheren Wärmezuständen und bei anderem Nickelgehalt führten zu ähnlichen Ergebnissen. Bei allen Nickelstählen, die Guillaume untersucht hat, traten Nachwirkungserscheinungen auf, die große Ähnlichkeit mit denen des Glases hatten. Die irreversibelen Stähle zeigten bei Erwärmung eine fortwährende Zusammenziehung; bei den reversibelen Stählen trat bei Abkühlung eine nachträgliche Verlängerung und bei Erwärmung eine nachträgliche Verkürzung ein. Ganz so wie beim Glase lassen sich beim Nickelstahl die Nachwirkungen durch eine zweckmäßige Erwärmung und Abkühlung vermindern.

Guillaume macht verschiedene Vorschläge für die praktische Verwendung des Nickelstahles: Zunächst läßt sich ein genaues Passen einer Achse in ihr Lager herbeiführen, wenn sie aus irreversibelem Nickelstahl hergestellt wird, da dieser sich bei der Abkühlung ausdehnt. Die Eigenschaft des Nickelstahls, bei hohem Wärmezustand unmagnetisch zu werden, ist bei dem in Fig. 2 dargestellten Unterbrecher ausgenutzt, der in Wirksamkeit tritt, sobald die Stromstärke zu groß wird. Die Enden des U-förmigen Nickelstahlstückes U tauchen in die Quecksilbernäpfchen Q, so lange der Magnet jenes anzieht; der Strom ist dann geschlossen. Steigt er jedoch über das zulässige Maß, so erwärmt sich U. Es wird unmagnetisch und dann durch die Feder F hochgezogen; der Strom ist nun unterbrochen. Dieser Gedanke kann beim Bau von Fernthermometern und Feuermeldern verwendet werden. Der Hauptwert der Nickelstähle liegt in der Vereinigung geringer Wärmeausdehnung mit großer

Festigkeit, sie sind also an Stelle von Bronze und Messing bei allen den Vorrichtungen anzuwenden, wo eine starke Raumänderung mit dem Wärmezustand störend ist. Wegen der Wärmenachwirkungen darf man Nickelstahl zwar nicht für Normale erster Ordnung verwenden, für gewöhnliche Meſswerkzeuge und Maſsstäbe geringerer Genauigkeit aber ist er mit Vorteil zu benutzen. Man wird Nickelstahl an Stelle von Zink dort verwenden, wo zwei Metalle von möglichst verschiedenen Ausdehnungscoëffizienten mit einander zu verbinden sind, um dadurch Formveränderungen oder Bewegungen zu bewirken (Wärmemesser, Wärmeregler etc.). Die Anwendung von Nickelstahl ist auch da angezeigt, wo zwei Stoffe gleicher Wärmeausdehnung mit einander zu verbinden sind. So wird man für Fassungen groſser Linsen zweckmäſsig einen Nickelstahl wählen, der sich in gleicher Weise wie das betreffende Glas ausdehnt, was immer möglich sein wird; dadurch werden Verspannungen in der Linse unmöglich gemacht. Auch die Rohre bei Dampfkesseln stellt man zweckmäſsig aus Nickelstahl her. Durch Anwendung des Nickelstahls für Pendel von Präzisionsuhren an Stelle des Quecksilbers, das in mancher Beziehung unbequem ist, läſst sich eine theoretisch strenge Compensation erzielen. Hierfür ist nötig, daſs das Verhältnis der Ausdehnungen der beiden Componenten des Pendels bei allen Wärmezuständen das gleiche ist, daſs also das quadratische und das lineare Glied der Ausdehnungsformeln in gleichem Verhältnisse stehen. Dies ist aber bei Stahl und Quecksilber nicht der Fall, während man es bei Nickelstahl erreichen kann, da bei diesem je nach der Zusammensetzung die verschiedensten quadratischen Glieder vorkommen. *H. H.-M.*

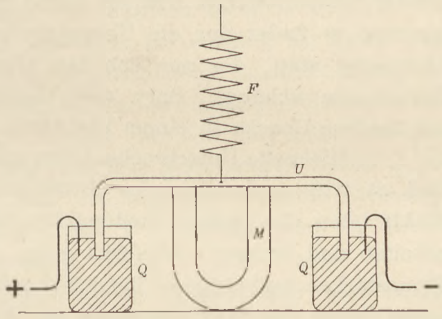


Fig. 2.

Der elektrolytische Unterbrecher. A. Le Roy *(C. R. 128, 925; 1899)* benutzte einen sehr kurzen Platindraht als Anode, eine groſse Quecksilberfläche als Kathode und mit 20—25 % Schwefelsäure versetztes Wasser als Elektrolyten. Dieser Unterbrecher arbeitete in den Primärkreis eines Induktoriums auf Spannung geschaltet und mit 120 V. gespeist in der bekannten Weise. Änderte Le Roy aber den Druck in dem Elektrolyten-Gefäſs, so beobachtete er, daſs eine Druckverminderung ein Aufhören der Unterbrechungen bewirkte und die Wärmeerscheinungen an der Anode verhinderte, und daſs eine Druckvermehrung die gleiche Wirkung hervorbrachte und eine Ansammlung der elektrolytischen Gase an den Elektroden hervorrief.

Paul Bary *(C. R. 128, 925; 1899)* unterscheidet in der Thätigkeit des Unterbrechers drei ganz verschiedene Erscheinungen, die bei derselben Platinanode von der Selbstinduktion des Stromkreises, dem Widerstand und der angewandten E. M. K. abhängen. Bei einer geringen Potentialdifferenz beobachtet man nur die Elektrolyse des Wassers. Vergröſsert man die Potentialdifferenz bis zu einem bestimmten Betrage, so tritt eine plötzliche Änderung der Erscheinung ein: die an der Anode sich entwickelnden Gase werden leuchtend, ohne daſs das Platin glüht, und erzeugen ein sehr eigenartiges Geräusch. Diese Erscheinung, die zuerst Fizeau und Foucault *(Annales de Chimie et de Physique (3) 2, 383; 1844)* beobachtet haben, hat Wehnelt bei seinem Unterbrecher ausgenutzt. Steigert man die E. M. K. noch weiter, so tritt eine dritte Erscheinung ein, die Violle und Chassagny *(C. R. 108, 284; 1889)* beschrieben haben: das Geräusch verschwindet, die Gase leuchten nicht mehr, das Platin aber glüht in der Flüssigkeit, von der es durch eine Gashülle getrennt wird. D'Arsonval *(d. Zeitschr. 12, 175; 1899)* benutzte Ätzkalilösung als Elektrolyten. Bary fand, daſs man alle Körper, deren Elektrolyse am positiven Pole Sauerstoff liefert, als Elektrolyten verwenden könne. Er benutzte bei seinen Versuchen eine Chlorammoniumlösung und fand, daſs die Erscheinung von Fizeau und Foucault eintritt, wenn die Potentialdifferenz zwischen einem gröſsten und einem kleinsten Werte liegt, auſserhalb deren die Erscheinung von Violle und

Chassagny oder die einfache Elektrolyse eintritt. Die kleinste Spannung ist um so geringer, je gröfser die Selbstinduktion des Stromkreises, so dafs, da die gröfste Spannung mit der Selbstinduktion wächst, die Grenzen, innerhalb deren die Unterbrechungserscheinungen eintreten, sich einander nähern, wenn der Selbstinduktionscoëfficient abnimmt. Bei verschwindender Selbstinduktion tritt für keine Spannung die Erscheinung von Fizeau und Foucault ein und es findet nur ein Übergang von der Elektrolyse zur Erscheinung von Violle und Chassagny statt, der nur von den Abmessungen des Platindrahts und dem Widerstand im Stromkreise abhängt. Bary und Gasnier fanden, dafs die Unterbrechungszahl mit zunehmendem Drucke in einem Verhältnis abnimmt, das etwas kleiner ist als das umgekehrte.

In Wehnelts Unterbrecher verwandelt sich ein Teil der zugeführten Energie in Wärme und es tritt schliefslich eine ‚Ermüdung‘ der Vorrichtung ein: wenn die Temperatur des Elektrolyten sich dessen Siedepunkte nähert, fängt der Unterbrecher an unzuverlässig zu arbeiten und versagt schliefslich ganz. Es ist deshalb nötig, den Elektrolyten bei gröfseren Stromstärken und längerer Betriebsdauer künstlich zu kühlen. Silvanus Thompson und Tesla lassen daher den Elektrolyten an der Anode vorbeiströmen und erreichen dadurch zugleich eine Erhöhung der Unterbrechungszahl. d'Arsonval, Elihu Thomson und Swinton fanden, dafs der Unterbrecher mit Wechselstrom ebenso gut wie mit Gleichstrom arbeitet, dafs er aber dabei nur auf die Stromimpulse einer Richtung anspricht. Auch Ludwig Kallir und Friedrich Eichberg *(Zeitschr. f. Elektrotechnik 17, 184; 1899)* haben das Verhalten von Wehnelts Unterbrecher im Wechselstromkreise eingehender untersucht. Elihu Thomson, Hanchett und Child haben mit gutem Erfolge bei gröfseren Stromstärken in dem Unterbrecher mehrere parallelgeschaltete Anoden angeordnet. E. W. Caldwell beschreibt einen vor längerer Zeit ausgeführten elektrolytischen Unterbrecher. Der Behälter besteht aus zwei Abteilungen, die durch ein Loch in der Scheidewand in Verbindung stehen. Jede der beiden mit dem Elektrolyten angefüllte Abteilung enthält eine gröfsere Elektrodenplatte. Caldwell erzielte 5 bis 500 Unterbrechungen in der Sekunde. (*E.T.Z. 20, 363; 1899.*)

B. Walter (*Fortschr. auf d. Gebiete d. Röntgenstrahlen Bd. II; 1899*) giebt folgende Erklärung der Vorgänge in Wehnelts Unterbrecher auf Grund der Versuche, die er in Gemeinschaft mit Voller angestellt hat: Sobald der Strom geschlossen wird, entsteht eine so aufserordentlich hohe Temperatur an der Oberfläche des Anodendrahtes, dafs die Flüssigkeit an dieser Stelle ins Sieden gerät und eine Wasserdampfhülle sofort den Draht umgiebt. In diesem Zeitpunkte wird der gröfste Wert des Schliefsungsstromes, d. h. die ‚Öffnungsstromstärke‘ erreicht; denn der Strom nimmt sehr rasch ab wegen des aufserordentlich grofsen Widerstandes jener Dampfhülle, deren Raum durch den sich hier abscheidenden Sauerstoff noch vermehrt wird. Bei diesem plötzlichen Abfall des Stromes wird an der Anode eine sehr hohe Spannung, die ‚primäre Öffnungsspannung‘, erzeugt, die dann die Wasserdampfhülle in ihre Bestandteile, Wasserstoff und Sauerstoff, zersetzt, zwei Gase, die sich zunächst getrennt von einander an den beiden Grenzschichten der Dampfhülle entwickeln, sich aber schnell untereinander mischen und dann als Knallgas unter Einwirkung der unausgesetzt weiter wachsenden Öffnungsspannung eine ‚explosionsartige Verbindung‘ eingehen, wodurch die gesamte Gashülle von der Anode fortgeschleudert wird und der Strom so in sehr kurzer Zeit vollständig auf Null herabsinkt, ein Abfall, dem wohl hauptsächlich die Induktionswirkung zuzuschreiben ist. Nun tritt die Flüssigkeit von neuem an den Draht heran und das Spiel beginnt von neuem. An der Kathode entwickelt sich genau die normale Wasserstoffmenge, wie sie der vom Amperemeter angezeigten mittleren Stromstärke nach dem Faradayschen Gesetze entspricht. Man hat es also bei dem neuen Unterbrecher nicht mit einem Wechselstrom, sondern mit einem periodisch pulsierenden Gleichstrom zu thun. *H. H.-M.*

Eine einfache Form des Daniellschen Normalelementes beschreibt O. Grotrian in der *E. T. Z. XIX, 561; 1898.* Die genauesten und unveränderlichsten Normalelemente sind die von Clark und Weston. Das veränderlichere Daniellsche Normalelement, das für Messungen von mittlerer Genauigkeit ausreicht, zeichnet sich durch Einfachheit des Ansetzens aus. Jedoch machen sich bei der gebräuchlichsten von Fleming angegebenen Form (*Phil. Mag. [5] XX,* *126; 1885)* gewisse Unbequemlichkeiten bemerkbar. Wegen der daran befindlichen Glashähne, die sich bei längerer Nichtbenutzung oft festsetzen, ist die Vorrichtung leicht zerbrechlich. Da eine Mischung der Flüssigkeiten möglichst zu vermeiden ist, erfordert das Ansetzen des Elementes einige Sorgfalt, und die Wiederherstellung der scharfen Grenzfläche zwischen Zink- und Kupfersulfat verlangt eine stetige Beaufsichtigung bei längerer Gebrauchsdauer. Die Anordnung, die Grotrian dem Daniellschen Element gegeben hat und die an die Formen der Elemente von Raoult und Kittler erinnert, hat keine Glashähne, ist sehr einfach anzusetzen und erfordert keine besondere Beaufsichtigung der Grenzschicht. Die Einrichtung ist in Fig. 1 abgebildet, in der ein lotrechter Schnitt durch die Porzellangefäſse *A* und *B* und ein wagerechter Schnitt durch *A* dargestellt ist. Die Seitenwände *a a* und *b b* sind oben ∩-förmig umgebogen und ihre geradlinigen Enden gegen die Wagerechte unter 45⁰ geneigt. In *A* befindet sich die Zinkplatte und die Zinksulfatlösung, in *B* die Kupferplatte und die Kupfersulfatlösung. Die Gefäſse sind im Innern 6 cm lang, 4 cm breit und 8 cm tief. Die Metallplatten sitzen in den Nuten *NN*. Die Gefäſse sind mit Hartgummiplatten zugedeckt. Streifen *f f* aus Filtrierpapier oder Leinen von etwa 20 cm Länge und 6 cm Breite sind in die Gefäſse eingetaucht und über die ∩-förmigen Ansätze gelegt. Die frei herabhängenden Enden werden nach gehöriger Annäherung der Gefäſse durch leichten Fingerdruck miteinander in Berührung gebracht. Die Streifen sind mit Zinksulfat und Kupfersulfat durchtränkt und beide Flüssigkeiten berühren

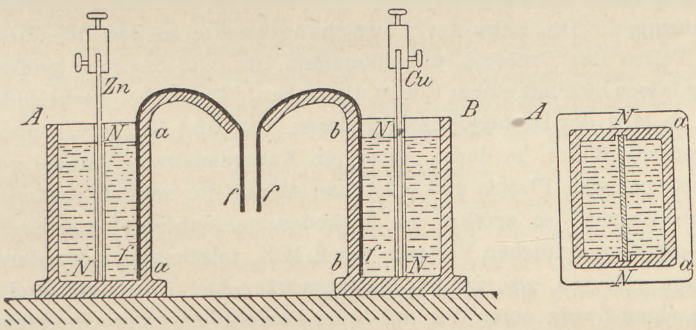


Fig. 1.

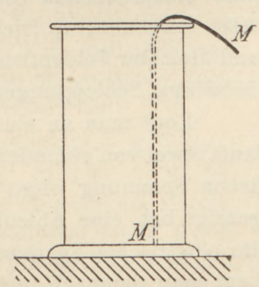


Fig. 2.

sich an den Stellen, wo die Streifen aneinander haften. Für das Zinksulfat sind 5 und für das Kupfersulfat 2 Streifen erforderlich. Die Zinksulfatlösung hat die Dichte 1,200 und die Kupfersulfatlösung die Dichte 1,100. Die ursprüngliche Form von der Grotrian ausging, kann sich jeder leicht selbst herstellen. In zwei cylindrische Glasgefäſse, von denen eins in Fig. 2 dargestellt ist, werden aus sehr leicht schmelzbarem Milchglase angefertigte ∩-förmig gebogene Streifen *MM* gestellt und darüber, wie oben angegeben, die Streifen gelegt. Die Metallplatten laufen oben in je einen Stift aus, der durch eine Öffnung in der Mitte der Deckelplatte hindurchgesteckt und durch eine Preſsschraube gehalten mit der Leitung verbunden wird. In dem Grotrianschen Element bestand der positive Pol aus elektrolytischem Kupfer, das vor Beginn der Beobachtungen in Kupfervitriollösung galvanoplastisch verkupfert wurde, nachdem man es vorher in Salpetersäure getaucht und gehörig mit Wasser abgespült hatte. Der Zinkpol bestand aus Zincum metallicum purissimum, das in einem reinen hessischen Tiegel geschmolzen, dann in geeigneter Holzform gegossen und vor dem Einsetzen spiegelnd glänzend amalgamiert wurde. Es wurde das reinste Zink- und Kupfersulfat verwandt. Man muſs darauf achten, daſs die Kupferhaut in nassem Zustande unter schiefem Winkel betrachtet ein hell fleischfarbig mattes Aussehen zeigt; denn durch die Oxydation der Kupferoberfläche, die an einzelnen dunkelbraunen Stellen oder einem dunkelbraunen Gesamtaussehen zu erkennen ist, kann die elektromotorische Kraft unter Umständen um mehr als 0,01 V. erhöht werden. Grotrian fand für sein Element 1,101 V. als mittleren Wert der elektromotorischen Kraft. Das Element besitzt einen Widerstand von mehreren Tausend Ohm, es verträgt Kurzschlüsse ebensogut wie das Flemingsche Element. Die elektromotorische Kraft nimmt ohne neue Zurichtung der Polplatten während 18 Stunden um etwa 1 bis 2 Tausendstel Volt zu. *H. H.-M.*

Indicator für magnetische Drehfelder und für Wechselstromspannungen. A. Hess (*Compt. rend. CXIX 57; 1894 La Lumière Electrique 14. VII 1894, 91*) und F. Braun (*Wied. Ann. LX 552; 1897 und LXV 372; 1898, d. Zeitschr. X 193, XI 287*) haben die Ablenkbarkeit der Kathodenstrahlen durch Stromspulen zum Nachweis und zur Untersuchung des zeitlichen Verlaufes veränderlicher elektrischer Ströme benutzt. H. Ebert (*Wied. Ann. LXIV, 240; 1898, d. Zeitschr. XI 287*) hat gezeigt, wie man mittels der Ablenkungen der Kathodenstahlen in einem elektrischen Wechselfelde den zeitlichen Verlauf auch der Wechselstrom-Spannungen in jeder einzelnen Phase verfolgen kann. H. Ebert und M. W. Hoffmann (*E. T. Z. XIX, 405; 1898*) hat die Verknüpfung beider Gedanken zu dem Bau einer Vorrichtung geführt, die den Verlauf des Drehfeldes durch sich drehende Kathodenstrahlen auf einem Phosphorescenzschirme aufzeichnet und die Beteiligung eines jeden einzelnen Teiles an dem Zustandekommen der Erscheinung gesondert verfolgen läfst. Der Grundgedanke der Vorrichtung ist folgender: Geht ein an sich gerades Kathodenstrahlenbündel durch ein Magnetfeld, so wird es in einer zur Kraftlinienrichtung senkrechten Ebene abgelenkt. Dreht sich das Magnetfeld bei unveränderlicher Stärke, so beschreibt der abgelenkte Teil des Kathodenstrahlenbündels den Mantel eines Kreiskegels. Bei reinem Drehfelde erscheint ein Kreis; zeigt das Feld aufser seiner Drehung noch eine mehr oder minder grofse Schwankung, so erfährt die Kreislinie entsprechende Umgestaltungen. Die Lage der Abweichungspunkte zu dem Idealkreis läfst erkennen, in welchen Teilen das Drehfeld unvollkommen ist. Die Bereiche gröfster und kleinster Feldentwicklung lassen sich mit einem Blicke übersehen. Treten bei wechselnder Belastung Schleppungen ein, so läfst der Drehfeldanzeiger deren Sinn und Gröfse erkennen.

Legt man an eine Braunsche Röhre, in deren Achse ein Kathodenstrahlenbündel verläuft, zwei von einander isolierte parallele Platten und ladet man sie mit der zeitlich veränderlichen Spannung eines Wechselstromes, so erfährt das Kathodenstrahlenbündel, wie Ebert gezeigt hat, eine Ablenkung, die dem zeitlichen Verlaufe der E.M.K. folgt und in der durch die elektrischen Spannungslinien gelegten, also zu den Platten senkrechten Ebene stattfindet. Legt man demnach in irgend einen Zweig einer Wechsel- oder Drehstromgruppe eine kleine Magnetisierungsspule, die man an die Kathodenröhre heranführt, setzt man dann zwischen diese und die Spule eine kleine isolierte Platte senkrecht zur Spulenachse und an die gegenüberliegende Wand eine Platte und verbindet man die Platten mit zwei Punkten der Gruppe, nötigenfalls unter Vorlegung eines kleinen Transformators, so ruft die Spule eine Ablenkung senkrecht zu ihrer Achse und der Kondensator eine solche in der Achsenrichtung hervor. Je nach der Amplitude, Periode und Phase beider Wirkungen entstehen den Lissajousschen ähnliche Figuren, aus denen man umgekehrt auf jene Gröfsen zurückschliefsen kann. Bei mittleren Wechselzahlen kann die Induktion der Spule vernachlässigt werden, es folgen dann die Schwingungen des Kathodenstrahls praktisch den zeitlichen Veränderungen der Stromstärke. Sind Stromstärke und Spannung nicht gegeneinander verschoben, so wird bei gleichzeitiger Beeinflussung des Kathodenstrahlenbündels durch Spule und Kondensator eine in einer Ebene verlaufende Schwingung, also auf dem Schirme eine gerade Linie erhalten, deren Winkel mit den Achsen der Spule und des Plattenpaares durch das Amplitudenverhältnis bestimmt wird. Schaltet man einen Widerstand mit Selbstinduktion in den Stromkreis ein, so entsteht bei einer Phasenverschiebung von 90° auf dem Schirme ein Kreis, wenn die Amplituden der Teilschwingungen gleich grofs sind. Beträgt die Phasenverschiebung 45°, so erhält man eine Ellipse. Der Apparat, dessen Anordnung, Handhabung und Verwertung im besonderen a. a. O. nachzulesen ist, läfst sich also zur gleichzeitigen Bestimmung von Spannung und Stromstärke eines Wechselstromes benutzen und lässt aufserdem die Phasendifferenz zwischen beiden ohne weiteres erkennen. Er ist gewissermafsen ein Wattanzeiger. Vgl. auch *E. T. Z XX 120 u. 228 (1899)*. *H. H.-M.*

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Physikalisch-chemische Propädeutik unter besonderer Berücksichtigung der medizinischen Wissenschaften und mit historischen und biographischen Angaben von Prof. Dr. med. et phil. H. Griesbach. I. Hälfte S. 1—272 mit 44 Figuren; II. Hälfte 1. Lief. S. 273—592 mit 60 Figuren; 2. Lief. S. 592—944 mit 97 Figuren. Leipzig, Wilhelm Engelmann, 1895—97.

Das Werk wendet sich in erster Reihe an den Mediziner, dem es die Hilfsmittel für ein tieferes Eindringen in die physikalischen und chemischen Grundlagen der Heilkunde darbieten will, in zweiter Reihe an den Chemiker, sofern er sich als Sachverständiger zur Beantwortung gerichtlicher und hygienischer Fragen veranlafst sieht. Es ist durchweg mit Gründlichkeit gearbeitet und mit reichlichen historischen wie litterarischen Nachweisen versehen, so dafs es auch aufserhalb der Kreise, für die es zunächst bestimmt ist, Interesse erregen wird. Es enthält unter anderm einen recht guten geschichtlichen Abrifs der Atomistik und eine sehr ausführliche Darstellung der fermentativen und pathogenen Eigenschaften der organisierten Materie. Auch für den physikalischen und chemischen Unterricht ist es von Wert, da es durchweg mit der Betrachtung der einzelnen physikalischen Erscheinungen Hinweise auf deren Auftreten in den medizinischen Disciplinen verknüpft. So ist bei der Reibung auf deren Rolle im menschlichen Körper, bei der Schwungkraft auf die Verwendung der Centrifugen zur Entmischung des Blutes, bei der Hydrodynamik auf die Blutbewegung, bei der Porosität auf die Schale des Hühnereies, auf die menschliche Haut, auf die Bedeutung des Erdbodens für epidemische Krankheiten näher eingegangen. (Beim Luftdruck hätte in ähnlicher Weise die Mechanik des Atmens eine Stelle finden können.) Sehr ausgedehnt ist auch das Kapitel der molekularen oder physikalischen Mischungen (S. 683—914), das sich wegen der eingehenden Berücksichtigung der neueren Litteratur gut zur Orientierung über dies umfangreiche Gebiet der Forschung eignet und zugleich die Beziehungen der physikalischen Chemie zur Medizin erschöpfend behandelt. Ein Kapitel über die Energie wird erst in der Schlufslieferung seine Vollendung finden. Das ganze Werk stellt sich, weit über seinen Titel hinausgehend, als eine dem heutigen Standpunkte des Wissens entsprechende Encyklopädie der gesamten physikalisch-chemischen Seite der medizinischen Wissenschaft dar. *P.*

Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften. No. 93. Drei Abhandlungen über Kartenprojektion von Leonhard Euler. Herausgegeben von A. Wangerin. 78 S. M. 1,20. — No. 94. Über das Verhältnis zwischen der chemischen Zusammensetzung und der Krystallform arseniksaurer und phosphorsaurer Salze. Von Eilhard Mitscherlich. Herausgegeben von P. Groth. 59 S. M. 1,—. — No. 95. Pflanzenphysiologische Abhandlungen von Ernst von Brücke. Herausgegeben von A. Fischer. 86 S. M. 1,40. — No. 96. Sir Isaac Newtons Optik. Übersetzt und herausgegeben von William Abendroth. I. Buch. 132 S. M. 1,40. — No. 97. II. und III. Buch. 156 S. M. 2,40. Leipzig, Wilhelm Engelmann, 1898.

No. 93 bildet eine Ergänzung zu den in derselben Sammlung erschienenen Arbeiten von Lambert (No. 54) und Lagrange (No. 55). Es enthält die drei Abhandlungen Eulers über die Abbildung einer Kugelfläche in einer Ebene, über die Darstellung einer Kugelfläche auf einer Karte und über die De Lislesche Kartenprojektion. — No. 94 enthält die grundlegende Untersuchung Mitscherlichs über Isomorphismus; sie ist zuerst 1821 in den Denkschriften der Akademie zu Stockholm in schwedischer Sprache erschienen. — In No. 95 sind die folgenden vier Abhandlungen E. v. Brückes zusammengestellt: Bluten des Rebstockes, Bewegungen der Mimosa pudica, Elementarorganismen, Brennhaare von Urtica; von dieser ist die dritte 1861 entstandene von besonderer Bedeutung für die neuere Zellenlehre. — No. 96 und 97 bringen eine Übersetzung der in gewissen Abschnitten klassischen, nie veraltenden Abhandlung Newtons über „Spiegelungen, Brechungen, Beugungen und Farben des Lichts“. Geradezu mustergültig und deshalb auch schon wiederholt für den Unterricht verwertet sind die Untersuchungen über Farbenzerstreuung; nicht minder interessant ist das Buch durch die Fülle der darin angeregten, erst in späterer Zeit genauer erforschten Probleme. Die Anmerkungen des Herausgebers zeugen von Sachkenntnis, doch hat er eine Stelle im Beginn des I. Buches missverstanden. Das von ihm beanstandete Axiom 3 besagt offenbar nichts weiter, als die schon dem Alhazen bekannte Thatsache, dafs das Licht beim Durchgange durch zwei verschiedenartige Mittel in der einen Richtung denselben Weg macht, wie in der umgekehrten. Dafs dies die richtige Deutung ist, wird durch die Anwendung des Axioms auf S. 9 bestätigt. *P.*

Tierische Elektrizität. Vorlesungen von Augustus D. Waller, Professor der Physiologie. Übersetzt von Estelle du Boy-Reymond. Mit 68 Figuren. Leipzig, Veit & Comp. 1899. 152 S. M. 4.

Seit der Entdeckung des Galvanismus stehen bekanntlich die Forschungen über die tierische Elektrizität mit den physikalischen Untersuchungen über Elektrizität in engem Zusammenhang. Auch das vorliegende Werk läfst erkennen, dafs geklärte physikalische Anschauungen ein tieferes Eindringen in die physiologische Seite der Nerventhätigkeit ermöglichen. Vor allem ist der Begriff der elektrolytischen Dissociation für das Verständnis gewisser Erscheinungen am lebenden Nerven von Bedeutung. Von diesem Standpunkt aus werden auch physikalische Leser an dem Buche Interesse nehmen. Besonders hingewiesen sei auch auf die Einwirkung von Reizmitteln, wie Äther, Chloroform, Kohlensäure auf den Nerven und auf die Theorie der Entstehung von Kohlensäure im tetanisierten Nerven. Über einige methodisch interessante physikalische Versuche wird an anderer Stelle in d. Zeitschr. berichtet werden. *P.*

Auf der Schwelle zweier Jahrhunderte. Die höhere Schule und das gebildete Haus gegenüber den Jugendgefahren der Gegenwart. Eine Pädagogik des Kampfes. Von R. Evers, Gymnasialdirektor in Barmen. Berlin, Weidmann, 1898. XI und 240 S. geb. M. 5,60.

Warme Begeisterung für das Ideale und für die letzten Ziele des Jugendunterrichts haben den Verfasser bei Abfassung dieses Buches geleitet. Indem er „Vergangenheit“ und „Gesetz“ als die beiden sicheren Fundamente alles höheren Unterrichts erkennt, weist er den Naturwissenschaften im Ganzen des Erziehungsplanes einen wesentlichen Anteil zu. Er tritt namentlich auch für eine philosophische Propädeutik auf Grundlage des naturwissenschaftlichen Unterrichts ein und begegnet sich hierin mit dem, was Lambeck im Programm des Barmer RG. 1897 und Schulte-Tigges in seiner kürzlich erschienenen philosophischen Propädeutik fordern. Über Materialismus und Naturalismus findet man beachtenswerte Ausführungen. Doch sei bemerkt, dafs der Verfasser von den Zielen der Ostwaldschen Rede über die Überwindung des wissenschaftlichen Materialismus (vgl. d. Zeitschr. *IX 41*) eine irrige Auffassung hat. *P.*

Koppes Anfangsgründe der Physik mit Einschlufs der Chemie und mathematischen Geographie. Für den Unterricht an höheren Lehranstalten sowie zur Selbstbelehrung. Ausgabe A. 20. Auflage, bearbeitet von Prof. Dr. A. Husmann. Mit 429 Holzschnitten und 1 Sternkarte. Essen, G. D. Bädeker, 1898. 582 S., geb. M. 6.

Der Herausgeber hat bereits mehrere Auflagen der Ausgabe B (in 2 Kursen) bearbeitet und nun auch die Bearbeitung der Ausgabe A, die, wie die alten Koppeschen Ausgaben, in einem Kursus erscheint, übernommen. Damit ist eine gröfsere Zahl von Veränderungen eingetreten, die dem Buche zum Vorteil gereichen. Der Abschnitt über allgemeine Eigenschaften der Körper wurde ganz aufgehoben, andrerseits eine zusammenhängende, vielleicht noch zu allgemein gehaltene Darstellung der Wellenlehre eingefügt. Der Potentialbegriff auf Grund der Definition aus der Arbeit ist in der Lehre von den magnetischen und elektrischen Kräften zur Verwendung gekommen; für die elektrischen Induktionserscheinungen und die Erklärung der Maschinen sind die Kraftlinien hinzugezogen. Neu bearbeitet ist der chemische Kursus, der die bekanntesten Elemente in systematischer Übersicht behandelt. Zweifelhaft ist hier, ob die Einführung des Krith-Begriffes nach A. W. Hofmans Vorgang sich empfiehlt; über Atom und Molekül finden sich mehrere anfechtbare Behauptungen. Am Schlusse des Buches befindet sich ein Fremdwörterverzeichnis, das gleichfalls bei der nächsten Auflage noch einiger Berichtigungen bedarf. Hinsichtlich der Sternkarte gilt das bereits von anderer Seite (*XI 248*) Bemerkte. *P.*

Theorie der atmosphärischen Strahlenbrechung. Von Dr. Alois Walter, Prof. a. d. k. k. Staats-Oberrealschule in Graz. Veröffentlicht mit Unterstützung der K. Akademie der Wissenschaften in Wien. Mit 4 Textfiguren. Leipzig, B. G. Teubner, 1898, VII und 74 S.

Die Arbeit zerfällt in zwei Teile. Die erste geometrische Hälfte soll die terrestrische Strahlenbrechung unter völligem Verzicht auf jede Annahme über die physikalische Beschaffenheit der Luft und deren Änderung mit der Erhebung über die Erdoberfläche behandeln. Die andere physikalisch-meteorologische Hälfte untersucht den physikalischen Zustand der Lufthülle, um eine praktische Verwendung der gewonnenen Formeln zu ermöglichen. Dies Verfahren bietet sicher grofse Vorteile, ist aber nicht in voller Reinheit durchführbar; denn die Entwickelungen des ersten Teiles beruhen ja doch auf der Voraussetzung, dafs die Lichtbrechungsgesetze gültig sind, und der Annahme, dafs die Luft in gleich hoch gelegenen Punkten die gleiche physikalische Beschaffenheit habe. Der Verzicht auf weitere besondere physikalische Annahmen hat hingegen den Nachteil, dafs die Entwickelung der Refraktionsgröfsen in Potenzreihen eine rein formale bleibt, da hierbei ein Urteil über die Zulässigkeit dieser Reihenentwicklungen im allgemeinen nicht möglich ist. Der Verfasser gelangt in seiner verdienstvollen Untersuchung vielfach zu neuen und allgemeinen Ergebnissen, die ihm ermöglichen, ältere Lehrmeinungen mit Erfolg zu berichtigen. Die Darstellung ist einfach, klar und gewandt. Nur an einer Stelle (S. 8) ist mir eine sprachliche Härte aufgefallen. Die Behauptung, dafs Glaisher eine Höhe von 10—11 000 m erreicht habe, ist heut nicht mehr aufrecht zu erhalten. *Hahn-Machenheimer.*

Die Chemie im täglichen Leben. Gemeinverständliche Vorträge von Prof. Dr. Lassar-Cohn. 3. Aufl. Hamburg und Leipzig, Leopold Vofs. 1898. VII u. 317 S. M. 4.

Die neue Auflage des in dieser Zeitschrift bereits genügend gewürdigten Buches enthält gegenüber der vorhergehenden nur geringe wesentliche Änderungen. Der Umfang ist nur um 14 Seiten vermehrt, einzelne Abschnitte wurden sogar gekürzt; es ist also der bei derartigen populären Werken so häufige Fehler zu grofser Stoffanhäufung hier vermieden. Die schnelle Aufeinanderfolge der Auflagen beweist, dafs in dem Buche für den in Frage kommenden Leserkreis der richtige Ton getroffen ist. *O.*

Zwanzig Briefe gewechselt zwischen Jöns Jakob Berzelius und Christian Friedrich Schönbein in den Jahren 1836—1847. Herausgegeben von Georg W. A. Kahlbaum. Basel, B. Schwabe, 1898, 99 S. M. 2,40.

Den äufseren Anlafs zur Herausgabe des Briefwechsels zwischen Berzelius und Schönbein bot die 50 jährige Wiederkehr des Todestages von Berzelius (7. August 1848), die in Stockholm am 9. Oktober 1898 besonders gefeiert wurde. Zugleich ist die vorliegende Schrift ein willkommener Vorläufer zur Feier des 100. Geburtstages Schönbeins, die am 18. Oktober 1899 zu begehen sein wird. Dem Herausgeber stand einerseits der gesamte schriftliche Nachlafs Schönbeins mit den Briefen von Berzelius zur Verfügung, andererseits erhielt er durch Vermittelung der Stockholmer Akademie auch Einblick in die Briefe Schönbeins. Den Inhalt des ersten Briefes, den Schönbein im Jahre 1836 an den damals bereits weitberühmten, zwanzig Jahre älteren Berzelius richtete, bilden Beschreibungen von Versuchen zur Passivität des Eisens; in den weiteren Briefen macht der unermüdliche Forscher die eingehendsten Mitteilungen über seine später so berühmt gewordenen Entdeckungen, besonders des Ozons und der Schiefsbaumwolle. Die Antworten von Berzelius sind meist ziemlich kurz, aber nicht minder interessant. Den Briefen sind vom Herausgeber vielfach erläuternde Ausführungen sowie eine gröfsere Zahl historischer Notizen beigegeben. Die Schrift ist als ein wertvoller Beitrag zur Geschichte der Chemie zu betrachten. *O.*

Programm-Abhandlungen.

Leitfaden für den propädeutischen Unterricht in der Chemie und Krystallographie in der Untersekunda der Realanstalten von Dr. B. Rosenplenter. Städtische Realschule zu Cöpenick. Ostern 1898. Progr.-No. 131.

Der Hauptteil der Abhandlung enthält kurze Beschreibungen der häufiger vorkommenden Elemente und ihrer wichtigsten Verbindungen. Die Anordnung ist ziemlich willkürlich; die Überschriften der Paragraphen nennen bald Grundstoffe (H, O), bald Reaktionen (Oxydation, Verbrennung), bald einzelne Verbindungen (H_2O, CO), bald Klassen von solchen (Säuren, Basen, Salze) u. s. w. In sehr weitem Sinne werden die Reduktionserscheinungen aufgefafst, sogar die Elektrolyse des Wassers wird hierher gerechnet. Ein Übergang vom Leichteren zum Schwereren ist nicht immer zu beobachten; so werden complizierte Umsetzungen, z. B. zwischen Basen und Säuren, schon sehr zeitig behandelt. Dem speziellen geht ein kurzer allgemeiner Teil voraus. Die Einführung in die Atomlehre ist hier sehr unzureichend. Beispielsweise wird nicht aus den — doch empirisch gefundenen — Gesetzen der constanten und multiplen Proportionen der Begriff des Atoms hergeleitet; vielmehr wird die atomistische Zusammensetzung von Schwefeleisen und Schwefelkies, von Kupferoxyd und Rotkupfererz u. s. w. in Form von Thatsachen angeführt und hieraus das Gesetz gefolgert. Dieses wird überdies — unter dem merkwürdigen Namen „Gesetz der mehrfachen chemischen Verbindungen" — aufserordentlich unklar und zwar in folgender Weise ausgesprochen: „Die Elemente verbinden sich stets nach einfachen Zahlenverhältnissen, indessen schwanken die Zahlen zuweilen bei der Änderung der äufseren Bedingungen." Der krystallographische Teil ist am Ende beigefügt; dieser sucht den krystallinischen Zustand aus dem molekularen Aufbau der Körper zu erklären und ist besser als der chemische Teil gelungen. Schliefslich sei, um von sonstigen Ausstellungen abzusehen, nur noch angeführt, dafs Verf. das Wort „Molekel" stets als Neutrum gebraucht, während es doch aus etymologischen Gründen (molecula, Massenteilchen) als Femininum anzusehen ist. *J. Schiff.*

Einführung in die Chemie. Von Dr. O. Stoeckenius und Dr. O. Krüger. Oberrealschule zu Charlottenburg, Ostern 1898. Pr.-No. 129.

Die Verfasser legen ihrem propädeutisch-chemischen Lehrgange, der in erster Linie für Realanstalten bestimmt ist, das „analytisch-induktive Verfahren Wilbrands" zu Grunde. Dementsprechend ist der Stoff um bekanntere Naturkörper oder Chemikalien, die als Ausgangspunkt der Untersuchungen und Erläuterungen dienen, gruppiert. Diese sind im allgemeinen dieselben wie in Wilbrands bekanntem „Leitfaden für den methodischen Unterricht in der anorganischen Chemie"; jedoch sind zum Zwecke der Vereinfachung mehrfach Abänderungen vorgenommen worden, allerdings nicht immer mit Glück. Das gilt besonders für die Kapitel VIII und X, in denen Kohlendioxyd bezüglich Grubengas als Ausgangsmaterialien dienen. Allgemein bekannte Körper, wie atmosphärische Luft, Wasser, Kochsalz u. s. w. sind diese beiden, zum mindesten das Grubengas, doch nicht zu nennen, und dafs man letzteres — wie hier angenommen — in Wirklichkeit aus Sümpfen aufsammeln wird, ist billig zu bezweifeln. Statt dieser beiden hätte wohl lieber ein Kapitel über den Kohlenstoff gewählt werden sollen; dann wäre es auch nicht nötig gewesen, auf diesen wichtigen Grundstoff auf dem Umwege der Reduktion der CO_2 durch Na zu kommen. Symbole für die Elemente und Formeln für die Verbindungen werden von Anfang an gebraucht, aber frei von allem Hypothetischen ausschliefslich zum Ausdruck der Gewichts- und Volumverhältnisse. Endlich wird eine Zusammenstellung und Erweiterung der Ergebnisse gegeben, wobei auch die atomistische Lehre vorgetragen wird, sowie zum Schlusse eine Übersicht über die Krystallsysteme und eine Anzahl stöchiometrischer Aufgaben. Im vorletzten Kapitel wird man jedes Eingehen auf den Unterschied zwischen amorphem und krystallinischem Zustande vermissen. Trotz dieser Mängel kann das klar und präcise geschriebene Büchlein als ein brauchbares Hülfsmittel für den einführenden chemischen Unterricht bezeichnet werden. *J. Schiff.*

Anleitung zur anorganischen (Mineral-) Analyse. Von Dr. Rudolf Tümpel. Realgymnasium zu Gera. 1898, Pr.-No. 754.

Der Verfasser hat einen Gang der qualitativen Mineralanalyse zusammengestellt, auf Grund dessen alle wichtigeren Basen, sowie die häufigsten anorganischen Säuren, auch Kieselsäure und überdies Oxal- und Essigsäure, nachgewiesen werden können. Da die Darstellung klar und übersichtlich und ferner das Verfahren durch Aufserachtlassen der Phosphate, Borate, Oxalate und Silikate der alkalischen Erden u. s. w. genügend vereinfacht ist, so wird der vorliegende Lehrgang auf Realanstalten mit Vorteil gebraucht werden können. *J. Schiff.*

Versammlungen und Vereine.

Naturwissenschaftlicher Ferienkursus in Göttingen.

Vom 10. bis 22. April 1899.

Bei dem diesjährigen Ferienkursus, an dem 16 Herren aus den Provinzen Hannover, Hessen-Nassau, Rheinland und Westphalen teilnahmen, wurden folgende Vorträge gehalten:

Prof. Behrendsen: Über messende Versuche im physikalischen Unterricht auf höheren Schulen. Der Vortragende bespricht die Notwendigkeit, im physikalischen Unterricht quantitative Versuche zur ziffernmäfsigen Ermittelung der wichtigsten physikalischen Constanten anzustellen. Um Zeit für solche Versuche zu gewinnen, möge man lieber auf eine Reihe nur zur Schau dienender Versuche verzichten. Es komme auch mehr auf die Methode der Messung als auf die absolute Richtigkeit der Resultate an. Die nötigen Apparate brauchten nicht compliziert zu sein, je einfacher, um so wertvoller seien sie. Er führt dann eine ganze Zahl von messenden Versuchen vor: Bestimmung der Beschleunigung der Schwere, Ableitung der Momentengleichung bei drehbaren Körpern, Foucaultsches (16 m langes) Pendel, Bestimmung des spezifischen Gewichtes, der Oberflächenspannung von Flüssigkeiten, Lichtstärkemessung mit verschiedenen Photometern, Messungen mit einem vom Vortragenden construierten Demonstrationsgoniometer, Messung der Wellenlänge des Lichtes, der Ausdehnungscoëffizienten fester, flüssiger und gasförmiger Körper, der spezifischen Wärme, des mechanischen Wärmeäquivalentes, der Verdampfungswärme des Wassers, der äufseren und inneren Wärmeleitung, von elektrischen Potentialen, Aichung von Elektroskopen, Kapazitätsbestimmungen, Messung von Dielektrizitätsconstanten, Nachweis des Biot-Savartschen Gesetzes der Elektrodynamik mit dem Kuhfahlschen Apparate, Messung des Stromgefälles und Herleitung des Ohmschen Gesetzes, Messungsmethoden für elektromotorische Kräfte, Stromstärke, Widerstand unter Berücksichtigung der Temperatur, endlich kalorimetrische Messung der Jouleschen Wärme.

Prof. Nernst: Über Ionenreaktionen und die Theorie des Akkumulators. Ausgehend von dem Gesetz der Massenwirkung bespricht, der Vortragende die Vorgänge in Salzlösungen. In ihnen sind die Salze in Ionen gespalten, und für die Reaktionen sind die freien Ionen mafsgebend. Er demonstriert das an einer grofsen Zahl von Beispielen, aus denen hervorgeht, dafs die typischen Reaktionen der anorganischen Chemie fast ausschliefslich Ionenreaktionen sind. Er giebt dann die osmotische Theorie der Stromerzeugung. Taucht ein Zinkstab in $Zn\,SO_4$-Lösung, so gehen positive

Zn-Ionen in Lösung, *Zn* wird negativ, $Zn\,SO_4$ positiv; die entstehende Potentialdifferenz und der osmotische Druck wirken der Lösungstension der *Zn*-Ionen entgegen. Beim Daniell-Element findet dasselbe bei *Cu* in $Cu\,SO_4$ statt. Da aber die Lösungstension des *Cu* kleiner ist als die des *Zn*, so wird *Cu* doch positiv. Aus dieser Theorie ergiebt sich eine einfache Formel für die elektromotorische Kraft des Daniell-Elementes. Diese E.M.K. ist eine Funktion der Lösungstension und des osmotischen Druckes der *Zn*- und *Cu*-Ionen. Da der osmotische Druck proportional der Conzentration ist, so giebt Vermehrung der Conzentration der *Zn*-Ionen in der Lösung eine Verminderung der E.M.K., während beim *Cu* das Umgekehrte eintritt. Durch Zusatz von Cyankali zu der $Cu\,SO_4$-Lösung kann man die Conzentration der *Cu*-Ionen so stark vermindern, dafs das Element sich umkehrt. Bei der Theorie des Bleiakkumulators giebt der Vortragende zuerst einen kurzen Überblick über die Geschichte der Erfindung und allmählichen technischen Vervollkommnung der Akkumulatoren, über ihre Fabrikation und ihre Anwendung und bespricht dann die osmotische Theorie. Die Formel für die E.M.K. läfst sich auf Grund der Liebenowschen Theorie, dafs an der einen Platte negative $Pb\,O_2$-Ionen, auf der andern positive *Pb*-Ionen auftreten, geben. Diese Formel ist aber so lange nicht anwendbar, als experimentelle Daten über den osmotischen Druck der $Pb\,O_2$-Ionen fehlen. Besser führt die thermodynamische Theorie nach Helmholtz zum Ziele. Wendet man auf die Gleichung

$$Pb\,O_2 + Pb + 2\,H_2\,SO_4 \rightleftarrows 2\,Pb\,SO_4 + 2\,H_2\,O,$$

welche die chemische Theorie des Akkumulators giebt, das Massenwirkungsgesetz an, so folgt, dafs die E.M.K. mit der Conzentration der $H_2\,SO_4$ wächst. Schaltet man nun zwei Akkumulatoren mit verschiedener Conzentration gegen einander, so wird der eine so lange entladen, der andere geladen, bis gleiche Säuredichte vorhanden ist. Die Arbeitsleistung dieses Prozesses läfst sich einmal durch die E.M.K. berechnen, in anderer Weise aber auch dadurch, dafs man die Veränderung der Säureconzentration durch einen isothermischen Destillationsprozefs hergestellt denkt. Man erhält dann die E.M.K als Funktion der Dampfspannung der $H_2\,SO_4$. Berechnet man aus dieser Formel die E.M.K. für verschiedene Conzentration, so ergiebt sich eine sehr gute Übereinstimmung mit der Beobachtung. (Vergl. die Arbeit von D o l e z a l e k in *Wied. Ann. Bd. 65.*) Als wichtiges Resultat dieser Theorie folgt noch, dafs der Akkumulator bei schwachen Strömen isotherm und reversibel arbeitet, was bis jetzt bezweifelt wurde.

Prof. Voigt, Über die elektromagnetische Lichttheorie und magnetooptische Erscheinungen: Über die Natur des Lichtes ergeben die Beobachtungen, dafs es in vektoriell sich fortpflanzenden Schwingungen bestehen mufs. Die alte Theorie machte nun zur Erklärung die Hypothese der Verschiebung von Massenteilchen, die moderne Theorie nimmt Schwingungen von magnetischen und elektrischen Kräften an. Die Maxwellsche Theorie der Elektrizität und des Magnetismus, die kurz rekapituliert wird, ergiebt die Maxwell-Hertzschen Gleichungen als Grundlage für die elektromagnetische Lichttheorie. Die aus ihnen gefolgerten Gesetze für die Fortpflanzung ebener elektromagnetischer Wellen ergeben das Maxwellsche Gesetz für die Brechungsexponenten, aber noch keine Dispersion. Um diese zu erklären, werden resonierende Teilchen im Dielektrikum angenommen (etwa leitende Moleküle). Man erhält dadurch die Geschwindigkeit abhängig von der Schwingungsperiode, ferner die Absorption bei gleicher Periode wie die der Eigenschwingung der Moleküle und die Beziehung zwischen Absorptionsstreifen und anomaler Dispersion. Dann geht der Vortragende auf die merkwürdigen Erscheinungen ein, die beim Durchgang des Lichtes durch ein Magnetfeld eintreten, die von Faraday entdeckte Drehung der Polarisationsebene und die von Zeemann entdeckte Vervielfältigung der Spektrallinien in Linienspektren. Prof. Voigt hat selbst vor kurzem eine neue Theorie dieser Erscheinungen gegeben, die in gleicher Weise den Faraday- wie den inversen Zeemann-Effekt erklärt, zugleich aber zu eigentümlichen Folgerungen führt, die durch das Experiment glänzend bestätigt wurden. Aus der Theorie folgt nämlich, dafs linear polarisiertes Licht, das parallel zu den Kraftlinien durch ein Magnetfeld geht, in unmittelbarer Nähe eines Absorptionsstreifens eine starke Drehung der Polarisationsebene erfahren mufs, während beim Durchgang senkrecht zu den Kraftlinien Doppelbrechung eintreten mufs. Die erstere Erscheinung ist von Macaluso und Corbino, ohne dafs sie Kenntnis von der Theorie hatten, entdeckt worden, die zweite hat Prof. Voigt selbst experimentell nachgewiesen. Alle diese Erscheinungen werden demonstriert. Im Anschlufs daran wurden noch die Hertzschen Versuche vorgeführt.

Prof. Ambronn, geodätische Demonstrationen. — Prof. Berthold, über neuere Ergebnisse auf dem Gebiete der physiologischen Botanik. — Prof. Ehlers, über die Morphologie des Schädels und den Ursprung der Säugetiere. — Prof. von Könen, über neuere Ergebnisse geologischer Forschungen in Bezug auf Schichtenfolge und Gebirgsbau. — Prof. E. Meyer, Demonstration des physikalisch-technischen Instituts. — Prof. Schilling, über die Hauptlehren der darstellenden Geometrie. —

Prof. Wagner, über die Biosphäre und über kartometrische Methoden. — Prof. Wiechert, Demonstration des geophysikalischen Instituts.

Aufserdem fand eine botanische und eine geologische Exkursion statt.

Dr. *E. Götting* (*Göttingen*).

Ferienkurse in Jena. Vom 2.—22. August d. J. finden neben allgemeinen Fortbildungskursen auch besondere Kurse für Lehrer der Naturwissenschaften an höheren Lehranstalten statt. Die letzteren dauern nur bis zum 15. August und umfassen: 1. Anleitung zu botanisch-mikroskopischen Arbeiten und pflanzenphysiologischen Experimenten, täglich $4\frac{1}{2}$ Stunde, Prof. Dr. Detmer. 2. Botanik, mit besonderer Berücksichtigung der Zweckmäfsigkeitseinrichtungen der Gewächse, täglich 1 Stunde, Prof. Dr. Detmer. 3. Physikalische Demonstrationen, täglich 1 Stunde, Prof. Dr. Straubel. 4. Die früheren Epochen der Erdgeschichte u. s. w. täglich 1 Stunde, Dr. Steuer. 5. Zeit- und Ortsbestimmung mit praktischen Übungen auf der Sternwarte, täglich 2 Stunden, Prof. Dr. Knopf. 6. Praktischer Kursus der Zoologie, täglich 2 Stunden, Prof. Dr. Ziegler. 7. Anleitung zu Untersuchungen mit Spektral- und Polarisationsapparaten, 3mal wöchentlich 2 Stunden, Dr. Gänge. 8. Übungen im Glasblasen, täglich 1 Stunde, Glasbläser Haak.

Anmeldungen und Prospekte durch das Sekretariat, Hugo Weinmann, Spitzweidenweg 4.

Verein zur Förderung des physikalischen Unterrichts zu Berlin.

Sitzung am 12. September 1898. Herr P. Johannesson hielt einen Vortrag über die Bestimmung von g im Schulunterricht und die Messung der Fluggeschwindigkeit eines Geschosses. Vgl. d. Zeitschr. *12, 6 u. 127; 1899.*

Sitzung am 22. Oktober 1898. Herr Ottsen hielt einen Vortrag über die Einrichtung des Berliner Vermessungsamtes und die in den Jahren 1876—1898 durchgeführte Neuvermessung Berlins.

Sitzung am 9. November 1898. Herr Wallenberg gab nach einem kurzen Hinweis auf die Versuche von Scheiner und Faber eine Erklärung des Le Catschen Versuchs, den er subjektiv beobachten liefs und auch mit Hülfe einer Camera objektiv vorführte. Er gab eine Anleitung zur Erzeugung farbiger Schatten auf der Netzhaut und zur Herstellung künstlicher Lichtpunkte und künstlicher Kurzsichtigkeit. — Herr H. Fürle hielt einen Vortrag über Rechenschieber; vgl. seine Abhandlung *„Zur Theorie der Rechenschieber". 9. Realschule zu Berlin, 1899, Programm No. 126.*

Sitzung am 21. November 1898. Herr P. Spies führte zwei Modelle vor, die nach dem Vorgange Kundts den Abfall des Potentials in einem Leiter gleichen und einem Leiter ungleichen Querschnitts durch die hydraulischen Drucke von Flüssigkeiten veranschaulichen, die durch eine Röhre gleichen und eine Röhre ungleichen Querschnitts strömen. Um der Flüfsigkeit einen Widerstand entgegenzusetzen, hatte er nach dem Vorgange der Wiener Urania die Röhren mit Porzellanschrot gefüllt. — Derselbe zeigte ein hydraulisches Modell der Wheatstonischen Brücke; vgl. d. Zeitschr. *XII 77; 1899.* — Herr P. Heitchen gab verschiedene Lösungen der Aufgabe: aus den gemessenen Werten der drei Verhältnisse dreier Werte das wahre Verhältnis der drei Gröfsen zu bestimmen. — Herr F. Körber zeigte, dass überschmolzenes essigsaures Natrium, in dem sich bereits Krystalle abgeschieden hatten, beim Hineinwerfen eines Krystalls vollständig erstarrte.

Sitzung am 5. Dezember 1898. Herr W. Niehls, dem es gelungen ist, hochgradige Thermometer aus Jenaer Hartglas herzustellen, die bis 575° C. brauchbar sind, erläuterte, wie man mit diesen Instrumenten, die über dem Quecksilber mit Kohlensäure von 30 Atmosphären Spannung gefüllt sind, Temperaturen bestimmt, wobei er eingehend die verschiedenen Verfahren behandelte, die Fehler zu verbessern, die der herausragende Faden in den Angaben dieser Thermometer bewirkt. Er zeigte die Herstellung eines einfachen Thermometers, wobei er die Auswahl des Glases, dessen Reinigung, das Blasen der Kugeln, die Füllung und das Abschmelzen eingehend erörterte. Er besprach die Herstellung der Einschlufsthermometer, der Maximalthermometer mit Stift oder Schleife und die Füllung der Thermometer mit Alkohol, Toluol und Petroläther.

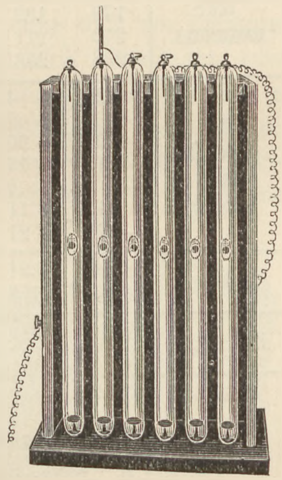
Sitzung am 23. Januar 1899. Herr P. Heitchen sprach über den Wert der Projektion und über die Eigenschaften der Projektionsapparate, die beim Ankauf besonders zu berücksichtigen sind. Er behandelte eingehend die zweckmäfsige Gröfse der Condensorlinsen, die Anordnung und Befestigung des Objektivs und die verschiedenen Lichtquellen. Er zeigte ein Skioptikon mit Äthersaturator und Intensivmischbrenner der Firma E. Liesegang zu Düsseldorf und ein neues billiges Druckreduzierventil von Th. Elkan. Er besprach die verschiedenen Herstellungsverfahren der Diapositive und erläuterte an einer Reihe projizierter Bilder die verschiedenen Fehler, die dabei gewöhnlich gemacht werden.

Sitzung am 6. Februar 1899. Herr Blasendorf demonstrierte eine Vorrichtung zum Nachweis des Kräfteparallelogramms, die darauf beruhte, daſs zwei Paar um zwei feste Punkte einer Stange drehbare Stäbe, von denen je zwei entsprechende durch parallele Fäden verbunden, stets ein Parallelogramm bilden. Die Vorrichtung ruhte auf einem über zwei Rollen geführten und an beiden Enden belasteten Faden, an dem das untere Stäbepaar befestigt war. Die Gröſse der an dem Faden wirkenden Kräfte konnte an den Einteilungen der Stange und der Stäbe abgelesen werden. Bei einer anderen ähnlichen Vorrichtung war der untere Drehpunkt auf der Mittelstange verschiebbar. Mit diesen Vorrichtungen lieſs sich die Zusammensetzung einer Kraft aus ihren Seitenkräften und die Zerlegung einer Kraft in ihre Seitenkräfte nachweisen. Eine dritte Vorrichtung, die auf demselben Grundgedanken beruhte, diente zum Nachweis des Kräftedreiecks und des Gesetzes der schiefen Ebene. Eine vierte Anwendung desselben Grundgedankens lieferte eine anschauliche Vorrichtung zum Beweise der Gesetze des Keils.

Mitteilungen aus Werkstätten.

Vakuum-Skala nach Cha's R. Cross.

Von Richard Müller-Uri in Braunschweig.



Diese Serie von 6 Röhren giebt ein klares Bild der fortschreitenden Luftverdünnung, wie man sie in dem mit der arbeitenden Quecksilberluftpumpe verbundenen Rohre beobachten kann. Es werden folgende Phasen mit ihren charakteristischen Phänomenen festgelegt:

No. 1	40	mm Quecksilberdruck	leuchtender Faden (de la Rive-Apparat)
- 2	10	- -	Verschwinden desselben
- 3	6	- -	Schichtenbildung
- 4	3	- -	Geissler-Vakuum
- 5	0,14	- -	Tesla-Vakuum
- 6	0,03	- -	Crookes-Vakuum (Röntgenstrahlen).

Zu dieser Serie ist ein einfaches Kastenstativ construiert worden, welches ebensowohl die gleichzeitige Vorführung der gesamten Serie, als die der Einzelröhren ermöglicht. Der Preis beträgt für die Röhren M. 24.—, für das Stativ M. 12.—.

Neue Röntgen-Röhre (D.R.G.-M. No. 115 874).

Von Richard Müller-Uri in Braunschweig.

Es ist bisher bei den zur Erzeugung von X-Strahlen verwendeten Vakuum-Röhren häufig als Mangel empfunden worden, daſs dieselben verhältnismäſsig sehr starke und hochgespannte Ströme erforderten. Dieser Übelstand hatte den andern im Gefolge, daſs jene Röhren beim medicinischen Gebrauch auf den Patienten äuſserst ungünstig einwirkten, indem sie Haarausfall erzeugten, ganze Hautparzellen zerstörten und andere derartige ungünstige Resultate herbeiführten. Ferner lag ein empfindlicher Nachteil darin, daſs alle Formen (auch die gegenwärtig noch zur Verwendung gelangenden) mit einer auſserordentlich starken Streuung behaftet sind.

Diesen Mängeln soll durch eine zweckentsprechende Röhrenconstruktion abgeholfen werden, die sich bisher im Gebrauch vorzüglich bewährt hat. Die Form der neuen Röhre ist eine lang gestreckte und daher für die verschiedenartigste Einstellung bei Durchleuchtungen vorzüglich geeignete. Die cylindrische Kathoden-Hälfte ist ebenso lang als die conische Anoden-(Reflektor-)Hälfte, welche unten kugelförmig abschlieſst. Der Reflektor wirkt als Nebenanode, während die Hauptanode, ein Ring aus Aluminiumdraht, ihr gegenüber eingeblasen ist. Die ausgesandten Kathodenstrahlen passieren zunächst die ringförmige Hauptanode, treffen in der Nähe des Reflektors zusammen und werden von diesem nach auſsen reflektiert. Die Streuung ist eine auſserordentlich geringe und infolge dessen wird die be- oder durchleuchtete Strecke sehr wirksam bestrahlt. Es wurden beim Durchleuchtungs- oder Bestrahlungsverfahren mit Strömen von 12 bis 16 Volt, 1 bis 1,5 Ampere, Wirkungen erzielt, welche sonst bei doppeltem und höherm Stromverbrauch nicht erreicht wurden. Der Preis beträgt M. 20.—

Himmelserscheinungen im August und September 1899.

☾ Mond, ☿ Merkur, ♀ Venus, ♁ Erde, ☉ Sonne, ♂ Mars,
♃ Jupiter, ♄ Saturn. — ☌ Conjunktion, □ Quadratur, ☍ Opposition.

	August						September						
Monatstag	3	8	13	18	23	28	2	7	12	17	22	27	
Helio-centrische Längen.	275°	289	305	323	343	6	33	63	94	124	151	173	☿
	102	110	118	126	134	143	151	159	167	175	183	191	♀
	311	316	320	325	330	335	340	345	349	354	359	4	♁
	206	209	211	213	216	218	221	223	226	228	231	233	♂
	223	223	224	224	224	225	225	226	226	226	227	227	♃
	262	262	262	262	263	263	263	263	263	263	263	264	♄
Aufst. Knoten.	267	267	267	266	266	266	266	265	265	265	264	264	☾
Mittl. Länge.	93	159	225	291	357	63	129	195	261	326	32	98	☾
Geo-centrische Rekt-ascensionen.	98	157	214	288	0	68	132	188	252	326	36	104	☾
	154	154	151	148	144	143	144	149	156	165	173	182	☿
	121	129	134	140	146	152	158	164	170	176	181	187	♀
	133	138	143	148	152	157	161	166	170	175	179	184	☉
	179	182	184	187	190	193	196	199	202	206	209	212	♂
	210	211	212	212	213	214	214	215	216	217	218	219	♃
	256	256	256	256	256	256	256	256	256	257	257	257	♄
Geo-centrische Dekli-nationen.	+22	+4	−18	−21	+5	+23	+14	−9	−23	−9	+18	+21	☾
	+7	+6	+7	+8	+10	+12	+13	+13	+11	+8	+5	+1	☿
	+21	+20	+18	+17	+15	+13	+11	+8	+6	+3	+1	−2	♀
	+18	+16	+15	+13	+11	+10	+8	+6	+4	+2	+0	−2	☉
	+1	−0	−1	−3	−4	−5	−7	−8	−9	−11	−12	−13	♂
	−11	−11	−12	−12	−12	−12	−13	−13	−13	−14	−14	−14	♃
	−21	−21	−22	−22	−22	−22	−22	−22	−22	−22	−22	−22	♄
Aufgang.	16^{h}26^m	16.34	16.42	16.50	16.59	17.7	17.15	17.24	17.32	17.40	17.49	17.57	☉
	14^{h}14^m	19.53	0.35	5.34	7.33	10.12	15.28	21.12	1.50	4.54	6.49	11.3	☾
Untergang.	7^{h}47^m	7.38	7.28	7.18	7.7	6.56	6.45	6.33	6.21	6.9	5.57	5.46	☉
	6^h 3^m	7.47	9.19	14.11	21.33	2.30	5.22	6.42	9.24	16.6	23.7	2.36	☾
Zeitglchg.	+5^{m}59^s	+5.28	+4.43	+3.43	+2.31	+1.8	−0.23	−2.2	−3.45	−5.31	−7.17	−9.0	☉

Daten für die Mondbewegung (in mitteleuropäischer Zeit):

August	6	0^h	48^m	Neumond
	6	11		Mond in Erdferne
	14	0	54	Erstes Viertel
	20	11		Mond in Erdnähe
	20	17	45	Vollmond
	27	12	57	Letztes Viertel
September	2	14^h		Mond in Erdferne
	4	16	33^m	Neumond
	12	10	49	Erstes Viertel
	17	20		Mond in Erdnähe
	19	1	31	Vollmond
	26	4	3	Letztes Viertel
	30	1		Mond in Erdferne

		☿	♀	♂	♃	♄
Aufgang der Planeten.	Aug. 16	17^{h}35^m	15.52	20.54	23.29	3.25
	Sept. 15	16. 14	17.30	20.50	21.57	1.29
Untergang der Planeten.	Aug. 16	7. 1	7.12	8.38	9.30	11.27
	Sept. 15	6. 4	6.24	7.10	7.40	9.29

Constellationen. August 5 1^h ♀ ☌ ☾; 7 17^h ☿ ☌ ☾; 10 9^h ♂ ☌ ☾; 12 19^h ♃ ☌ ☾; 15 23^h ♄ ☌ ☾; 18 22^h ☿ untere ☌ ☉; 20 4^h ♀ im Perihelium; 21 10^h ♃ Stillstand. — September 3 4^h ☿ ☌ ☾; 4 15^h ♀ ☌ ☾; 4 20^h ☿ in gröfster westl. Elongation von 18°; 8 2^h ♂ ☌ ☾; 9 8^h ♃ ☌ ☾; 9 21^h ♄ □ ☉; 12 7^h ♄ ☌ ☾; 15 21^h ♀ obere ☌ ☉, wird Abendstern; 22 19^h ☉ im Zeichen der Wage, Herbst-Nachtgleiche; 30 17^h ☿ obere ☌ ☉.

Jupitermonde. August 1 8^{h}44^m I A; 19 7^{h}44^m II E. — September 13 7^h 6^m II A.

Veränderliche Sterne. Algols-Minima lassen sich beobachten: Aug. 2 13^h, 5 9^h, 22 14^h, 25 11^h, 28 8^h; Sept. 14 13^h, 17 10^h, 20 6^h. — Die Mitternachtsdämmerung ist für Norddeutschland am 26. Juli erloschen. Mira geht im August in den späten Abendstunden auf, im September entsprechend früher. Die Sterne β und *R Lyrae*, *η Aquilae*, α, *u*, *g Herculis*, δ und *μ Cephei* sind abends, ϱ Persei und ε Aurigae spät zu beobachten. Ganz spät kommen die Veränderlichen im Orion und in den Zwillingen herauf.

J. Plafsmann, Münster.

Verlag von Julius Springer in Berlin N. — Druck von Gustav Schade (Otto Francke) in Berlin N.