

## Experimentelle Bestimmung der Dielektrizitätskonstante einiger Gase.<sup>1)</sup>

(Wien. Ber. 69. S. 795—813. 1874 und Pogg. Ann. 155. S. 403. 1875.)

Als meine Bestimmungen der Dielektrizitätskonstante fester Isolatoren im allgemeinen die von Maxwell aus seiner Theorie gefolgerte Relation zwischen der Dielektrizitätskonstante und dem Brechungsquotienten bestätigten, ohne daß ich jedoch imstande gewesen wäre, eine so große Genauigkeit zu erzielen, daß die Richtigkeit jener Relation für eine größere Zahl von Substanzen außer Zweifel gestellt worden wäre, verfiel ich sogleich auf den Gedanken, daß dies vielleicht bei Gasen gelingen werde. Diese Erwartung hat mich nicht getäuscht. In der Tat zeigten die Wurzeln der Dielektrizitätskonstante der Gase eine sehr vollständige Übereinstimmung mit den Lichtbrechungsquotienten. Gase haben nämlich zahlreiche günstige Eigenschaften, die festen Körpern fehlen. Erstens isolieren sie ausgezeichnet und scheinen von der dielektrischen Nachwirkung völlig frei zu sein. Zweitens fällt bei ihnen die Schwierigkeit, den Raum zwischen den Kondensatorplatten kontinuierlich auszufüllen, Löcher im Innern des Dielektrikums hintanzuhalten usw. hinweg und ist auch ihre chemisch reine Darstellung eine leichtere. Drittens gibt es zahlreiche chemisch vollkommen definierte Gase, welche sich zur Untersuchung eignen, wogegen ich bisher nur einen hierzu geeigneten festen Körper (den Schwefel) finden konnte, der nicht, wie Paraffin, Harz, Hartgummi, ein schwer zu definierendes Gemenge wäre, und selbst beim Schwefel sind die zahlreichen allotropen Modifikationen sehr störend. Erschwert wird dagegen die Untersuchung der Gase dadurch, daß die Dielektrizitätskonstante aller Gase und

---

<sup>1)</sup> Vorläufiger Bericht über diese Arbeit Wien. Anz. 11. S. 96. 23. April 1874.

unter allen Drucken nahe gleich (also wenn man die der Luft gleich eins setzt, nahe gleich eins) ist, wie schon Faraday nachwies (Exp. res. 11; Pogg. Ann. 47). Mit 18 Daniellschen Elementen ist da durchaus nichts zu machen. Ich verschaffte mir daher eine Batterie von 300 Daniellschen Elementen; erst mit dieser konnte ich hoffen, wahrnehmbare Ausschläge zu erhalten.

1. *Grundidee.* Der Methode, welche ich zur Bestimmung der Dielektrizitätskonstante von Gasen einschlug, liegt folgende Idee zugrunde. Ich verschaffte mir zwei wohlisolierte Kondensatorplatten  $d$  und  $e$ , die sich unter einem Rezipienten befanden, durch den natürlich die Zuleitungsdrähte isoliert hindurchgingen. Ich verband die Platte  $e$  mit der Erde, die Platte  $d$  mit dem Elektrometer. Pumpte ich nun rasch das Gas unter dem Rezipienten, also auch zwischen den Kondensatorplatten (bis auf einige Zentimeter Quecksilberdruck) aus, so zeigte das Elektrometer nicht den mindesten Ausschlag, ebensowenig, wenn das Gas wieder einströmte; die durch die Gasbewegung erzeugte Reibung veranlaßte also keine Elektrizitätsentwicklung. Nun lud ich die Platte  $e$  mit etwa 300 Daniellschen Elementen, z. B. positiv. Dabei lag (was bei dem früher beschriebenen Prozesse natürlich nicht der Fall war) auf dem von der Platte  $d$  zum Elektrometer führenden Drahte  $l$  ein anderer mit der Erde verbundener Draht  $m$ , so daß also die positive Elektrizität der Platte  $d$ , weil sie von der positiven Elektrizität der Platte  $e$  abgestoßen wurde, zur Erde abfloß; dagegen wurde negative auf der Platte  $d$  gebunden. Jetzt erst wurde der Draht  $m$  gehoben, also das Elektrometer, welches mit der Platte  $d$  leitend verbunden blieb, isoliert; da beide Kondensatorplatten sehr gut isoliert waren, so erfolgte kein Ausschlag (dies war der Prüfstein der guten Isolation). Fügte man dagegen jetzt zu den 300 ladenden Daniellschen Elementen noch eins hinzu, so wurde die Platte  $e$  noch ein wenig stärker positiv geladen, daher noch etwas mehr positive Elektrizität der Platte  $d$  abgestoßen; dieser Überschuß konnte jetzt nicht mehr zur Erde abfließen, sondern bewirkte einen positiven Ausschlag  $\beta$  des Elektrometers (etwa 60 Skalenteile). Wurde jenes Element wieder weggenommen, so daß die Platte  $e$  wieder wie zu Anfang mit 300 Daniellschen Elementen ge-

laden war, so kehrte das Elektrometer wieder in seine Ruhelage zurück. Wurde nun rasch das Gas zwischen den Kondensatorplatten verdünnt, so zeigte das Elektrometer wieder einen Ausschlag und zwar einen negativen  $-\alpha$  ( $\alpha$  sei sein Absolutwert, etwa acht Skalenteile). Das Gas erzeugt durch Reibung an den Platten, wenn diese vorher unelektrisch waren, keine Elektrizität; schließt man den sehr unwahrscheinlichen Fall aus, daß die Reibung bedeutend mehr Elektrizität entwickle, wenn die Platten schon vorher elektrisch waren, so kann der Ausschlag  $-\alpha$  nur daher rühren, daß Gas von normaler Dichte stärker dielektrisch polarisiert ist als verdünntes. Durch ein Abreißen elektrischer Gasteilchen von den Platten kann derselbe nicht erklärt werden; denn während die positive Elektrizität, die etwa von der Platte  $e$  durch abgerissene Gasteilchen entfernt worden wäre, durch die Batterie sogleich wieder ersetzt würde, so müßte die negative von der Platte  $d$  abgerissene durch die im Elektrometer vorrätige Elektrizität ersetzt werden; es müßte also negative vom Elektrometer zur Platte  $d$ , also umgekehrt positive von der Platte  $d$  zum Elektrometer strömen, was im Elektrometer einen positiven Ausschlag erzeugen würde. Zudem kehrte, wenn man wieder Luft unter den Rezipienten einströmen ließ, daß Elektrometer augenblicklich wieder in seine Ruhelage zurück, während es bei der schlechten Leistungsfähigkeit der Gase lange Zeit gebraucht haben müßte, bis die Elektrizität wieder in die Gasschicht eingedrungen wäre. Daß der Ausschlag  $-\alpha$  auch nicht dadurch bewirkt wurde, daß sich der ganze Kondensator durch die Druckverminderung etwas deformierte und infolgedessen die Distanz der Platten etwas verändert wurde, geht schon aus der großen Verschiedenheit des Ausschlages  $-\alpha$  für verschiedene Gase hervor (für Äthylen ist er fünfmal so groß als für Wasserstoff). Zudem wurde es noch durch einen später zu beschreibenden Versuch konstatiert. — Es wird also der Ausschlag  $-\alpha$  in der Tat höchstwahrscheinlich dadurch veranlaßt, daß Gas von normaler Dichte eine größere Dielektrizitätskonstante als verdünntes hat. — Das verdichtete Gas ist also stärker dielektrisiert und infolgedessen bindet die positive Elektrizität der Platte  $e$  mehr negative auf der Platte  $d$ , solange verdichtetes Gas dazwischen ist. Wird dagegen das

Gas verdünnt, so wird negative auf der Platte  $d$  frei, welche zum Teil ins Elektrometer abfließt und daselbst den negativen Ausschlag  $\alpha$  erzeugt. Aus der Größe der Ausschläge  $\alpha$  und  $\beta$  kann die Größe der Veränderung der Dielektrizitätskonstante des Gases beim Auspumpen berechnet werden und, zwar in folgender Weise:

2. *Theorie der Berechnungsweise meiner Versuche.* Sei das Potential an dem Pole eines Daniellschen Elementes  $p$ , während der andere zur Erde abgeleitet ist. Dann wird in der Platte  $e$ , wenn dieselbe durch  $n$  Daniellsche Elemente geladen wird, das Potential  $np$  erzeugt. Durch Hinzufügen von noch einem Daniell wächst das Potential noch um  $p$  und wird der Ausschlag  $\beta$  erzeugt, welcher offenbar dem Potentialzuwachs proportional ist. (Davon, daß die Ausschläge wirklich mit genügender Genauigkeit den Potentialen proportional waren, mit denen man das Elektrometer lud, hatte ich mich vorher überzeugt, was ich „das Kalibrieren des Elektrometers“ nenne.) Um nun den mathematischen Ausdruck für den Ausschlag zu erhalten, den ich als Ausschlag  $-\alpha$  bezeichnet habe, verfährt man am kürzesten so. Wir denken uns die Platte  $e$  mit  $n$  Daniellschen Elementen geladen, so daß in ihr das Potential  $np$  herrscht, die Platte  $d$  aber mit der Erde verbunden, so daß in ihr das Potential Null herrscht; nun werde die Verbindung der Platte  $e$  mit der Batterie und die der Platte  $d$  mit der Erde aufgehoben, ohne daß die auf diesen Platten aufgehäuften Elektrizitätsmengen verändert werden. In diesem Zustande werde jetzt die Natur des Mediums, in dem sich die Platten befinden, verändert (z. B. das Gas, in dem sie sich befinden, ausgepumpt), so daß die Dielektrizitätskonstante dieses Mediums von  $D_1$  in  $D_2$  übergeht. In der Theorie der Dielektrizität wird folgender Satz bewiesen (vgl. Helmholtz, Borch. Journ. 72. S. 116): Sei ein Raum rings von einer leitenden Hülle umgeben; in demselben befinden sich irgendwelche geladene Leiter, während er sonst von einem dielektrischen Medium mit der Dielektrizitätskonstante  $D_1$  erfüllt ist. Wenn nun die Elektrizitätsmengen, die sich auf den Leitern und der Hülle befinden, keine Veränderung erfahren, und nur das Medium seine Dielektrizitätskonstante ändert (deren neuer Wert  $D_2$  heiße), so ist das Potential an jedem Punkte des

Raumes gleich dem mit  $D_1/D_2$  multiplizierten Potentiale, welches früher daselbst herrschte. Wo also früher das Potential Null war, dort ist es noch immer. War z. B. die Hülle früher mit der Erde verbunden, so ist der Zustand des Systems noch immer so, daß die Hülle ohne Elektrizitätsverlust mit der Erde verbunden werden kann. Es ändert also in diesem Falle an der Sache gar nichts, wenn die Hülle während des ganzen Prozesses mit der Erde verbunden war. Mein Kondensator war in der Tat rings von einer leitenden Hülle umgeben. Auf ihn ist also das zitierte Theorem anwendbar, wenn der Versuch so angestellt wird, daß während des Auspumpens beide Platten isoliert sind. Beim Auspumpen wird also in diesem Falle einfach an jeder Stelle das Potential  $D_1/D_2$  mal so groß. Auf der Platte  $d$  bleibt es daher Null. Verbindet man also diese Platte jetzt wieder mit dem Elektrometer, so erhält man keinen Ausschlag, was der Versuch vollkommen bestätigte. Auf der Platte  $e$  dagegen verwandelt sich das Potential in  $(D_1/D_2)np$ . Läßt man nun, nachdem der Kondensator in diesen Zustand gebracht worden ist, die Platte  $d$  mit dem Elektrometer verbunden und verbindet die Platte  $e$  wieder mit der Batterie, so steigt das Potential der letzteren wieder auf  $np$ , es wächst also um

$$np \left(1 - \frac{D_1}{D_2}\right).$$

Den Ausschlag, den dadurch das Elektrometer erfährt, nennen wir  $\alpha'$ . Wir sahen früher, daß der Potentialzuwachs  $p$  den Ausschlag  $\beta$  hervorruft und daß die Ausschläge den Potentialzuwachsen proportional sind; man hat also die Proportion:

$$(1) \quad \alpha' : \beta = np \left(1 - \frac{D_1}{D_2}\right) : p.$$

Die Richtigkeit dieser Proportion setzt voraus, daß sich die Verhältnisse, unter denen sich der Kondensator befindet, nur sehr wenig verändert haben, daß sich also namentlich die Dielektrizitätskonstante  $D_1$  nur wenig verändert hat, was bei mir immer der Fall war. Es ist klar, daß man ganz denselben Ausschlag  $\alpha'$  erhalten hätte, wenn auch während des Auspumpens die Platte  $e$  mit der Batterie, die Platte  $d$  mit dem Elektrometer verbunden gewesen wäre;  $\alpha'$  ist also identisch mit dem früher mit  $-\alpha$  bezeichneten Ausschlage. Sein

negatives Zeichen rührt daher, daß die Verdünnung die Dielektrizitätskonstante des Gases vermindert, daß also  $D_2 < D_1$  und  $1 - (D_1/D_2)$  negativ ist. In der Proportion (1) kann also  $\alpha' = -\alpha$  gesetzt werden und dann folgt aus derselben

$$(2) \quad \frac{D_1}{D_2} = 1 + \frac{\alpha}{\beta n}.$$

Wir werden später sehen, daß der Zuwachs der Dielektrizitätskonstante innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler dem Zuwachse des Druckes des Gases proportional ist. Nehmen wir also an, wenn der Gasdruck um 760 mm Quecksilber steigt, so wachse die Dielektrizitätskonstante um das  $\lambda$ -fache ihres ursprünglichen Betrages. Wir müssen dann setzen:

$$D_1 = C \left( 1 + \frac{\lambda b_1}{760} \right), \quad D_2 = C \left( 1 + \frac{\lambda b_2}{760} \right),$$

wo  $b_1$  und  $b_2$  die in Millimeter Quecksilber gemessenen Gasdrucke vor und nach dem Auspumpen sind. Da  $\lambda$  sehr klein ist, so können wir setzen

$$\frac{D_1}{D_2} = 1 + \frac{\lambda(b_1 - b_2)}{760}.$$

Die Formel (2) verwandelt sich also in

$$(3) \quad \lambda = \frac{\alpha \cdot 760}{\beta n (b_1 - b_2)}.$$

Dabei ist  $\lambda$  der Quotient der ursprünglichen Dielektrizitätskonstante des Gases in den Zuwachs, welchen dieselbe erfährt, wenn der Druck des Gases bei unveränderter Temperatur um 760 mm Quecksilber wächst. Wenn angenommen wird, daß die Proportionalität des Zuwachses der Dielektrizitätskonstante mit dem Druckzuwachs bis zur absoluten Evakuierung gültig sei, so hat die Größe  $\lambda$  eine noch einfachere Bedeutung. Dann ist nämlich

$$(4) \quad 1 + \lambda = D_{760},$$

wobei  $D_{760}$  die Dielektrizitätskonstante des Gases beim Drucke 760 mm ist, wenn die des absoluten Vakuums gleich eins gesetzt wird.

Wenn die Magnetisierungskonstanten mit hinlänglicher Genauigkeit gleich sind, was, wie sich leicht zeigen läßt, bei Gasen in der Tat der Fall ist, so ist nach Maxwells Theorie das Verhältnis der Lichtbrechungsquotienten zweier Substanzen

die Quadratwurzel aus dem Verhältnisse ihrer Dielektrizitätskonstante; da für Gase diese Verhältnisse sehr nahe gleich sind, so ist der Zuwachs der Lichtbrechungsquotienten halb so groß als der der Dielektrizitätskonstanten unter denselben Verhältnissen; eine Relation, welche meine Versuche bestätigen.

Wiewohl die Schlüsse, durch welche wir fanden, daß die von mir gefundene Größe in der Tat die Dielektrizitätskonstante ist, ziemlich einwurfsfrei sein dürften, so wäre es doch wünschenswert, Versuche zu machen, bei denen das Gas nicht während des Versuches ausgepumpt wird, sondern einmal die Kapazität des leeren, dann die des gaserfüllten Kondensators mit der eines Eichkondensators nach meiner älteren Methode verglichen wird. Derartige Versuche, bei denen immer die durch das Laden der einen Platte auf der anderen frei werdenden Elektrizitätsmengen in beiden Kondensatoren zu vergleichen wären und beide Kondensatoren fast genau dieselbe Kapazität haben müßten, scheinen mir durchaus nicht unausführbar und ich werde sie, sobald es meine Muße erlaubt, in Angriff nehmen.

Ich gehe nun zu einer kurzen Beschreibung der wesentlichsten Apparate über, die mir bei meiner Untersuchung dienten. Ich bemerke, daß die Figuren, welche ich hier von den Apparaten geben werde, nur als schematische aufzufassen sind, wobei minder wesentliches, um allzugroße Komplikation derselben zu vermeiden, weggelassen wurde. Die Beschreibung mit Angabe aller Details werde ich baldmöglichst in der ausführlichen Abhandlung folgen lassen.

3. *Das Elektrometer.* Da ich leider kein Thomsonsches Quadrantelektrometer zur Verfügung hatte, so suchte ich ein Kirchoffsches Vorlesungselektrometer, so gut es anging, in ein Präzisionsinstrument umzuwandeln. Ich verklebte zu diesem Zwecke die zahlreichen Löcher dieses Instrumentes und umgab es mit einem (mit einem Fenster versehenen) Pappkasten. Dadurch wurden Luftströmungen im Innern so sehr vermieden, daß bei einigermaßen solider Aufstellung selbst die kleinen Ausschläge, die ich zu beobachten hatte, mit ziemlicher Sicherheit abgelesen werden konnten. Die Quadranten schraubte ich auf einen Hartgummiring fest und ließ dann alle vier gleichzeitig eben abschleifen. Ferner legte ich auf zwei Quadranten

ganz nahe zum Schlitze, welcher sie trennte, zwei Kupferdrähte. Die Elektrizität, welche durch den elektrisierten Aluminiumdraht in diesen Kupferdrähten influenziert wurde, lieferte die Kraft, die den Aluminiumdraht in einer bestimmten Ruhelage festhielt. Den Aluminiumdraht selbst hing ich an einem einzigen sehr feinen Kokonfaden auf und verband ihn durch einen haarfeinen Platindraht, der durch eine kleine zugeschmolzene, mit Quecksilber gefüllte Glaskugel beschwert war, mit der geladenen Schwefelsäure. Um diesem feinen Platindrahte mehr Halt zu verleihen, steckte er größtenteils in einem feinen Glasfaden. Die Kirchhoffsche, zur Projektion bestimmte Ablesevorrichtung vertauschte ich mit der gewöhnlichen Spiegelablesung mit Fernrohr.

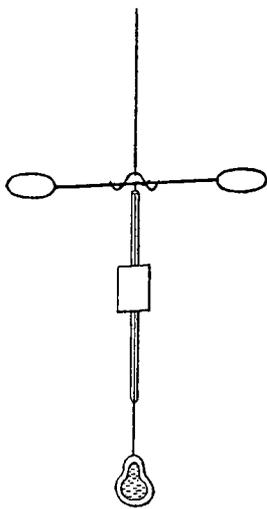


Fig. 1.

dünnem Spiegelglas, ziemlich klein, namentlich sehr schmal, vergrößerte das Trägheitsmoment nicht merklich und lieferte bei guter Beleuchtung doch vortreffliche Bilder. Das Fernrohr hatte die Distanz 1880 mm vom Spiegel, die Skala war in Millimeter geteilt. Der ganze bewegliche Teil (Wagebalken) des Elektrometers ist in Fig. 1 dargestellt. Die Dämpfung war nicht sehr groß und ich wartete mit der Ablesung niemals, bis der Wagebalken zur Ruhe gelangt war, sondern berechnete die Ablenkung immer aus den drei ersten Umkehrpunkten, ebenso die darauffolgende Ruhelage, was größere Genauigkeit liefert, als eine zu starke Dämpfung.

4. *Die Batterie.* Jedes meiner Daniellschen Elemente bestand aus zwei Probegläschen, in einigen Linien Distanz voneinander, deren untere Hälften in Paraffin eingeschmolzen waren. Das eine war mit Kupfervitriol, das andere mit Zinkvitriol gefüllt. Beide Flüssigkeiten standen durch einen heberförmig gekrümmten feinen Glasfaden in Verbindung, der ebenfalls mit Zinkvitriol gefüllt war. In den Kupfervitriol tauchte ein Kupferdraht, in den Zinkvitriol ein Zinkdraht; der Kupfer-

draht war mit dem Zinkdrahte des vorhergehenden, der Zinkdraht mit dem Kupferdrahte des nachfolgenden Elementes zusammen- gelötet. Zwei Ele- mente der Batterie sind in Fig. 2 dar- gestellt.

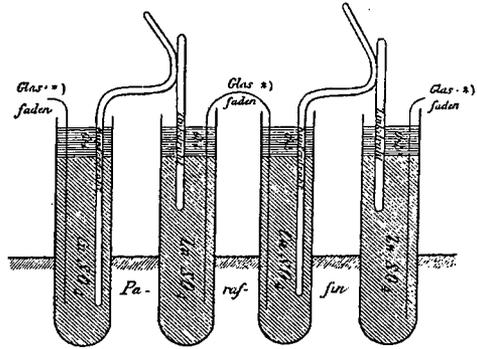
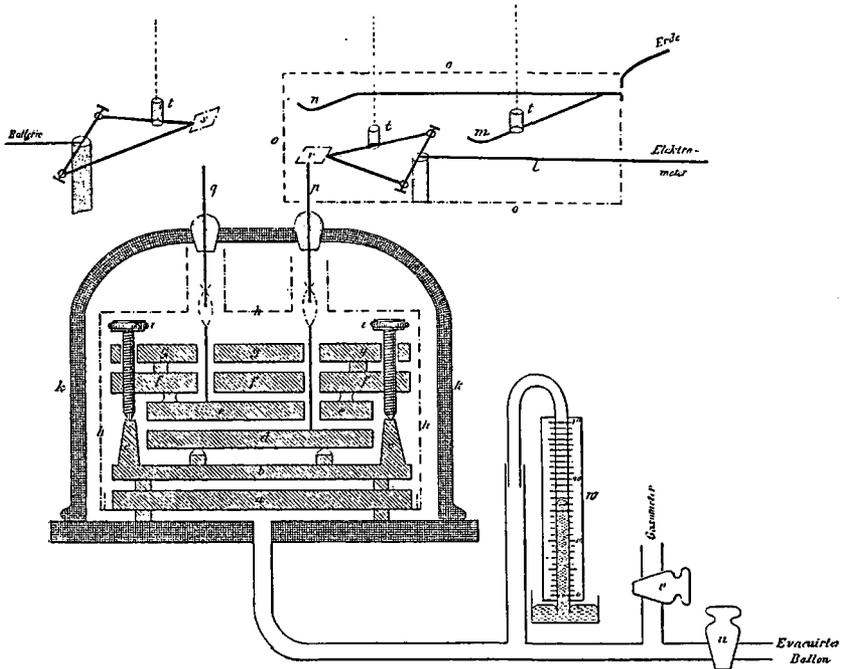


Fig. 2.

5. Der Kondensator ist in Fig. 3 im Querschnitte ge- zeichnet. Er bestand aus sechs kreisrunden Messingscheiben *a, b, d, e, f, g*. Die Platten *d* und *e* waren die eigentlichen Kondensatorplatten



In Fig. 3 bedeutet

--- Messingblech, — steifer Kupferdraht, ..... Bindfaden  
 ▨ Messiges Messing, ▩ Glas, □ Schellack.

Fig. 3.

(identisch mit den schon früher in gleicher Weise bezeichneten). Die Platte  $d$  konnte durch den Zuleitungsdraht  $p$ , die Platte  $e$  durch den Zuleitungsdraht  $q$  geladen werden.  $d$  ruhte auf drei kleinen Schellackstücken, die auf kleine Messingwürfel aufgeschmolzen waren. Jene Messingwürfel standen auf der Platte  $b$ . Die Platte  $e$  dagegen wurde von oben mittels dreier kleiner Schellackstücke getragen, die an ihr und der Platte  $f$  angeschmolzen waren. Distanz der Platte etwa 1 mm, Dicke 4—5 mm, Durchmesser 160 mm.

Die Platte  $f$  ruhte auf drei verstellbaren Schrauben  $i$ , welche sich auf die drei Messingansätze  $c$  der Platte  $b$  stützten. (In der Fig. 3 sind immer nur zwei Schrauben  $i$ , zwei Messingansätze  $c$  usw., und zwar nicht in der richtigen relativen Lage gezeichnet. In Wirklichkeit bildeten die drei Schrauben, wie man leicht begreifen wird, die drei Ecken eines gleichseitigen Dreiecks.) Die unterste und oberste Platte  $a$  und  $g$  waren durch kleine dazwischengelegte Messingstücke von den folgenden Platten  $b$  und  $f$  getrennt und hatten nur den Zweck, die Wärme, die sich bei Verdichtung der Gase entwickelt, abzuleiten, welche sonst möglicherweise die beiden Seiten der Platten  $b$  und  $f$  verschieden erwärmt und letztere Platten dadurch etwas deformiert hätte. Um den Kondensator vor äußeren elektrischen Einflüsse zu schützen, war er von einem Gehäuse  $h$  aus dünnem Messingbleche umgeben. Darüber stand erst der Rezipient  $k$ . Die Zuleitungsdrähte  $p$  und  $q$  gingen durch Schellackstöpsel; das Gehäuse, sowie die Platte  $a$ ,  $b$ ,  $f$  und  $g$  waren sorgfältig leitend mit der Erde verbunden.

Bei einer Versuchsreihe legte ich drei kleine Schellackstücke zwischen die Platten  $d$  und  $e$  (und zwar so, daß sie sich ganz am Rande der Platten, nicht unter denjenigen befanden, die früher die Platte  $e$  getragen hatten) und schraubte dann die Schrauben  $i$  so weit zurück, daß sie die Messingstücke  $c$  nicht mehr berührten. Jetzt wurde also die Platte  $e$  nicht mehr getragen, sondern ruhte auf der Platte  $d$ . Ich erhielt auch bei dieser Versuchsreihe fast denselben Wert von  $\lambda$  aus Formel (3), was beweist, daß die Distanzänderung der Kondensatorplatten infolge der Deformation durch Druckänderung keinen wesentlichen Einfluß auf den Ausschlag  $-\alpha$  hat, denn diese Distanzänderung mußte jetzt offenbar eine ganz andere sein.

6. *Die Zuleitungsdrähte.* Mittels der horizontalen, an passende Kupferdrähte, die sich wie Scharniere um andere Drähte schlangen, angelöteten Messingbleche  $s$  und  $r$  konnte die Platte  $e$  mit der Batterie geladen, die Platte  $d$  aber mit dem Elektrometer verbunden werden. (Die Messingbleche  $s$  und  $r$  und was damit zusammenhängt, ist in Fig. 3 ausnahmsweise perspektivisch gezeichnet.) War das Messingblech  $r$  ganz abgehoben, so berührte es einen mit der Erde verbundenen Draht  $n$ . War das Messingblech  $r$  gesenkt und wurde der Draht  $m$  herabgelassen (er berührte dann den Draht  $l$ ), so war die Platte  $d$  und das Elektrometer zur Erde abgeleitet. Die Hebung und Senkung der Messingbleche  $r$  und  $s$ , sowie des beweglichen Drahtes  $m$  geschah durch lange hölzerne Hebel; die einen Enden dieser Hebel konnten vom Beobachter, während er am Fernrohr saß, gehoben und gesenkt werden. An den anderen Enden waren durch Bindfaden Schellackzylinder  $t$  aufgehängt, die an passenden Orten an die zu bewegenden Drähte aufgeschmolzen waren. Das Messingblech  $r$ , der damit verlötete Draht und ein Teil des Drahtes  $l$  befanden sich ebenfalls (natürlich davon isoliert) in einer mit der Erde leitend verbundenen Metallschachtel  $o$ .

7. *Die Gasleitungen.* Die Ableitung des unter dem Rezipienten befindlichen Gases geschah durch Öffnen des Geisslerschen Hahnes  $u$ , der den Rezipienten mit einem großen evakuierten Ballon in Kommunikation setzte, die Zuleitung neuen Gases durch Öffnen des Hahnes  $v$ , der zum Gasometer führte (dabei war natürlich der Hahn  $u$  geschlossen). Das Gas durchstrich, während es vom Gasometer in den Rezipienten strömte, ein langes Chlorcalciumrohr und einen dichten Baumwollpfropf. Die Zeit des Ein- und Ausströmens betrug etwa  $\frac{1}{2}$  Minute. Ein Manometer  $w$  zeigte den im Rezipienten herrschenden Gasdruck an. Manometer und Hähne lagen ebenfalls im Bereiche des am Fernrohre sitzenden Beobachters.

8. *Elektrische Leitungsfähigkeit der Luft.* — Bevor eine Beobachtung begann, war schon tagelang das Messingblech  $s$  gesenkt, die Platte  $e$  also mit etwa 300 Daniellschen Elementen geladen gewesen. Ich prüfte zuerst, ob die beiden Kondensatorplatten  $d$  und  $e$  vollständig voneinander isoliert waren, indem ich zuerst das Messingblech  $r$  und den Draht  $m$

senkte, dann beide hob und nach Verlauf einer gewissen Zeit  $t$  das erstere wieder senkte. War  $t = 5$  Minuten, also viel länger als eine Beobachtung dauerte, so erfolgte nicht der mindeste Ausschlag, zum Zeichen, daß während dieser 5 Minuten keine Elektrizität von der geladenen Platte  $e$  auf die Platte  $d$  übergegangen war. Ich machte einige Versuche, bei denen  $t = 14$  Stunden war; dann zeigte das Elektrometer nach dem Senken des Bleches  $r$  einen Ausschlag von beiläufig 14 Skalenteilen. Da die Hinzufügung eines Daniellschen Elementes zur Ladung der Platte  $e$  einen Ausschlag von etwa 60 Skalenteilen bewirkte und die Platte  $e$  mit 300 Elementen geladen war, so war während 14 Stunden jedenfalls nicht mehr als der 1200. Teil der gesamten Ladung mitgeteilt worden. Ich vermute übrigens, daß auch dieser kleine beobachtete Ausschlag des Elektrometers nicht von Elektrizitätsleitung durch die Luft, sondern von einer Inkonstanz der Batterie herrührte. Aus diesen Daten ergibt sich der elektrische Leitungswiderstand der Luft für so kleine Spannungen jedenfalls größer als  $10^{26}$  mal so groß als der des Kupfers. Dieser so hohe Grad von Isolation konnte nur nach sorgfältiger Entfernung aller im Apparate enthaltener Härchen und Stäubchen erzielt werden, welche sonst von der Elektrizität angezogen, beide Platten überbrückten. Die Entfernung aller Stäubchen war unendlich mühsam; am besten gelang sie mir, indem ich alle Bestandteile des Apparates sehr glänzend polieren ließ, wo dann jedes Stäubchen sehr sichtbar ist und dann von jedem Bestandteile besonders unter einem eigens dazu konstruierten Glaskasten, in den ich durch passende Löcher meine nackten Arme steckte, bei heller Beleuchtung jedes einzelne Stäubchen mit dem Finger oder einem Drahte oder einer etwas gefetteten Schweinsborste entfernte. Auch verdünnte Luft und die übrigen Gase schienen ebenso gut zu isolieren, doch mangelte es mir an Zeit, dies genauer zu prüfen. Erst wenn der Druck der Luft auf etwa 3" Quecksilberdruck sank, hörte plötzlich alle Isolation auf; dann schienen also „Funken“ überzuspringen. Wasserstoff dagegen konnte ich bis auf 2" Quecksilberdruck verdünnen, ohne daß die Isolation aufhörte, was mich wunderte, da sonst im Wasserstoff die Schlagweite größer ist. Als die Schellackklötze zwischen den Platten waren, zeigte sich nach 14 Stunden

ein Ausschlag von 45 Skalenteilen, also auch reiner Schellack leitet bei so kleiner Oberfläche nicht merklich. Diese große, von mir beobachtete Isolationsfähigkeit der Gase scheint zu beweisen, daß der von Coulomb, Riess, Warburg u. a. beobachtete Elektrizitätsverlust von Drehwagen nicht den darin befindlichen Gasen zuzuschreiben ist.<sup>1)</sup> Ich überzeugte mich ferner, daß die Platten  $d$  und  $e$  auch sonst isoliert waren, sowie daß die Zuleitungsdrähte und die Elemente isoliert waren.

9. *Manipulation bei Beobachtung der Dielektrizitätskonstante der Gase.* Um diese Beobachtung auszuführen, waren wieder zuerst die beiden Messingbleche  $r$  und  $s$  und der Draht  $m$  gesenkt. Es wurde zuerst das Messingblech  $r$  und der Draht  $m$  gehoben. Dann ließ man das Gas ausströmen und senkte, wenn die Ausströmung vollendet war, wieder das Messingblech  $r$ , nicht aber den Draht  $m$ . Der Ausschlag, den jetzt das Elektrometer zeigt, ist der Anschlag  $-\alpha$  der Formel (3). Der Theorie nach ist es vollkommen gleichgültig, ob während des Ausströmens des Gases das Elektrometer schon mit der Platte  $d$  verbunden (also von der Erde getrennt), oder ob es während des Ausströmens noch mit der Erde verbunden und von der Platte  $d$  getrennt ist und erst zum Schlusse damit verbunden wird. Praktisch erschien mir die letztere Methode empfehlenswerter. Nachdem die abgelenkte Lage des Elektrometers aus drei Umkehrpunkten bestimmt war, senkte ich den Draht  $m$  und bestimmte die Ruhelage wieder aus drei Umkehrpunkten. Den Inbegriff aller dieser Operationen nenne ich einen Versuch. Nun wurde abermals Blech und Draht  $m$  gehoben und ich ließ wieder Gas einströmen. Nach Beendigung der Einströmung wurde wieder der Ausschlag  $\alpha$  wie früher bestimmt, womit dann der zweite Versuch beendet war usw. Die Formel (3) zeigt zunächst, daß die Quotienten, die man erhält, wenn man  $\alpha$  dividiert durch die Druckzunahme oder Abnahme  $b_1 - b_2$ , die dem Versuche vorherging, konstant sein müssen. Denn die Ladung der Leydnerflasche und damit  $\beta$  blieb sehr konstant. In der Tat war  $\alpha / (b_1 - b_2)$  innerhalb der Grenzen der

<sup>1)</sup> Von dem letzteren erhielt ich übrigens, ohne daß er von meinen Versuchen irgend etwas wußte, unlängst einen Brief, worin er mir mitteilte, daß auch er sich überzeugt habe, daß die Gase die Elektrizität nicht merklich leiten.

Beobachtungsfehler konstant, womit also bewiesen ist, daß der Zuwachs der Dielektrizitätskonstante dem des Druckes proportional ist, was übrigens nicht anders zu erwarten war.  $\beta$  wurde anfangs vor und nach jeder Versuchsreihe mehrmals bestimmt; da es sich jedoch als fast ganz konstant erwies, wurde es später bloß mehr für einige Versuchsreihen gemeinsam bestimmt. In der Formel (3) wurde dann für  $\alpha / (b_1 - b_2)$  der Mittelwert aller bei den einzelnen Versuchen einer Versuchsreihe gefundenen Werte dieser Größe, für  $\beta$  ebenfalls dessen Mittelwert eingesetzt und daraus  $\lambda$  berechnet. Um einen Begriff zu geben, inwieweit die einzelnen Versuche untereinander übereinstimmten, stelle ich die ausführlichen Daten der definitiven mit Luft angestellten Beobachtungsreihe in der folgenden Tabelle zusammen:

$b$	$4 \alpha$	$R$	$\frac{4 \alpha}{b_1 - b_2}$
675	35,5	303,7	0,0525
20	33,8	304,6	0,0516
660	32,7	305,1	0,0511
12	34,4	305,3	0,0531
647	30,4	305,5	0,0479
17	33,2	306,4	0,0527
635	31,4	302,8	0,0508
10	31,3	303,2	0,0501
622	—	—	—
10	34,5	303,7	0,0564
610	30,4	304,2	0,0507
5	31,3	304,4	0,0517
600	—	—	—
10	30,1	304,9	0,0510
588	—	—	—
10	26,5	305,4	0,0459
575	24,7	305,7	0,0437
27	29,0	305,8	0,0530
565	23,3	305,9	0,0433

Mittel 0,05034

Hier ist  $b$  der Manometerstand während der Beobachtung von  $\alpha$ . Für jedes  $\alpha$  ist also unter  $b_1$  der nächstvorhergehende Wert des  $b$ , unter  $b_2$  der neben dem betreffenden  $\alpha$  stehende zu verstehen; für das erste  $\alpha$  ist  $b_1$  gleich Null. Wenn man die  $\alpha$  alle mit positiven Zeichen nimmt, sind auch die Diffe-

renzen  $\pm (b_1 - b_2)$  positiv zu nehmen. Es wurde immer der vierfachen Wert des  $\alpha$  angegeben, weil die Berechnung des vierfachen Wertes aus drei Umkehrpunkten bequemer ist als die des einfachen; die Division durch 4 geschah dadurch, daß ich auch für  $\beta$  dessen 4fachen Wert setzte.  $R$  ist die Ruhelage, um welche zum Schlusse jedes Versuches das Elektrometer schwankte. Nach dem sechsten Versuche war das Fernrohr ein wenig verschoben worden. Drei Beobachtungen mißglückten, da ich dabei das Messingblech  $r$  und den Draht  $m$  aus Versehen falsch gestellt hatte. Da der von mir beobachtete Ausschlag so außerordentlich klein (acht Skalenteile) war, so war eine größere Übereinstimmung der Quotienten in der letzten Vertikalreihe, die nach der Theorie konstant sein sollten, kaum zu erwarten. Ich glaube aber, daß die Nichtübereinstimmung derselben mehr noch von der Inkonstanz der Batterie als von Luftströmungen oder anderen Störungen im Elektrometer stammt. Beide Störungsursachen müssen sich übrigens aus dem Mittel sehr vieler Versuche eliminieren.  $\beta$  wurde viermal bestimmt; es ergab sich  $4\beta$  gleich 238, 227, 238, 227, Mittel 232,5. Die Anzahl  $n$  der ladenden Daniellschen Elemente war 295. Die Substitution dieser Werte in die Formel (3) liefert für die Hälfte der Größe  $\lambda$  (welche ich in der Folge immer anführe, da sie sich am besten mit dem Lichtbrechungsquotienten vergleichen läßt) den Wert 0,000278. Bei der Mehrzahl der übrigen Gase zeigte sich eine erheblich größere Konstanz der Quotienten  $\alpha / (b_1 - b_2)$ , bei einigen eine noch geringere, je nachdem die Batterie konstanter oder weniger konstant wirkte. Bei einigen Versuchen mit Luft hatte ich eine größere Mannigfaltigkeit in den Werten von  $b_1 - b_2$ .

10. *Kalibrieren des Elektrometers.* Bei dieser Operation, d. h. bei Bestimmung, welchen Potentialen die verschiedenen Ausschläge desselben entsprechen, bediente ich mich der schon in der Abhandlung „Experimentelle Bestimmung der Dielektrizitätskonstante von Isolatoren“ (Wien. Ber. 67, Abt. II, 1873)<sup>1)</sup> beschriebenen Methode. Es zeigten sich die Ausschläge für meine gegenwärtigen Zwecke dem Potentiale genügend proportional, so daß die Anfertigung einer Korrektions-tabelle sich

<sup>1)</sup> Die Sammlung Nr. 24.

als überflüssig erwies. Da ein Daniellsches Element schon einen zu großen Ausschlag gab, suchte ich mir konstante Elemente von kleinerer elektromotorischer Kraft zu verschaffen; ich verwendete Zinkeisen- und Eisenkupferelemente, wobei jedes Metall immer in die Lösung seines schwefelsauren Salzes in Wasser tauchte. Dabei fand ich, daß derartige Zinkeisenelemente fast genau den dritten Teil, derartige Eisenkupferelemente aber  $\frac{2}{3}$  der elektromotorischen Kraft des Daniellschen Elementes haben, was mit Thomsons Bestimmungen der Verbindungswärme stimmt. Eine eingehendere Untersuchung der elektromotorischen Kraft derartiger, aus verschiedenen Metallen gebildeter Elemente schiene mir von Interesse zu sein.

11. *Zusammenstellung der Resultate.* Bei den ersten Versuchen, die ich anstellte, war die Aufstellung des Elektrometers eine ziemlich unsolide, auch war dasselbe nicht genügend vor Luftströmungen in seinem Innern verwahrt. Bei diesen Versuchen ergab sich für Luft bei fünf Versuchsreihen:

$$\frac{\lambda}{2} = 0,000283$$

257  
272  
289  
287

Für Wasserstoff bei zwei Versuchsreihen:

$$\frac{\lambda}{2} = 0,000136$$

114

Bei den beiden letzten mit Luft angestellten Versuchsreihen wurde die Platte *e* nicht von oben getragen, sondern ruhte durch Schellackstücke getrennt auf der Platte *d*. Der Wert des  $\lambda$  ist nicht merklich verschieden; doch ist er ein wenig größer, was möglicherweise darin seine Ursache hat, daß sich bei Verminderung des Druckes die Schellackstützen ausdehnten und daher die Kapazität des Kondensators nicht bloß infolge der Verminderung der Dielektrizitätskonstante der Luft, sondern auch infolge der Vergrößerung der Plattendistanz wuchs. Wird die Platte *e* von oben getragen, so ist eher eine Verkleinerung der Plattendistanz bei Abnahme des Druckes wahrscheinlich, da sich Schellack mehr als Messing ausdehnen dürfte. Nun erst schritt ich zu den definitiven Versuchen.

Die Werte von  $\lambda/2$ , die sich dabei für die verschiedenen Gase ergaben, sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt. Daneben stehen unter der mit  $\mu$  überschriebenen Rubrik die Zunahmen, welche der Brechungsquotient des betreffenden Gases durch eine Druckvermehrung von 760 mm erleidet und welche nach der Maxwell'schen Theorie gleich  $\lambda/2$  sein müssen. Die Werte von  $\lambda/2$  wurden bei Temperaturen beobachtet, die zwischen 15 und 17° C. lagen. Ich habe deshalb die Größen  $\mu$  für 16° C. berechnet und zwar aus den von Dulong ausgeführten Bestimmungen der Lichtbrechungsquotienten von Gasen.

	$\frac{\lambda}{2}$	$\mu$
Luft . . . . .	0,000 279	0,000 278
Kohlensäure . . .	0,000 446	0,000 424
Wasserstoff . . .	0,000 125	0,000 130
Kohlenoxyd . . .	0,000 325	0,000 321
Stickoxydul . . .	0,000 469	0,000 475
Ölbild. Gas . . .	} 0,000 604 0,000 633	0,000 641
Sumpfgas . . . .	0,000 445	0,000 419

Nimmt man an, daß die Proportionalität des Zuwachses der Dielektrizitätskonstante mit dem des Druckes bis zur absoluten Evakuierung gelte, so ist, wie bereits bemerkt,  $1 + \lambda$  die Dielektrizitätskonstante des Gases bei 760 mm Quecksilberdruck, wenn die des luftleeren Raumes gleich eins gesetzt wird; daher  $1 + \lambda/2$  ihre Quadratwurzel.  $\lambda$  sei bei der Temperatur  $t$  bestimmt worden;  $\alpha$  sei der bekannte Ausdehnungskoeffizient der Gase, also  $\alpha = 0,00366$ . Setzt man noch voraus, daß sich diese Quadratwurzel in derselben Weise mit der Temperatur verändert, wie der Lichtbrechungsquotient, mit dem sie ja nach Maxwells Theorie identisch ist, so ist  $1 + \lambda(1 + \alpha t)/2$  die Quadratwurzel der Dielektrizitätskonstante des Gases bei 0° C. und 760 mm Druck, wieder die des Vakuums gleich eins gesetzt. Letztere Dielektrizitätskonstante soll mit  $D_{0,760}$  bezeichnet werden. Ich lasse hier eine Zusammenstellung der Werte von  $\sqrt{D_{0,760}}$ , wie sie sich unter diesen Voraussetzungen aus den Werten des  $\lambda$  der vorigen Tabelle ergeben, mit den Lichtbrechungsquotienten  $i_{0,760}$  bei 0° C. unter 760 mm Druck folgen.

	$\sqrt{D_{0,760}}$	$\epsilon_{0,760}$
Luft . . . . .	1,000 295	1,000 294
Kohlensäure . . .	1,000 473	1,000 449
Wasserstoff . . .	1,000 132	1,000 138
Kohlenoxyd . . .	1,000 345	1,000 340
Stickoxydul . . .	1,000 497	1,000 503
Ölbild. Gas . . .	1,000 656	1,000 678
Sumpfgas . . . .	1,000 472	1,000 443

### 12. Einige ältere Versuche über die dielektrische Fernwirkung.

Ich erwähne schließlich einige noch in Graz angestellte Versuche über die dielektrische Fernwirkung. Ich selbst stellte noch einige Versuche mit Paraffinkugeln an. Die Methode war genau die in meiner Abhandlung „Über die elektrostatische Fernwirkung dielektrischer Körper“ (dieser Band Nr. 25) beschriebene. Auch die Größe der Paraffinkugeln war dieselbe. Doch war mit besonderer Sorgfalt darauf gesehen, daß dieselben möglichst genau die Kugelgestalt hatten. Die Abweichungen der Längen der verschiedenen Durchmesser wurden mit einem Mikroskope mit Okularmikrometer gemessen und die Rechnung ergab, daß, wenn die Kugel ein Ellipsoid gewesen wäre, dessen verschiedene Durchmesser dieselben Abweichungen gehabt hätten und dies Ellipsoid bei Berechnung der dielektrischen Fernwirkung als Kugel von gleichem Volumen in Rechnung gezogen worden wäre, dies keinen bemerkbaren Fehler veranlaßt hätte. Die beiden wirkenden Kugeln wurden alternierend geladen, wobei sie aber mit zwei Quadranten eines Kirchhoffschen Elektrometers verbunden waren; der bewegliche Teil (Wagbalken) dieses Elektrometers war nicht aus Aluminiumdraht, sondern aus einer halbleitenden Substanz (Pappe), so daß die alternierende Ladung auf ihn nicht wirkte, wohl aber mußte er durch den etwaigen Überschuß einer Elektrizität abgelenkt werden. Mittels dieser Vorrichtung wurde konstatiert, daß auch jener Überschuß keinen schädlichen Einfluß auf das Resultat haben konnte. Drei Versuchsreihen ergaben für die in der zitierten Abhandlung mit  $E$  bezeichnete Größe die Werte: 3,267, 3,213, 3,220, Mittel 3,233, woraus sich die Dielektrizitätskonstante des Paraffins gleich 2,343 ergibt.

Außerdem untersuchten die Herren Romich und Fajdiga, studd. phil. an der Grazer Universität, die dielektrische

Anziehung von Schwefelkugeln, die mit einer dünnen Harz- oder Paraffinschicht überzogen waren und von Paraffinkugeln, die mit einer Harzschicht bekleidet waren. Wenn die Schicht nicht zu dick war, so war die dielektrische Anziehung dieselbe, als ob jene Schicht nicht vorhanden gewesen wäre. Endlich untersuchten die genannten Herren noch vier Kugeln aus Kalkspat, Glas, Flußspat und Quarz. Die Dielektrizitätskonstanten dieser Substanzen stimmten nicht mit der Maxwell'schen Theorie, sondern lagen zwischen 5 und 8. Bei allen diesen Substanzen zeigte sich jedoch eine Abhängigkeit der Dielektrizitätskonstante von der Zeit der Einwirkung. Da diese nun bei den dielektrischen Versuchen nicht unter  $\frac{1}{500}$  Sekunde lag, bei den Lichtschwingungen aber viel kleiner als ein Billionstel Sekunde ist, so wird hieraus die Nichtübereinstimmung begreiflich.

Die ausführliche Beschreibung aller dieser Versuche wurde bisher durch meine Übersiedelung nach Wien und Mangel an Zeit sowohl von meiner Seite als auch von Seite jener Herren verzögert.

Zum Schlusse sage ich noch Herrn Professor Ludwig meinen wärmsten Dank, welcher mir in der zuvorkommendsten Weise die Arbeit dadurch erleichterte, daß er die Darstellung der zu meinen Versuchen notwendigen Gase übernahm.

