

JAN 25 1901

Sitzungsberichte

der

mathematisch-physikalischen Classe

der

k. b. Akademie der Wissenschaften

zu München.



1900. Heft I.

München.

Verlag der K. Akademie.

1900.

In Commission bei G. Franzmann, Verleger in Berlin.

Versuche mit flüssiger Luft.

Von Hermann Ebert und Berthold Hoffmann.

(Eingelaufen 26. März 1900.)

A. Elektrizitätserregung mit Hilfe von flüssiger Luft.

1. Füllt man flüssige Luft¹⁾ in ein Becherglas und hängt in dieselbe ein an einem Coconfaden befestigtes Metallstück, so erweist sich dieses, wenn man es nach einiger Zeit aus der flüssigen Luft herauszieht und an ein Elektroskop anlegt, stark negativ geladen. Wir haben diesen Versuch, welcher nie versagt, wenn die Luft in dem Glase schon einige Zeit gesiedet hat, und das isoliert aufgehängte Metallstück genügend lange in dieselbe eingetaucht war, mit Stücken von Aluminium, Eisen, Zink, Blei, Kupfer, Silber, Gold, Platin, Palladium, Zinn und Messing angestellt.

Aber auch Nichtleiter der Elektrizität nehmen solche Ladungen an, so: Siegellack, Glas, Holz, Gummi.

Auch wenn die genannten Substanzen an einem Seidenfaden direkt in die Dewar'sche Vacuumflasche, in der die Luft nur schwach siedet, hineingehängt werden, nehmen sie nach einiger Zeit die genannte negative Ladung an.

2. Ein einfacher Voltaeffect in Folge des Contactes der heterogenen Substanzen kann nicht die Ursache dieser Ladungen

¹⁾ Die bei den Versuchen benutzte flüssige Luft wurde uns in grösseren Mengen von der hiesigen Gesellschaft für Linde'sche Eismaschinen, speciell von der Abteilung für Luftverflüssigungs-Maschinen freundlichst zur Verfügung gestellt, wofür wir auch an dieser Stelle unseren besten Dank aussprechen.

sein; denn derselbe würde nur ein oder zwei Volt Spannung erzeugen können, während wir Hunderte von Volt Spannung an den eingetauchten Körpern maassen.¹⁾ Auch die niedrige Temperatur (-193° bis -183° C.) an sich kann nicht die Ursache der Elektrisierung sein. Eher könnte man an eine Elektrizitätserregung in Folge der heftigen Verdampfung der flüssigen Luft denken. Die Aenderung des Aggregatzustandes an sich kann aber schon nach den Untersuchungen Faraday's nicht die Ursache der beobachteten Spannungserscheinungen sein; denn in der berühmten 18. Reihe seiner Experimental-Untersuchungen²⁾ zeigt er an dem Beispiele des Wassers, dass die Elektrizitätserregung unabhängig von der Verdampfung oder der Aenderung des Aggregatzustandes ist (2083). Ferner weist er nach, dass trockene Luft in allen Fällen gänzlich unvernünftig ist, durch Reibung Elektrizität zu erregen (2132). Die flüssige Luft sowie das aus ihr verdampfende gasförmige

¹⁾ Bei diesen Spannungsmessungen ist nicht ausser Acht zu lassen, dass die Capacität c der eingetauchten Metallstücke meist sehr klein gegenüber der Capacität c' der anzuwendenden Messinstrumente ist ($c' > c$). Ist also der eingetauchte Körper durch Aufnahme der Elektrizitätsmenge E zu dem Potentiale $V = \frac{E}{c}$ geladen, so verteilt sich beim Anlegen desselben an das Elektrometer diese Ladung E auf einen Leiter von der Capacität $C = c + c'$, so dass die an dem nach Volt graduierten Elektrometer abgelesene Spannung $v = \frac{E}{C}$ zu klein ist, und die in dem Luftbad wirklich auftretende Spannung in dem Verhältnisse $\frac{V}{v} = \frac{C}{c} = 1 + \frac{c'}{c}$ grösser als die beobachtete ist. Da sich so kleine Capacitäten c , wie sie die hier verwendeten Versuchskörper haben, nur sehr schwer messen lassen, so verfährt man bei diesen Spannungsmessungen besser so, dass man das Elektrometer durch eine Trockensäule oder vielzellige Accumulatorenatterie bis auf ein bestimmtes negatives Potential ladet und zusieht, ob sich der Ausschlag beim Anlegen des aus der Luft kommenden Körpers vergrössert oder vermindert; im ersteren Falle hat der Körper höheres (negatives) Potential, im zweiten niedrigeres, und so kann man die wirkliche Spannung in immer engere Grenzen einschliessen.

²⁾ Experimental-Untersuchungen über Elektrizität von Michael Faraday, deutsche Uebersetzung von S. Kalischer, 2. Bd. S. 96. 1890.

Produkt muss aber als überaus trocken angesehen werden, da das Wasser bei so niederen Temperaturen weder als Dampf, noch als Flüssigkeit bestehen kann, sondern der verdampfenden Flüssigkeit als Eis von äusserst niedriger Dampfspannung beigemischt ist.

Wenn also auch tropfbar flüssiges Wasser dem Wasserdampfe oder der Luft beigemischt und durch seine gasförmigen Träger gegen feste Substanzen geblasen vermöge der Reibung an diesen nach Faraday zu einem starken Elektrizitätserreger wird, so kann dies hier dennoch nicht als Ursache der beobachteten Erscheinung herangezogen werden.

Dagegen könnte man vielleicht noch an eine Elektrisierung bei der Bereifung denken. Wird der Versuch, wie in § 1 angegeben ist, angestellt, so schlägt sich auf dem in der flüssigen Luft stark abgekühlten Körper, wenn man ihn herauszieht, um ihn dem Elektroskop zu nähern, sofort der Wasserdampf der umgebenden Luft als Reif nieder; dichte Nebel von condensiertem Wasserdampfe sinken dann von dieser Reifschicht herab. Dass auch hierin nicht die Ursache der Erregung liegen kann, wird schon durch die Bemerkung Faraday's wahrscheinlich gemacht, dass auch die Condensation von Wasser keine Elektrisierung hervorrufen kann (a. a. O. 2083). Um hierüber ganz sicher zu werden, haben wir Controlversuche mit fester Kohlensäure als Kühlmittel angestellt. Wenn dieselbe mit Aether vermischt auch nur Abkühlungen bis zu -80° C. zu erreichen gestattet, so erfuhren doch die gekühlten Präparate auch hier eine sehr starke Bereifung, und Nebelwolken senkten sich auf den seitlich von dem Elektroskopknopf herausragenden Metallarm, aber nicht die mindeste Elektrisierung war hierbei selbst an den empfindlichsten Instrumenten wahrzunehmen.

3. War nach den im Vorigen beschriebenen Controlversuchen eine direkte Wirkung der Bereifung bei der beobachteten Elektrisierungserscheinung ausgeschlossen, so konnte dieselbe doch möglicherweise indirekt mitgewirkt haben. Denn wenn der stark abgekühlte Körper sich mit einer Reif- oder

Eisschicht bedeckt, sowie er aus der flüssigen Luft herausgezogen wird, so könnte man zu der Vermutung neigen, dass die thatsächlich gefundene Divergenz der Elektroskopblättchen vielleicht einfach daher rühre, dass diese Eisschicht am Knopfe des Elektroskopes reibe und diesen negativ elektrisch mache, dass also die Vorgänge in der flüssigen Luft gar nichts mit der Elektrisierung selbst zu thun haben und diese nur als Kältemittel wirke. Dem gegenüber ist zu erwähnen, dass die eingetauchten Körper meist so stark elektrisiert aus dem Luftbade hervorgingen, dass sie schon durch Influenz, noch ehe sie das Elektroskop berührten, die Blättchen desselben zur Divergenz brachten.

Wiederholt man den Versuch oft mit demselben Körper, so bedeckt er sich allerdings schliesslich mit einer so dicken Schicht von Reif, dass nun andererseits die Vermutung ausgesprochen werden konnte, die eingetauchte Substanz spiele gar keine individuelle Rolle mehr, sondern die beobachtete Erscheinung brächte direkt eine negative Elektrisierung des Eises selbst zum Ausdruck. Es war daher geboten den Grundversuch bei völligem Ausschluss der Luftfeuchtigkeit und unabhängig von jeder Bereifung zu wiederholen. Wir haben daher eine Reihe von Versuchen in einem grossen Vacuum-Exsiccator angestellt, in den das Elektrometer sowie das Gefäss mit der flüssigen Luft selbst eingebaut waren; in ihm konnten die nötigen Hantierungen von aussen her mittels eines Glashebels verrichtet werden, der durch eine im Stopfen des Exsiccators sitzende Glasröhre hindurchging. Auf der Grundplatte der Exsiccatorlocke war ein grosses Gefäss mit concentrirter Schwefelsäure aufgestellt; auf diesem stand ein kleiner poröser Thonteller, auf dem Phosphorsäureanhydrid ausgestreut lag. Dieser Teller trug das für die flüssige Luft bestimmte Becherglas, das aussen mit einem Stanniolmantel umkleidet war, welcher durch einen durch den Stopfen isoliert hindurchgehenden Draht dauernd zur Erde abgeleitet war. Neben dem Schwefelsäuregefäss stand das Exner'sche Elektroskop, dessen Gehäuse an die genannte Erdleitung ebenfalls angeschlossen

war. Das Vorzeichen aller Ladungen konnte durch eine von aussen genäherte, geriebene Siegellackstange in jedem Falle leicht festgestellt werden. Der Gummi-Stopfen in dem 3,4 cm weiten Tubulus der Glasglocke war fünffach durchbohrt; durch die mittelste weiteste Durchbohrung ging ein Trichterrohr aus dünnem Messingblech in das Innere des Becherglases; hier wurde die flüssige Luft eingegossen. Eine zweite Durchbohrung trug eine Glasröhre, durch welche der oben genannte Glashebel geführt war. Dieser war im Innern der Glocke knieförmig umgebogen und trug an seinem zu einem Haken zusammengebogenen Ende an einem Bündel von Coconfäden den in die flüssige Luft einzusenkenden Körper. Da sich beim Verdampfen der Luft allmählich eine immer sauerstoffreichere Atmosphäre entwickelt, so wählten wir ein möglichst schwer oxydierbares Metall und hängten an den Glashebel ein dünnes Palladiumblech. Durch den Hebel konnte dieses in das Gefäss getaucht oder aus ihm herausgezogen werden; durch Drehen an dem Glashebel konnte es dann gegen einen Palladiumring geführt werden, der an einem Seitenarm des Elektroskopes befestigt war. So waren durch die Anwendung desselben Metalles Voltaeffecte möglichst ausgeschlossen; Thermoeffecte bei der Berührung des gekühlten Bleches und des Ringes von Zimmertemperatur waren natürlich nicht zu vermeiden; ihr Einfluss ist aber jedenfalls verschwindend klein.

In einer dritten Stopfendurchbohrung war ein Rohr befestigt, welches sich zu einem Chlorcalciumrohr erweiterte, das durch einen Hahn abschliessbar war. Ein anderes Rohr diente zum Abzug des aus der flüssigen Luft verdampfenden Gasgemisches, durch die letzte der fünf Stopfenöffnungen war ein Glasrohr gezogen, in welches die von dem Innern herausführende Erdleitung eingekittet war.

Zunächst wurde das Trichterrohr und alle anderen Oeffnungen durch Gummiverschlüsse luftdicht abgeschlossen, und die ganze Glocke durch das Chlorcalciumrohr hindurch vermittelst der Wasserluftpumpe evacuiert und dann abgeschlossen.

Vor jeder Versuchsreihe stand der Exsiccator längere Zeit

(bis zu acht Tagen) evacuiert, sodass die in ihm aufgestellten Trockenmittel alle Feuchtigkeit absorbiert hatten. Dann wurde durch das Trichterrohr aus der Dewar'schen Flasche Luft in das Gefäss gegossen und gleichzeitig das Abzugsrohr geöffnet. Da die Luft, sowie sie in das in dem Exsiccator stehende Sammelgefäss hinabgelangt, sofort sehr heftig aufsiehet, so entweicht vom ersten Momente an nur trockene Luft von innen nach aussen, aber es vermag nicht Feuchtigkeit enthaltende Luft von aussen nach innen zu dringen.

Wiewohl also bei allen in diesem Raume angestellten Versuchen Reif- und Nebelbildung vollkommen ausgeschlossen war, gelang doch der in § 1 beschriebene Versuch jederzeit, diese Nebenerscheinungen waren demnach nicht die Ursache der beobachteten Elektrisierung.

4. Nachdem gezeigt war, dass die Elektrizitätserregung in der flüssigen Luft selbst ihren Sitz habe, war es nötig näher zu prüfen, welchem Bestandteile derselben diese Wirkung zuzuschreiben sei. Neben den schon bei niedriger Temperatur allmählich verdampfenden Bestandteilen der reinen atmosphärischen Luft: Stickstoff, Argon und Sauerstoff enthält die flüssige Luft, wie sie von der Maschine geliefert wird, als Verunreinigungen noch Kohlensäure und Reste von Maschinenöl in festem Zustand. Im Laufe der Zeit gesellt sich aber auch Eis in reichlichem Maasse hinzu, da z. B. bei offen stehender Dewar-Flasche die Feuchtigkeit der Luft fortwährend als Schnee niedergeschlagen wird. Alle diese Beimengungen kann man aber durch Filtrieren der Luft leicht entfernen. Wir haben zunächst mehrere Versuche mit völlig reiner Luft angestellt, die ein in den Trichter der Exsiccatorglocke eingesetztes Papierfilter passiert hatte, ehe sie in das Versuchsgefäss im Inneren eintrat.

Diese Luft, die eine wundervoll bläuliche klare Färbung und das von K. Olszewski beschriebene Absorptionsspectrum mit den vier eigentümlichen Banden zeigt,¹⁾ giebt, selbst wenn

¹⁾ K. Olszewski, Wied. Ann. 33. p. 570. 1888.

sie z. B. am Anfange unmittelbar nach dem Eingiessen sehr heftig an den Gefässwänden und dem eingetauchten Körper emporschäumt, keine Spur einer Elektrisierung. Die Reibung der reinen flüssigen Luft vermag also weder Glas noch ein Metall durch Reiben elektrisch zu machen. Hierdurch wird das Faraday'sche Ergebnis (vgl. S. 108) bis zu Temperaturen von -193° hinab erweitert.

Um zu erkennen, welcher Bestandteil es nun ist, der bei nicht gereinigter, gewöhnlicher flüssiger Luft die beobachtete sehr starke Elektrisierung hervorruft, haben wir der reinen flüssigen Luft zunächst Kohlensäureschnee in reichlicher Menge beigesetzt. Hierbei war Vorsicht geboten; denn die feste Kohlensäure, wie sie der Bombe entnommen wird, zeigt immer eigene elektrische Ladung, meist eine positive. Wir haben daher grössere Stücke fester Kohlensäure zunächst zwischen zwei zur Erde abgeleiteten ebenen, dicken Zinkplatten zerkleinert, dann den fein zerriebenen Schnee am Elektroskop geprüft und erst wenn er sich gänzlich entladen zeigte in den Exsiccator geworfen. Alsdann zeigte sich keine Elektrisierung des eingetauchten Palladiumbleches, also auch die Spuren fester Kohlensäure, die immer der flüssigen Luft beigemischt sind und ihr das bekannte milchige Aussehen verleihen, sind nicht die Ursache der in § 1 geschilderten Erregungen.

Nun gingen wir dazu über der filtrierten flüssigen Luft Eis in möglichst fein verteiltem Zustande zuzusetzen. Dies war ausserordentlich schwierig, wenn dasselbe elektrisch völlig neutral in das Siedegefäss gelangen sollte. Denn jegliches Zerkleinern eines stark unterkühlten festen Eisstückes mit irgend einem Körper, Metall oder Nichtmetall würde dieses sehr stark positiv, das zerkleinernde Instrument negativ erregt haben (vgl. w. u. § 5 S. 115). Ja selbst als wir mittels eines Glaserstäubers einen feinen Sprühregen von destilliertem Wasser gegen die filtrierte flüssige Luft richteten, wobei sich in derselben kleine Eiskügelchen ansammelten, erwies sich das in ihr gebildete Eis als überaus stark positiv elektrisch geladen. Wir haben hier den Effect der Dampfelektrisiermaschine, von dem

Faraday nachgewiesen hat, dass er auf der Elektrisierung der Wassertröpfchen beruht, wenn diese durch einen Dampf- oder Luftstrahl gegen irgend einen Körper geschleudert werden. Das Wasser nimmt immer (von wenigen Ausnahmen abgesehen vgl. w. u.) positive Ladung an. Beim Reiben am Zerstäuber oder beim Auftreffen auf die flüssige Luft werden die Tröpfchen elektrisiert und bleiben es, wenn sie zu Eis erstarren.

Wir haben schliesslich fein verteiltes Eis von nicht zu starker positiver Ladung in der flüssigen Luft dadurch angereichert, dass wir einen langsamen Luftstrom, der mit dampfförmigen Wasser beladen war, z. B. den Athem (da ja bereits nachgewiesen war, dass die Kohlensäure das Phänomen nicht hervorbringt) gegen die flüssige Luft richteten; dann erschien die negative Ladung des eingetauchten Körpers und wuchs in dem Maasse, wie das die flüssige Luft mehr und mehr trübende Eis sich anreicherte. Es ist also die Reibung des in der flüssigen Luft enthaltenen Eises, welche den eingetauchten Körper negativ elektrisiert, das Eis selbst aber positiv.

5. Dass das in der flüssigen Luft schwimmende, stark unterkühlte Eis, wenn es durch die Strömungen und Wallungen in der Luft gegen feste Körper gerieben wird, die Ursache der oben beschriebenen Elektrizitätserregungen ist, wird noch durch einige andere Versuche bekräftigt. Die festen Reste, welche in den Siedegefässen zurückbleiben, wenn alle flüssige Luft verdampft ist, zeigen sich stets sehr stark positiv geladen und zwar unabhängig davon, ob das Abdampfen der Luft in einem Glasgefäss, in einem Gummibecher, der bei der Siedetemperatur der Luft steinhart wird, oder in einem Schälchen stattfindet, das aus Siegellack gepresst ist. Beim Auftauen der festen Rückstände erkennt man, dass sie zum grössten Teil aus Wasser bestehen (ein nie ganz fehlender Oelgeruch zeigt, dass ihm Spuren von Maschinenöl beigemischt sind). Schon Faraday wies auf die hohe Positivität des Wassers (2131), speciell des Eises hin, welches sogar durch Reiben mit flüssigem (condensiertem) Wasser positiv elektrisch wird, während alle anderen

Körper bei dieser Reibung negative Ladungen annehmen. L. Sohncke¹⁾ bestätigte dieses und fügte ausserdem einige wichtige Versuche hinzu, aus denen hervorging, dass vollkommen trockenes, sehr kaltes Eis beim Reiben mit festen Körpern: Messing, Stahl und Glas positiv elektrisch wird, während die reibenden Körper selbst negativ werden müssen. Durch unsere Versuche werden die Sohncke'schen Resultate bestätigt, ihr Gültigkeitsbereich bis zu Eistemperaturen von -193° C. erweitert und die Versuchsergebnisse auf alle die in § 1 genannten Substanzen ausgedehnt.

Hat man nur wenig flüssige Luft zur Verfügung, so kann man den Eisreibungsversuch wie folgt anstellen: Man filtriert flüssige Luft aus der Flasche durch einen dünnwandigen Metalltrichter in ein Becherglas. Ein an einem isolierenden Faden hängendes Metallstück erweist sich selbst nach längerem Hängen in der filtrierten flüssigen Luft als unelektrisch, selbst wenn der sphäroidale Zustand lange überwunden ist, ein inniges Reiben der flüssigen siedenden Luft am Körper also stattgefunden hat. Mit der Zeit setzt sich oberhalb des Flüssigkeitsspiegels im Innern des Glases eine dichte Reifschicht an. Reibt man das stark gekühlte Metallstück an dieser, indem man es einige Male mittels des Fadens an der Gefässwand auf- und abgleiten lässt, so ist es so stark negativ geladen, dass schon ein unempfindliches Elektroskop diese Ladung anzeigt und der Versuch in dieser Form sogar ein bequemer Vorlesungsversuch wird. Die grosse Trockenheit der flüssigen Luft scheint die Erregung sehr zu begünstigen.

Bezüglich des Grades, in welchen die verschiedenen Körper durch die Eisreibung bei völligem Ausschluss der Mitbeteiligung von tropfbar flüssigem Wasser negativ erregt werden, haben wir keine wesentlichen Unterschiede constatieren können; Faraday fand bei der Wasserreibung Ausnahmen von der allgemeinen negativen Elektrisierung, die alle Körper auch bei

¹⁾ L. Sohncke, Wied. Ann. 23. p. 550. 1886 und: Ursprung der Gewitterelektricität und der gewöhnlichen Elektricität der Atmosphäre p. 86 ff. 1885.

dieser annehmen, nur bei drei Substanzen: Elfenbein, Federkiel und Bärenhaare (2099); diese Präparate wurden nur unmerklich erregt, Federkiel- oder noch besser Elfenbeinröhren ergaben an seiner Dampfelektrisiermaschine einen elektrisch neutralen Dampfstrahl (2102). Auch bei der Eisreibung scheinen diese Substanzen (wir konnten freilich nur die beiden erstgenannten prüfen) eine Ausnahmestellung einzunehmen, indem sie aus dem Luftbade positiv elektrisch oder neutral oder doch nur schwach negativ elektrisch geladen hervorgingen; jedenfalls war der Unterschied z. B. gegenüber einem Platinstück, welches abwechselnd in dasselbe Bad eingetaucht wurde, auffallend.

Nach Faraday setzen schon äusserst geringe Beimengungen öliger Substanzen die Wassertropfenreibungselektricität stark herab. Wir haben auch bezüglich der Eisreibung nach einem analogen Einflusse gesucht; durch direktes Zusetzen von flüssigen Oelen ist derselbe freilich schwer nachzuweisen, da die Oeltröpfchen in der flüssigen Luft sofort zu harten Kugeln erstarren. Indessen ist es nicht unwahrscheinlich, dass die S. 112 und 114 erwähnten geringen Beimengungen von Maschinenöl den hier studierten Effect beeinträchtigen, so dass man gut thut die Luft erst zu filtrieren und ihr dann durch Stehenlassen oder durch Anhauchen oder Einblasen gewöhnlicher Luft den nötigen Eisgehalt zu erteilen.

6. Dadurch, dass das reibende Eis positiv, jeder geriebene Körper aber ebenso stark negativ elektrisch wird, erklären sich einige Nebenerscheinungen, die sonst unverständlich wären. Verbindet man mit dem Elektrometer oder einem empfindlichen Galvanometer unter Erdung des anderen Poles einen Draht, den man in die flüssige Luft eintaucht, so erhält man keinen Ausschlag; reibender, + geladener und geriebener, — geladener Körper liegen nebeneinander, die Kraftlinien sind in sich geschlossen, freie Spannung kann nicht angezeigt werden. Erst wenn man beide trennt, den Draht heraushebt, oder das Gefäss senkt, zeigt das Elektrometer freie — Spannung auf dem Drahte an. Ebenso wird kein Ausschlag erhalten, wenn man

an das Elektroskop ein Platinschälchen befestigt, in das man flüssige Luft hineingiesst; trotz des heftigsten Siedens zeigt das Instrument keine freie Spannung an. Ordnet man dagegen den Versuch so an, dass man das Schälchen an einem nach unten gebogenen Draht und diesen an das Elektrometer befestigt, dann von unten her ein Glas mit flüssiger Luft nähert, so dass das Schälchen eintaucht, so erhält man nach Aufhören des Leidenfrost'schen Phänomens einen Ausschlag, sobald man die Schale mit dem Reibzeug, in diesem Falle den in der Luft schwimmenden Eispartikelchen, senkt.

7. Dieses haben wir dazu benutzt, mit Hilfe der flüssigen Luft gewissermaassen eine Eiselektroskopmaschine zu construieren: In eine Glasröhre von 1 cm lichter Weite und 10 cm Länge war ein zusammengerolltes amalgamiertes Kupferdrahtnetz von 5 cm Länge eingeschoben. Die Röhre hatte in der Mitte einen seitlichen Ansatz, durch den ein mit dem Netz in leitender Verbindung stehender Draht nach aussen führte. Oben war die Röhre mit einem Gummistopfen verschlossen, durch welchen ein Trichterrohr in's Innere führte; am unteren Ende war sie zu einem engeren Ausflussrohr von 12 cm Länge ausgezogen. Diese Röhre war in einem 4 cm weiten, 14 cm langen Glasrohr derselben Gestalt so befestigt, dass der seitliche Ansatz des kleinen Rohres in den des grossen genau hineinpasste, wodurch es möglich wurde den Ableitungsdraht völlig isoliert auch durch den so entstehenden Mantel nach aussen zu führen. Der Mantelraum war oben durch einen dreifach durchbohrten Stopfen verschlossen. Durch die erste, centrale Bohrung ging das erwähnte Trichterrohr zur inneren Röhre; die zweite nahm ein Trichterrohr für die äussere Röhre auf und die dritte Bohrung diente als Abzugscanal für verdampfte Luft. Unten war das Mantelrohr ebenfalls ausgezogen und von solcher Weite, dass das Ausflussrohr der kleineren Röhre eben hindurchging. Ein Stück übergezogenen Gummischlauches dichtete die ineinander sitzenden Röhren ab. Der Mantelraum war mit Chlorcalciumstücken angefüllt, um alle Feuchtigkeit vom Innenrohr abzuhalten; in ihn wurde vor

dem Versuche flüssige Luft gegossen, um den ganzen Apparat auf niedrige Temperatur zu bringen. Wurde nun auch durch das innere Rohr flüssige Luft gegossen, so machte das in ihr mitgeführte Eis beim Passieren des Drahtnetzes dieses negativ elektrisch; die durchgeflossene Luft konnte unten wieder aufgefangen werden. Hier wurde eine dauernde elektrische Erregung erhalten, solange flüssige Luft durch den Apparat floss. Bei dieser Elektrisiermaschine bewegt sich also das Reibzeug, der geriebene Körper bleibt in Ruhe. Jede Mitbeteiligung von flüssigem Wasser war hierbei durch den Trocken- und Kühlmantel ausgeschlossen.

8. Nicht unerwähnt darf bleiben, dass die genannten Versuche gelegentlich Störungen namentlich bezüglich des Vorzeichens der Ladungen erfahren können und zwar aus einem leicht ersichtlichen Grunde. Verbleiben die durch Reiben positiv gewordenen Eisstückchen in dem Gefässe, so reichern sie sich immer mehr an. Es kann dann geschehen, dass die negative Elektrisierung eines eingetauchten Körpers zurücktritt und dieser bei der Berührung mit vielen stark positiv geladenen Eisstücken von diesen durch Berührung Ladung annimmt und beim Herausziehen daher positiv und nicht negativ geladen erscheint. Dies ist besonders dann der Fall, wenn zerkleinertes Eis in das Luftbad geworfen wird (vgl. § 4). Diese Eisstückchen sind dann beim Zerbrechen durch die Reibung mit dem dazu benutzten Gegenstande so stark positiv elektrisch geworden, dass ihre Ladungen vollkommen den hier in Rede stehenden Effect überdecken.

9. Durch die im Vorigen beschriebenen Versuche dürfte gezeigt sein, dass beim Reiben mit vollkommen trockenem, sehr kaltem Eise fast alle Körper, insbesondere die Metalle, stark negativ elektrisch werden, wogegen das Eis selbst sich allen diesen Körpern gegenüber positiv erregt erweist. Die Untersuchungsmethode mit Hilfe der flüssigen Luft bietet hierbei augenscheinliche Vorteile gegenüber den gewöhnlichen Methoden, die äusserst difficult sind und auch nicht immer übereinstimmende Resultate gewinnen lassen. Vor

allem ist wichtig, dass man bei diesem sehr kräftigen Kältemittel den Wasserdampf in einfachster Weise von der Beteiligung auszuschliessen vermag, da der aus der Atmosphäre condensirte Dampf sogleich als Reif auf das Kühlmittel sowohl wie das gekühlte Präparat niederfällt.

Die Erscheinung, dass ein in flüssiger Luft gekühlter Körper stark elektrisch geladen wird, ist bei allen elektrischen Versuchen, bei denen flüssige Luft als Kühlmittel dient, wohl zu beachten!

Für die Meteorologie scheint uns gleichfalls das gefundene Ergebnis von Bedeutung zu sein. Für die sog. „Wärmegewitter“ dürfte freilich die L. Sohncke'sche Theorie wohl ihr Recht behaupten, der zu Folge die Reibung des in der aufsteigenden Cumuluswolke emporgehobenen condensierten flüssigen Wassers gegen die Eisnadelchen der Cirrusschicht, in welche diese eindringt, die Ursache der Gewitterelektricität ist. Es giebt aber auf der Erde grosse Gebiete, in denen die Wirksamkeit von tropfbarem Wasser unwahrscheinlich ist: die höchsten, sehr kalten Regionen des Luftmeeres und die Polarzonen. Woher kommen jene wenn auch vielleicht nur schwachen elektrischen Erregungen, welche sich in den Polargebieten unseres Planeten vorwiegend längs der Magnetkraftlinien in Form der Polarlichterscheinungen ausgleichen? Diese Frage vermag die Lehre von der Elektrisierung beim Reiben von Wasser und Eis nicht zu lösen. Durch unsere Versuche wird aber wahrscheinlich gemacht, dass kosmischer Staub, kleinste Stein- oder Eisen-Meteorite, wenn sie sich mit den bis zu sehr hohen Schichten emporreichenden Eisnadeln (Cirrusschichten, leuchtende Nachtwolken?) bei ihrem Fall zur Erde reiben, genügend stark elektrisch werden, um in den gasverdünnten Regionen der Erde bei irgend einer Auslösung ein schwaches Elektroluminescenzlicht zu unterhalten (Himmelsphosphorescenz, Polarlicht u. s. w.). Die Versuche mit der flüssigen Luft zeigen ja, dass jene Erregungen selbst bei sehr niedrigen Temperaturen und in einer vollkommen wasserdampf-freien Atmosphäre wirklich eintreten können.
