

Werk

Titel: Über die spontane Ionisierung der Luft und anderer Gase

Autor: Geitel, H.

Ort: Braunschweig

Jahr: 1906

PURL: https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?385489110_0021 | LOG_0177

Kontakt/Contact

[Digizeitschriften e.V.](#)
SUB Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen

✉ info@digizeitschriften.de

Naturwissenschaftliche Rundschau.

Wöchentliche Berichte

über die

Fortschritte auf dem Gesamtgebiete der Naturwissenschaften.

XXI. Jahrg.

3. Mai 1906.

Nr. 18.

Über die spontane Ionisierung der Luft und anderer Gase.

Von Prof. H. Geitel (Wolfenbüttel).

(Vorgetragen in der Sitzung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft am 26. Januar 1906¹⁾).

I.

Der Vorstand der Deutschen Physikalischen Gesellschaft hatte den Wunsch nach einem zusammenfassenden Berichte über gemeinschaftlich von Elster und mir ausgeführte Untersuchungen geäußert. Indem ich seiner freundlichen Aufforderung nachkomme, möchte ich die Aufgabe dahin verallgemeinern, daß ich einen Gegenstand behandle, mit dem eine Reihe unserer Arbeiten aufs engste zusammenhängt, der aber zugleich sowohl eines der ältesten Probleme elektrischer Experimentaluntersuchungen darstellt, wie auch zu dem jüngsten Forschungsgebiete der Physik, der Radioaktivität, in naher Beziehung steht.

Es ist dies die sogenannte spontane Ionisierung der Luft und anderer Gase, die sich in einem zwar äußerst schwachen, aber sicher nachweisbaren Leitungsvermögen äußert.

Hier in Berlin sind gewisse wichtige Seiten dieser Erscheinung aufgedeckt, neuerdings wird am intensivsten an ihrer Erforschung in Cambridge unter der Leitung von J. J. Thomson gearbeitet. Man muß sagen, daß trotz der erzielten wertvollen Erfolge diese Bemühungen noch nicht zu einer völlig klaren Einsicht in ihr Wesen geführt haben. Es verlohnt sich daher, auch das Interesse deutscher Physiker wieder auf diesen Gegenstand zu lenken²⁾.

Einige Vorbemerkungen geschichtlicher Art sind zur schnellen Einführung am geeignetsten.

Die erste exakte Kenntnis von dem elektrischen Leitvermögen der natürlichen Luft oder, wie man sagte, von der Elektrizitätszerstreuung in der Luft, geht zurück auf das Jahr 1785, in dem Coulomb seine grundlegenden Messungen betreffend die elektrostatischen Fernkräfte veröffentlichte. Bei diesen Arbeiten machte sich in der störendsten Weise die

Unmöglichkeit bemerklich, einen statisch geladenen Körper in Luft vollständig zu isolieren. Es entging Coulomb nicht, daß der beobachtete Elektrizitätsverlust bei genügender Vorsicht im wesentlichen durch die Berührung mit der Luft erfolgte; leicht konnte er nachweisen, daß es für die Größe des Verlustes kaum einen Unterschied machte, ob er den Versuchskörper mit einem oder mehreren Stäbchen trockenen Schellacks berührte, wie es doch hätte der Fall sein müssen, wenn etwa eine Oberflächen- oder körperliche Leitung durch den Schellack die Ursache wäre.

Messungen an der Drehwage führten ihn zu dem Ergebnis, daß die auf einem isolierten Leiter vorhandene freie Elektrizitätsmenge nach einer Exponentialfunktion der Zeit abnimmt. Setzen wir, was ja bei konstanter Kapazität des Versuchskörpers erlaubt ist, an Stelle der Elektrizitätsmenge deren Potential (V), so lautet die Coulombsche Formel für die Elektrizitätszerstreuung $V = V_0 e^{-\alpha t}$. α bedeutet hierin den Zerstreungskoeffizienten, das angeblich konstante Verhältnis der auf die Zeiteinheit bezogenen Potentialabnahme zu dem augenblicklich vorhandenen Potential, t die Zeit, in jener Einheit gemessen.

Das Gesetz ist schon an und für sich und vollends durch seine Ähnlichkeit mit dem Newtonschen für die Temperaturabnahme eines erhitzten Körpers so plausibel, daß es fast als selbstverständlich betrachtet worden ist. Auch Coulomb wird unter diesem Eindrucke gestanden haben und dadurch vielleicht veranlaßt sein, sich mit einer annähernden Bestätigung der Formel durch den Versuch zu begnügen. Man darf nämlich behaupten, daß sie für die Messungen Coulombs in dem Gehäuse der Drehwage nicht genau gültig gewesen sein kann. Nur der Elektrizitätsverlust eines geladenen Körpers im freien Luft-raum, in dem die Kraftlinien ins Unendliche verlaufen, wird durch ein Exponentialgesetz richtig dargestellt¹⁾. Auch nach einer anderen Seite hin hat Coulomb das Wesen des Zerstreungsvorganges verkannt, und zwar auch hier wieder unter dem Einflusse eines anscheinend höchst plausibeln Gedankens.

Der Zerstreungskoeffizient sollte nach ihm mit wachsendem Wassergehalt der Luft zunehmen, derart, daß er dem Cubus des Dampfdruckes proportio-

¹⁾ Der zweite Teil des Vortrages ist in den Berichten der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Jahrg. VIII, Heft 3, S. 23—38 abgedruckt.

²⁾ Vor 1½ Jahren habe ich eben zu diesem Zwecke einen Bericht über den Stand der Frage in dem Jahrbuche der Radioaktivität und Elektronik gegeben; es liegt in der Natur der Sache, daß ein Teil der folgenden Ausführungen sich mit den damaligen decken wird.

¹⁾ H. Ebert, Terr. Magn. and Atmospheric Electricity 6, 101, 1901. Experimentelle Bestätigung durch H. Schering, Diss. Göttingen 1904.

nal sei. Abgesehen von der letzteren von Coulomb selbst mit Vorbehalt gegebenen mathematischen Formulierung hat diese seine Vorstellung, daß feuchte Luft besser leiten müsse als trockene, eine suggestive Kraft von solcher Hartnäckigkeit von Anfang an ausgeübt, daß sie selbst heutzutage nicht völlig überwunden ist. Leicht hätte schon zu Coulombs Zeiten der vorhin erwähnte Versuch der Vermehrung der Stützen auch hierüber Klarheit geschaffen, es würde sich ergeben haben, daß bei höherem Wassergehalte der Luft der Elektrizitätsabfluß über die Isolatoren eben nicht mehr vernachlässigt werden darf.

Die Gerechtigkeit erfordert, sich zu vergegenwärtigen, daß Coulomb bei der Erforschung der Elektrizitätszerstreuung zunächst nur den Zweck hatte, sich von einer störenden Fehlerquelle bei der Messung der elektrischen Fernkräfte zu befreien. Für ihn war der Hauptzweck, die Korrektur für den Elektrizitätsverlust aufzufinden, und hierzu war seine Exponentialformel ausreichend. Er bedauert es selbst, daß er keine Zeit gefunden, die Erscheinung gründlicher zu untersuchen. Wie scharf er auch hier zu beobachten verstand, lehrt eine Bemerkung, nach der die Elektrizitätszerstreuung zuweilen eine Art von Nachwirkung zeigen könne, indem große Zerstreuungskoeffizienten auch dann noch eine Zeitlang bestehen blieben, wenn der Versuchsraum wieder ausgetrocknet war, also nach Coulombs Auffassung sehr niedrige Verluste erwartet werden mußten. Man kommt leicht auf den Gedanken, daß Coulomb hier schon die durch die atmosphärische Luft induzierte Radioaktivität unter den Händen gehabt hat.

Was Coulomb selbst nur geplant, aber nicht ausgeführt hatte, nämlich eine Spezialuntersuchung der Elektrizitätszerstreuung als solcher, wurde 1850, also 65 Jahre später von Matteucci¹⁾ in Angriff genommen, und zwar nach der gleichen Methode, wie sie Coulomb benutzte, nämlich mittels der Drehwage. Was er fand, mußte in der damaligen Zeit zum Teil paradox erscheinen, und gerade da am meisten, wo er am besten beobachtet hatte.

Sein merkwürdigstes Ergebnis war die Ungültigkeit des Coulombschen Exponentialgesetzes in dem geschlossenen Raume der Drehwage; er fand statt dessen eine lineare Abnahme der freien Elektrizität in der Zeit; in gleichen Zeiten verschwanden, unabhängig von der angewandten Spannung, gleiche Elektrizitätsmengen auf dem Versuchskörper durch dessen Berührung mit der Luft. Die entsprechende Formel (für konstante Kapazität) läßt sich als $V = V_0 - bt$ schreiben, in der b den Potentialabfall in der Zeiteinheit bedeutet. Es liegt auf der Hand, daß dies Gesetz der Zerstreuung nicht allgemein richtig sein kann, da es zu einem Zeichenwechsel des Potentials im Laufe der Zeit und zu unendlich wachsenden Beträgen entgegengesetzten Vorzeichens führen würde. Jetzt weiß man, daß es nur für Poten-

tialgradienten, d. h. elektrische Felder, gelten kann, die eine gewisse Grenze überschreiten, so daß überall in dem abgeschlossenen Raume sogenannter Sättigungsstrom herrscht, indem alle in der Zeiteinheit entstehenden Ionen auch zu dem Elektrizitätstransport in dem Gase herangezogen werden. Offenbar ist in diesem Falle die größtmögliche Stromstärke erreicht; die in der Zeiteinheit auf dem Versuchskörper neutralisierte Elektrizitätsmenge ist dann dem konstanten Produkte der Anzahl der in einer Sekunde entstehenden Ionen einer Art in die Elementarladung eines einzigen von ihnen gleich. Da Matteuccis Methode Potentiale von mehreren tausend Volt voraussetzt, so konnte er auch bei der niedrigsten Ladung seiner Versuchskugel nichts anderes als Sättigungsstrom finden.

Obgleich er richtiger als Coulomb beobachtet hat, mußte sein Ergebnis zu seiner Zeit mehr verwirrend als klärend wirken. In gleicher Weise gilt dies von einer zweiten Beobachtung, die leicht im Sinne der Ionentheorie zu deuten ist, aber ohne diese unverständlich bleibt. Stellt man neben eine positiv geladene Kugel eine zweite gleichartig geladene, so geht die Zerstreuung schneller vor sich als in der Nachbarschaft einer solchen von negativer Ladung. Im ersten Falle zerstreuen sich die elektrischen Kraftlinien, auf denen die entgegengesetzten Ionen heranwandern, gemeinschaftlich in den Raum, den sie weithin erfüllen, im zweiten ziehen sie sich größtenteils in dem Zwischenraume der Kugeln zusammen, in dem sie nur eine spärliche Anzahl Ionen vorfinden, die sie in Bewegung setzen können.

Faßt man die Elektrizitätszerstreuung im alten Sinne als ein Abfließen der Ladung durch die Luft, nicht als eine Zuwanderung entgegengesetzter Ionen auf, so ist vollständig unverständlich, wie das Abfließen der positiven Ladung der einen Kugel durch die Nachbarschaft der negativ geladenen gehemmt werden sollte. — Man erkennt, daß zu Matteuccis Zeit die von ihm aufgefundenen Tatsachen noch keine Verwertung finden konnten, weder er selbst noch andere Physiker vermochten sie mit den geltenden Vorstellungen in Einklang zu bringen. In einer Beziehung war Matteucci auf demselben Standpunkte wie Coulomb geblieben, indem er dem Wassergehalte der Luft und der Gase überhaupt noch immer einen wesentlichen Einfluß auf die Elektrizitätszerstreuung zuschrieb. Allerdings hatte er die Unhaltbarkeit der Annahme erkannt, daß der Zerstreuungskoeffizient einer Potenz des Dampfdruckes proportional sei; er zeigte nämlich, daß auch in vollkommen trockenen Gasen die Zerstreuung wenigstens von gleicher Größenordnung ist wie in feuchten. In entschiedener Weise hat später im Jahre 1872 Herr Warburg¹⁾ die gänzliche Unabhängigkeit der Zerstreuung vom Wassergehalt der Luft ausgesprochen; die von ihm angewandte Methode, die mit weit kleinerem Luftvolumen und größeren

¹⁾ Matteucci, Ann. de Chim. et de Phys. (3) 28, 385, 1850.

¹⁾ Warburg, Pogg. Ann. 145, 578, 1872.

Kapazitäten arbeitete, als bis dahin üblich war, ergab viel geringere Werte der Zerstreuungskoeffizienten wie bei Coulomb und Matteucci. Auch dies Ergebnis ist auf dem Boden der Ionentheorie sofort verständlich; je größer der verfügbare Luft-raum, um so größer die Menge der in der Zeiteinheit entstehenden Ionen und daher auch der Abfall des Potentials des Versuchskörpers.

Im Jahre 1882 wurden hier in Berlin von Herrn W. Giese Versuche über die elektrische Leitfähigkeit von Flammgasen angestellt, von denen eine völlige Neugestaltung der Vorstellungen über die elektrischen Vorgänge in Gasen ausgehen sollte; sie führten Herrn Giese zunächst zu der Formulierung einer Theorie der Ionenleitung der Flammgase. Wie sich hieraus die Erkenntnis der Ionenleitung der Gase in der Nähe glühender Körper, in der Phosphorluft, in den Entladungen in Geißlerschen Röhren und unter dem Einflusse verschiedener Strahlungen entwickelte, ist bekannt.

Auf die Untersuchungen der Elektrizitätszerstreuung hatte die Giesesche Entdeckung zunächst noch keinen Einfluß. Ja es kam dieser Gegenstand geradezu in Gefahr, infolge eines Mißverständnisses seinen Charakter als ein ungelöstes Problem und dadurch das ihm entgegenbrachte Interesse zu verlieren. Schon von früheren Forschern war neben der Annahme einer besonderen Leitfähigkeit des Wasserdampfes die Meinung ausgesprochen, daß der in der Luft und anderen Gasen suspendierte Staub eine wesentliche Rolle bei der Elektrizitätszerstreuung spiele, indem er wie die Korkkügelchen in dem bekannten Versuche von dem elektrisierten Körper angezogen und wieder abgestoßen würde und dadurch dessen Ladung allmählich entführe. Wenn nun der Anteil des Wasserdampfes an der Erscheinung mehr als fraglich geworden war, so richtete sich jetzt um so mehr die Aufmerksamkeit auf den etwaigen Einfluß des Staubes. Es bedurfte dieser Punkt ohne Frage der Aufklärung, und es ist das Verdienst einer ebenfalls hier in Berlin ausgeführten Untersuchung von Herrn Nahrwoldt¹⁾, daß sie sich speziell mit der Frage nach dem elektrischen Verhalten staubfreier und staubreiner Gase befaßte. Das Ergebnis war wiederum höchst merkwürdig; es stellte sich als unmöglich heraus, einer in einem geschlossenen Metallgefäß enthaltenen Luftmasse, solange sie staubfrei war, eine statische elektrische Ladung, auch mittels starker Kräfte, durch Spitzenausströmungen, mitzuteilen, mindestens war die Zeitdauer, während der eine Ladung vorhanden sein konnte, sehr kurz. Es ist sicher, daß dies Ergebnis auf die Auffassung von der Elektrizitätszerstreuung zurückgewirkt hat. Wenn die Luft keine elektrische Ladung annehmen kann, so scheint der Gedankengang gewesen zu sein, so kann sie auch keine übertragen oder entführen, die Elektrizitätszerstreuung ist also keine Erscheinung der Leitung, sondern der

Konvektion durch den Staub der Luft. Die jetzige Auffassung ist, daß in dem Nahrwoldtschen Versuche die durch die Spitzenentladung im Innern des Versuchsaumes gebildeten Ionen durch das starke Feld mit großer Geschwindigkeit gegen die zur Erde abgeleiteten Wände getrieben wurden, eine elektrische Ladung des Gases also vorhanden war, aber sehr schnell verschwand.

Daß eine bloße Konvektion elektrischer Ladungen durch den Staub der Luft möglich ist, bedarf keines Beweises, der Fehler lag darin, daß man hierdurch die Elektrizitätszerstreuung auch quantitativ darstellen zu können vermeinte.

So schien die alte Frage nahe daran, nach so vieler darauf verwandter Mühe als abgetan zu gelten, die fragliche Erscheinung stellte sich unter dem Bilde eines so durchsichtigen Vorganges dar, daß es sich nicht der Mühe verlohnen konnte, sich weiter damit zu beschäftigen. Noch in der ersten Auflage seiner „Conduction of electricity through gases“ (1897) bezeichnete J. J. Thomson es als eine fundamentale Eigenschaft eines Gases im normalen Zustande, daß es durchaus unfähig sei, etwas von der elektrischen Ladung eines Körpers aufzunehmen, mit dem es in Berührung steht, und beruft sich dabei auf die Arbeit von Nahrwoldt.

Ein neuer Anstoß, diese Untersuchungen wieder aufzunehmen, ging von der Meteorologie, nämlich von der sich nach Lord Kelvins und F. Exners Arbeiten rasch entwickelnden Lehre von der Luftelektrizität aus. Exner hatte, auf älteren Vorstellungen von Eрман und Peltier fußend, zuerst den Gedanken des Elektrizitätsaustausches zwischen dem Erdkörper und der Atmosphäre gefaßt, um dadurch die Schwankungen des Potentialgradienten am Erdboden um einen von der Örtlichkeit abhängigen Mittelwert verständlich zu machen. Das positive Vorzeichen des Potentialgradienten in der Richtung der Normalen bedeutet eine negative Eigenladung der Erdoberfläche, seine Veränderlichkeit wurde auf örtliche Änderungen in der Dichtigkeit der Erdladung zurückgeführt. Diese Schwankungen der elektrischen Flächendichte ihrerseits waren nach Exner die Folge eines ebenfalls örtlichen Überganges freier negativer Elektrizität vom Erdboden in die Luft. Befangen in den Anschauungen Coulombs, schrieb Exner¹⁾ diesen Transport der Elektrizität dem verdampfenden Wasser zu. An die Wassermoleküle gebunden, sollte die vom Boden entwichene, freie Elektrizität durch die Niederschläge wieder zur Erde zurückgeführt werden. So blieb die negative Eigenladung des Erdkörpers im Jahresmittel konstant. Die von Exner dem Wasserdampf als Träger freier elektrischer Ladungen zugeschriebene Rolle hat sich, wie man weiß, experimentell nicht nachweisen lassen. Es war daher eine glücklichere Formulierung eines allgemeineren Gedankens, als Linss²⁾ den Übergang der

¹⁾ F. Exner, Wiener Ber. 93, 223, 1886.

²⁾ Linss, Met. Zeitschr. 4, 355, 1887.

¹⁾ Nahrwoldt, Wiedem. Ann. 31, 448, 1887.

Erbodenelektrizität in die Luft einfach auf Grund der bekannten Elektrizitätszerstreuung behauptete und die Frage nach den näheren Bedingungen, ob der Wasserdampf oder der Staub dabei von Einfluß sei, vor der Hand ausschied. So ließ sich der Betrag des Elektrizitätsflusses von der Erde in die Atmosphäre aus zwei Daten berechnen, die beide der Messung zugänglich sind, aus der Flächendichte am Boden, die aus dem Potentialgradienten folgt, und aus der Größe der Elektrizitätszerstreuung. Freilich blieb dabei die Rückkehr der entwichenen Elektrizität zur Erde noch unaufgeklärt, der Kreislauf noch ungeschlossen.

An dieser Stelle ist es Elster und mir vergönnt gewesen, an dem weiteren Verlaufe der Arbeiten teilzunehmen. Es war vor allem die Absicht, verlässliche Daten über die Größe der Zerstreuung in der freien Atmosphäre zu gewinnen, die uns dazu bestimmte. Das von Linss angegebene Verfahren gestattete keine sichere Schätzung des Fehlers, der durch mangelhafte Isolation bewirkt werden kann, und wenn sich später auch herausstellte, daß in seinen Messungen jener Fehler unmerklich geblieben ist, so war doch Veranlassung vorhanden, die Methode zu verbessern. Wir erreichten dies, indem wir das Exnersche Elektroskop an Stelle der Drehwaage und des Sinuselektrometers als Meßapparat benutzten, die einzige möglichst gut isolierende Stütze in dessen Gehäuse hineinverlegten und bei jeder Messung der Zerstreuung den Elektrizitätsabfluß im Elektroskop gesondert bestimmten¹⁾. Es liegt nicht in dem Bereiche des Gegenstandes, der uns heute beschäftigt, auf die meteorologischen Ergebnisse unserer Messungen und die wesentlichen Vervollkommnungen und Neubildungen der Methode einzugehen, die man den Herren Ebert, Mache, Gerdien, Lüdeling, Nordmann, Langevin u. A. verdankt. Es möge nur auf die Ergebnisse hingewiesen werden, durch die die Untersuchung der Elektrizitätszerstreuung der reinen Physik als Arbeitsgebiet wieder zurückgewonnen ist.

Indem wir die Zusammenstellung der täglichen Messungen des Zerstreuungskoeffizienten in freier Luft schon für das erste Vierteljahr von Weihnachten 1898 bis Ostern 1899 überblickten, konnten wir uns des Eindruckes nicht erwehren, daß sie weder mit der Coulombschen Vorstellung von der speziellen Leitfähigkeit des Wasserdampfes, noch mit der Theorie der Konvektion durch den Staub vereinbar waren. Die höchsten Zerstreuungen traten auf bei trockener und klarer Luft; bei Nebel, bei dunstiger und staubhaltiger Atmosphäre war die Zerstreuung abnorm klein. Gerade so, wie die freie Luft, nur in deutlicherer Weise, verhielt sich auch die der geschlossenen Rezipienten, wenn wir sie mit Uranpräparaten künstlich ionisierten. Auch hier nahm die Zerstreuung stark ab, sobald durch Abkühlung die relative Feuchtigkeit stieg oder gar Nebelbildung eintrat. Im letzteren

Falle schreibt man die Verminderung der Leitfähigkeit der Beschwerung zu, die die Ionen durch angelagerten Wasserdampfverfahren; es erschien rationell, die gleiche Vorstellung auch auf die freie Luft zu übertragen, d. h. auch dieser normalerweise einen Gehalt an Ionen zuzuschreiben. Bestätigt wurde diese Annahme durch die auffällige Erscheinung der unipolaren Zerstreuung auf Berggipfeln. So fanden wir auf dem Brocken, noch hervorstechender auf dem Säntis, daß die Zerstreuung der negativen Elektrizität die der positiven bei weitem übertrifft, während im Flachlande am Erdboden die Zerstreuungskoeffizienten für beide Arten von Ladung gleich sind. Ein verschiedenartiges Verhalten der Luft in bezug auf das Vorzeichen der Elektrizität ist aber nur möglich, wenn diese selbst schon entgegengesetzt geladene Teilchen enthält, die entweder bei gleicher Menge verschieden hohe Ladung oder bei gleicher Ladung verschiedene Konzentration, vielleicht auch verschiedene Beweglichkeit haben müssen. Letztere Annahmen sind die durch die Ionentheorie gegebenen, und leicht ist es zu verstehen, daß die größere Intensität des elektrischen Erdfeldes in der Nähe aller leitenden Hervorragungen der Erdoberfläche eben die Ursache der stärkeren Konzentration der positiven Ionen in der Nähe der Berggipfel ist. Nachdem diese Tatsache gefunden war, gelang es, künstlich mittels geladener, in sich geschlossener Flächen aus Drahtnetz die entgegengesetzten Ionen der Luft in deren Nähe zu ziehen und infolge der Diffusion eines Bruchteils von ihnen in dem Innern der so begrenzten Räume Luftmassen herzustellen, die die eine oder andere Ionenart im Überschuß enthielten, also einerseits eine elektrische Volumladung, andererseits die unipolare Zerstreuung zeigten¹⁾.

Alle diese Versuche wurden im Freien oder in dem großen mit der Außenluft zusammenhängenden Raume eines Zimmers gemacht; es blieb nur noch der Schritt, sie auf kleine, abgeschlossene Luftvolumina zu übertragen. Hier ergab sich das schon erwähnte Gesetz der Zerstreuung, nach dem das Potential des Versuchskörpers in gleichen Zeiten um gleiche Beträge sinkt, d. h., jene Luftmengen zeigten spontan die inzwischen von J. J. Thomson an künstlich ionisierten Gasen aufgefundene Erscheinung des Sättigungsstromes. Nebenbei fand sich, daß der Luft schon durch ein sehr schwaches elektrisches Feld ein großer Teil ihrer Leitfähigkeit entzogen werden konnte. Beide Tatsachen führten mit Sicherheit zu dem Schlusse, daß die gewöhnliche Luft, auch getrennt von der freien Atmosphäre, normalerweise einen gewissen Grad von Ionisierung zeigt²⁾.

Unmittelbar nach Abschluß dieser Untersuchungen hat C. T. R. Wilson in Cambridge dasselbe Ergebnis bekannt gemacht. Eigentümlicherweise ging auch er von einer Frage der atmosphärischen Elektrizität aus, nämlich von dem Zusammenhange der

¹⁾ J. Elster und H. Geitel, Ann. d. Phys. 2, 425, 1900.

²⁾ H. Geitel, Phys. Zeitschr. 2, 116, 1900.

¹⁾ Phys. Zeitschr. 1, 11, 1899. Terr. Magn. 4, 213, 1899.